

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GUSE AÇISI VE BERKİTME TİPİNİN STATİK YÜK ETKİSİ
ALTINDAKİ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM DAVRANIŞINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammad Saber SADID

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN
Ortak Danışman : Dr. Mohammad Manzoor NASERY

Aralık 2021

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GUSE AÇISI VE BERKİTME TİPİNİN STATİK YÜK ETKİSİ
ALTINDAKİ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM DAVRANIŞINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammad Saber SADID

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 23/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mohammad Saber SADID

23.12.2021

TEŞEKKÜR

Başta tüm eğitim hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan, karşılıksız, beklentisiz, var olan güçleriyle beni destekleyen ve benim bugünlere gelememe sebep olmuş olan değerli aileme, yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteklerini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından, yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN, ortak danışman hocam Dr. Mohammad Manzoor NASERY ve ekip olarak çalıştığımız Doç. Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA'ya yaptıkları destekler ve katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca bana destek olan bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan arkadaşım Salim İbrahim ONBAŞI'ya müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Northridge Depreminden Önceki Kaynaklı Moment Birleşimler	3
1.2. Northridge Depreminden Sonra Birleşim Bölgesinde Meydana Gelen Hasarlar	6
1.3. Genel Değerlendirme.....	8
1.4. Northridge Depreminden Sonraki Birleşim Gelişmeleri	9
1.5. EN 1998-1 ve SCI/BCSA, 1995 Yönetmenliğine Göre Deprem ve Rüzgar yüklerine Dayalı Birleşimler	14
1.6. Kaynak Araştırması	15
1.7. Çalışmanın Amacı.....	20
1.8. Araştırma Metodu (Yöntem).....	21

BÖLÜM 2.

YAPISAL BİRLEŞİMLER	22
2.1. Moment-Dönme ($M - \phi$) Eğrisi	25
2.2. Plastik Mafsal	26
2.3. Birleşim Sünekliği ve Enerji Yutma Kapasitesi.....	27

2.4. Bazı Mevcut Şartnamelere Göre Birleşimlerin Sınıflandırılması.....	32
2.4.1. (AISC 2005)'e göre çelik birleşimlerin sınıflandırılması	32
2.4.1.1. Moment aktaran birleşimler.....	34
2.4.2. (EN 1993-1-8, 2005)'e göre çelik birleşimlerin sınıflandırılması	35
2.4.3. (SCI/BCSA, 1995)'e göre çelik birleşimlerin sınıflandırılması .	36
2.4.3.1. Rijit birleşim sınıflandırması	38
2.5. Birleşim Bölgesinin Çekme Davranışı	44
2.6. Birleşim Bölgesinin Basınç Davranışı.....	45
2.7. Birleşim Bölgesinin Kesme Davranışı	46
2.7.1. Berkitmeler	46
2.8. Birleşim Elemanları	50
2.8.1. Bulonlar.....	50
2.8.2. Alın levha	51
2.8.3. Kaynak	51
2.9. Guseli Birleşimler.....	52
2.9.1. Guse	59
2.9.1.1. Guse kaynağı	59
2.9.2. Guseli birleşimlerin tasarımı.....	59
BÖLÜM 3.	
SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ	64
3.1. Sonlu Eleman Modelleme Aşamaları	67
BÖLÜM 4.	
YAPILAN ÇALIŞMA.....	69
4.1. Sonlu Eleman Modellemesi.....	69
4.1.1. Birleşim elemanlarının geometrik özellikleri	70
4.1.2. Analiz modelleri.....	73
4.1.2.1. Üç paralel berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli (HA-45-3)	76

4.1.2.2. Üç paralel ve N berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli (HA-45-4).....	78
4.1.2.3. Üç paralel ve K berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli (HA-45-7).....	80
4.1.3. Kullanılan malzeme modeli	81
4.1.4. Sonlu elemanlar ağ sıklığı ve eleman tipleri.....	84
4.1.5. Yükleme koşulları, sınır şartları ve analiz tipi	88
4.1.6. Doğrulama çalışması.....	90
4.2. Bulgular ve İrdelemeler	91
4.2.1. 15 dereceli guse açısına sahip modellerin berkitme etkinliğinin incelenmesi	91
4.2.2. 30 dereceli guse açısına sahip modellerin berkitme etkinliğinin incelenmesi	96
4.2.3. 45 dereceli guse açısına sahip modellerin berkitme etkinliğinin incelenmesi	100
4.2.4. Guseli birleşimlerdeki guse açısının etkisinin incelenmesi	105
4.2.4.1. Berkitmesiz birleşimler.....	105
4.2.4.2. Çift paralel berkitmeli birleşimler	108
4.2.4.3. Üç paralel berkitmeli birleşimler	110
4.2.4.4. Üç paralel ve N berkitmeli birleşimler	113
4.2.4.5. Üç paralel ve ters N berkitmeli birleşimler.....	116
4.2.4.6. Üç paralel ve ters K berkitmeli birleşimler.....	119
4.2.4.7. Üç paralel ve K berkitmeli birleşim.....	122
4.3. Analiz Sonuçları.....	124
 BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	126
 KAYNAKÇA	129
ÖZGEÇMİŞ	135

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISC	: American Institute of Steel Construction
BB	: Bolted Bracket
BCSA	: British Constructional Steelwork Association
BFP	: Bolted Flange Plates
BSEP	: Bolted Stiffened End Plate
BUEP	: Bolted Unstiffened End Plate
FEM	: Finite Elements Method
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FF	: Free Flange
FR	: Fully Restrained
PR	: Partially Restrained
RBS	: Reduced Beam Section
SAC	: Structural Engineers Association of California
SCI	: Steel Construction Institute
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
WFP	: Welded Flange Plate
WUF-W	: Welded Unreinforced Flanges-Welded Web

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. “Güçlü kolon/zayıf kiriş” tasarım felsefesinde plastik çökme mekanizmasının zayıf kolon-güçlü kiriş tasarım felsefesi plastik çökme mekanizması ile karşılaştırılması.....	3
Şekil 1.2. 1994’ten Önce Tipik Kaynaklı Moment Dayanıklı Birleşim	4
Şekil 1.3. Kolon-kiriş Birleşiminde Ortak Kırılma Başlangıç Bölgesi.....	5
Şekil 1.4. Kolon Başlığı Kırılması	5
Şekil 1.5. Kaynaşmış Bölge Kırılması	5
Şekil 1.6. Kiriş hasar türleri	6
Şekil 1.7. Kolon Hasar Türleri	7
Şekil 1.8. Kaynak Hasarı, Yapısal Kusurlar ve Süreksizlik Türleri	7
Şekil 1.9. Kesme Levhasının Hasar Türleri	7
Şekil 1.10. Panel Bölgesi Hasar Türleri	8
Şekil 1.11. AISC ve FEMA 350 tarafından çeşitli zamanlarda onaylanmış moment taşıyan birleşimler	12
Şekil 1.12. Plastik Mafsalların Kolon Yüzünden e Kadar Uzakta Oluşmasını Sağlamak İçin Moment Eğiminin Dikkate Alınması	13
Şekil 1.13. Tipik Moment Aktaran Birleşimler	14
Şekil 1.14. Guseli Birleşim	15
Şekil 2.1. Birleşimin dönme deformasyonu	23
Şekil 2.2. Moment-Dönme Eğrisi	24
Şekil 2.3. Moment-Dönme İlişkisinin Açıklaması.....	26
Şekil 2.4. Histerik sönüm: (a) büyük enerji tüketimini temsil eden eğri ve (b) sınırlı enerji tüketimini temsil eden eğri	28
Şekil 2.5. Sünek ve gerek halkalara sahip zincir (kapasite tasarımı ilkesi)	30
Şekil 2.6. Moment-Dönme Eğrisi	31
Şekil 2.7. Moment-Dönme Eğrileri.....	33

Şekil 2.8. Çok katlı bir bina için tipik bir düzenleme atölye kaynaklı kolon-kiriş birleşimleri.....	34
Şekil 2.9. Moment Aktaran Birleşimlerin Sınıflandırılması	38
Şekil 2.10. Yaygın Olarak Kullanılan Moment Aktaran Birleşimler.....	40
Şekil 2.11. Bir Alın Levhalı birleşimindeki kuvvetler	41
Şekil 2.12. Üçgen dağılım, sünek olmayan dayanım	42
Şekil 2.13. 'Plastik dağılım', sünek dayanım	42
Şekil 2.14. Tasarım prosedüründe değerlendirilecek bileşenler	43
Şekil 2.15. Bir Birleşimin Kritik Bölgeleri	44
Şekil 2.16. Eşdeğer T-stub için Göçme Modları.....	45
Şekil 2.17. Kolon Panel Bölgesindeki Kesme Kuvvet.....	46
Şekil 2.18. Güçlendirme Yöntemleri	47
Şekil 2.19. Kritik Göçme Mekanizmaları	49
Şekil 2.20. Standartlaştırılmış Başlık Kaynakları	52
Şekil 2.21. Universal Kiriş'ten Guse Kesitinin kesilmesi	53
Şekil 2.22. Alın Levhalı Bulonlu Guseli Birleşim	53
Şekil 2.23. Çelik Kirişlerinde Hizmetler için Oluşturulan Açıklıklar.....	54
Şekil 2.24. Guse Özellikleri	56
Şekil 2.25. Guse ve Kirişin Eğilme Dayanımları Arasındaki İlişki	57
Şekil 2.26. Guse Tasarımının Detayı	58
Şekil 2.27. Guse Geometrisi	60
Şekil 2.28. Guseli Birleşimin Görünümü.....	61
Şekil 2.29. (a) kolon Başlığından Görünüm (b) Alın Levha Üzerindeki Görünüm.....	62
Şekil 2.30. Örnek resimler	63
Şekil 3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) Modelinin Şematik Gösterimi.....	65
Şekil 3.2. Yer Değiştirme ve Dönme Rijitlik Dereceleri	66
Şekil 3.3. Abaqus Analiz Aşamaları	67
Şekil 4.1. (a) HEA140 Kolon Kesiti, (b) IPE140 Kiriş Kesiti, (c) Alın Levha, (d) M16 Bulon, (e) Kolon Berkitmesi, (f) Diyagonal Berkitme, (g) IPE140 Guse Kesiti, (h) Kiriş Berkitmesi.....	70

Şekil 4.2. (a) Kolon, (b) Kiriş, (c) Alın Levha, (d) Guse, (e) Diyagonal Berkitme, (f) Kolon Berkitmesi, (g) M16 Bulon, (h) Kiriş Berkitmesinin sonlu eleman modellerinin görünümü	71
Şekil 4.3. Modellenen Guseli Kolon-kiriş Birleşimine Ayıt Enkesit, Boykesit ve Bileşenlerin Detayları	72
Şekil 4.4. Kullanılan Uç Farklı Guse Açısı.....	73
Şekil 4.5. HA-45-3 Modeline Ait Birleşim Bölgesinin Detayları.....	77
Şekil 4.6. HA-45-3 Modeline Ait Oluşturulmuş Sonlu Eleman Modeli.....	78
Şekil 4.7. HA-45-4 Modeline Ait Birleşim Bölgesinin Detayları.....	79
Şekil 4.8. HA-45-4 Modeline Ait Oluşturulmuş Sonlu Eleman Modeli.....	79
Şekil 4.9. HA-45-7 Modeline Ait Birleşim Bölgesinin Detayları.....	80
Şekil 4.10. HA-45-7 Modeline Ait Oluşturulmuş Sonlu Eleman Modeli.....	81
Şekil 4.11. Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrilerinin Tipik Modelleri	82
Şekil 4.12. Mühendislik, Gerçek ve Abaqus İçin Kullanılan S275JR Çelik Gerilme- Birim Şekil değıştirme Eğrisi	84
Şekil 4.13. Mühendislik, Gerçek ve Abaqus İçin Kullanılan 8.8 Bulon Gerilme - Birim Şekil değıştirme Eğrisi	84
Şekil 4.14. Abaqus 'ta 3B katı element şekilleri.....	85
Şekil 4.15. (a) Katı C3D8R Eleman Tipi ve (b) Katı C3D20R Eleman Tipi (ABAQUS 6.14)	86
Şekil 4.16. (a) Kolon, (b) Kiriş, (c) Alın Levha, (d) Guse, (e) Diyagonal Berkitme, (f) Kolon Berkitmesi, (g) M16 Bulon ve (h) Kiriş Berkitmesi sonlu eleman ağ sıklığı ve modelleri (Şekil Ölçeksizdir).	87
Şekil 4.17. Kiriş Ucundaki Kinematik Bir Bağlantı Kısıtlaması	88
Şekil 4.18. Modellerin Kiriş Kısımındaki Düzlem Dışı Kısıtlama Tipleri	88
Şekil 4.19. Kolon Ucundaki Ankastre Mesnet.....	89
Şekil 4.20. Bulonlara Uygulanan Öngerme Kuvveti	89
Şekil 4.21. Kolon Kiriş Bölgesinde Meydan gelen Dönme Mukayesesi.....	90
Şekil 4.22. (a) JDI Laboratuvar Numunesi ve (b) SEY'yle Analiz Edilen Model	91
Şekil 4.23. HA-15-1 Modelinde Oluşan (a), (c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	92

Şekil 4.24. HA-15-2 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	92
Şekil 4.25. HA-15-3 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	92
Şekil 4.26. HA-15-4 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	93
Şekil 4.27. HA-15-5 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	93
Şekil 4.28. HA-15-6 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	93
Şekil 4.29. HA-15-7 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	94
Şekil 4.30. 15 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	96
Şekil 4.31. HA-30-1 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	96
Şekil 4.32. HA-30-2 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	97
Şekil 4.33. HA-30-3 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	97
Şekil 4.34. HA-30-4 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	97
Şekil 4.35. HA-30-5 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	98
Şekil 4.36. HA-30-6 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	98
Şekil 4.37. HA-30-7 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	98
Şekil 4.38. 30 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri.....	100
Şekil 4.39. HA-45-1 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa)	
ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	101

Şekil 4.40. HA-45-2 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	101
Şekil 4.41. HA-45-3 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	101
Şekil 4.42. HA-45-4 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	102
Şekil 4.43. HA-45-5 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	102
Şekil 4.44. HA-45-6 Modelinde Oluşan (a), (c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	102
Şekil 4.45. HA-45-7 Modelinde Oluşan (a), (c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme	103
Şekil 4.46. 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	104
Şekil 4.47. (a) HA-15-1, (b) HA-30-1, (C) HA-45-1 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	105
Şekil 4.48. (a) HA-15-1, (b) HA-30-1, (C) HA-45-1 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	106
Şekil 4.49. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	107
Şekil 4.50. (a) HA-15-2, (b) HA-30-2, (C) HA-45-2 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	108
Şekil 4.51. (a) HA-15-2, (b) HA-30-2, (C) HA-45-2 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	108
Şekil 4.52. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	110
Şekil 4.53. (a) HA-15-3, (b) HA-30-3, (C) HA-45-3 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	111
Şekil 4.54. (a) HA-15-3, (b) HA-30-3, (C) HA-45-3 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	111
Şekil 4.55. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	113

Şekil 4.56. (a) HA-15-4, (b) HA-30-4, (C) HA-45-4 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	114
Şekil 4.57. (a) HA-15-4, (b) HA-30-4, (C) HA-45-4 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	114
Şekil 4.58. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	116
Şekil 4.59. (a) HA-15-5, (b) HA-30-5, (C) HA-45-5 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	117
Şekil 4.60. (a) HA-15-5, (b) HA-30-5, (C) HA-45-5 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	117
Şekil 4.61. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	119
Şekil 4.62. (a) HA-15-6, (b) HA-30-6, (C) HA-45-6 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	119
Şekil 4.63. (a) HA-15-6, (b) HA-30-6, (C) HA-45-6 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	120
Şekil 4.64. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	121
Şekil 4.65. (a) HA-15-7, (b) HA-30-7, (C) HA-45-7 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)	122
Şekil 4.66. (a) HA-15-7, (b) HA-30-7, (C) HA-45-7 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme.....	122
Şekil 4.67. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri	124

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. AISC ve FEMA 350 tarafından çeşitli zamanlarda onaylanmış moment taşıyan birleşimler	10
Tablo 2.1. Birleşim Türleri.....	35
Tablo 2.2. Rijitliğe göre birleşimlerin EC3 sınıflandırması.....	36
Tablo 2.3. EC 3'e göre rijitlik sınırları	36
Tablo 2.4. Tasarım prosedüründe değerlendirilecek bileşenler	43
Tablo 2.5. Kolonları Güçlendirme Yöntemleri	48
Tablo 2.6. Standart Bileşenler	50
Tablo 3.1. Modül Ağacıyla Model Oluşturmak	68
Tablo 4.1. 15 Dereceli Deney Modellerin Adları ve Açıklamaları.....	74
Tablo 4.2. 30 Dereceli Deney Modellerin Adları ve Açıklamaları.....	75
Tablo 4.3. 45 Dereceli Deney Modellerin Adları ve Açıklamaları.....	76
Tablo 4.4. 15 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	95
Tablo 4.5. 30 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	99
Tablo 4.6. 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	104
Tablo 4.7. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	107
Tablo 4.8. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	109
Tablo 4.9. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	112
Tablo 4.10. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	115
Tablo 4.11. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	118

Tablo 4.12. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz	
Sonuçları.....	121
Tablo 4.13. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz	
Sonuçları.....	123
Tablo 4.14. 15 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	125
Tablo 4.15. 30 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	125
Tablo 4.16. 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları.....	125



ÖZET

Anahtar kelimeler: Kolon kiriş birleşim bölgesi, guse, guse açısı, berkitme levhaları, Sonlu elemanlar yöntemi, Abaqus.

Çelik yapılarda kolon-kiriş birleşim bölgeleri yapısal davranışta etkin rol oynamaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinden güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine göre, birleşim bölgesinin kirişten daha güçlü olması ve plastik mafsallın kirişte oluşması istenmektedir. Bu kapsamda, çelik yapılarda kolon-kiriş birleşim bölgesi guseler ile güçlendirilmektedir. Bu çalışmada, guseli kolon-kiriş birleşim bölgeleri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 15, 30 ve 45 dereceli üç farklı açıda guse elemanı esas alınarak model birleşimler oluşturulmuştur. Her bir model için kolon panel bölgesini güçlendirecek düz ve diyagonal olarak tasarlanmış altı farklı berkitme tipi incelenmiştir. Toplamda 21 adet sonlu eleman modeli Abaqus programı yardımıyla oluşturulmuş ve 100mm düşey yerdeğiştirme kontrollü yükleme durumunda analiz edilmiştir. Modellemede birleşim bölgesindeki tüm bileşenler ayrı ayrı modellenip gerekli olan temas ve sürtünme yüzeyleri tanımlanarak idealleştirme yapılmıştır. Sonlu eleman modellerin analizinde iki aşamalı çözümleme yapılmıştır. Birinci aşamada birleşim bölgesindeki bulonlara verilen öngerme kuvveti analiz edildikten sonra, ikinci aşamadaki düşey yerdeğiştirme durumunda birleşim bölgesi çözümlenmiştir. Yapılan analizlerde guse açısı ve berkitmelerin kolon-kiriş birleşim bölgesindeki davranışa etkilerinin değerlendirilebilmesi için Von Mises gerilme dağılımları, plastik şekil değiştirmeleri, yük deplasman eğrileri ve plastik mafsall oluşumu gibi birleşim değerlendirme indeksleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucu, 30 ve 45 dereceli guse açıları için, her ikisi de yönetmeliklerdeki koşulları sağlarken, 30 dereceli guse açısı 45 dereceli guseye oranla birleşimin taşıma gücünü daha fazla artmasından dolayı incelenen 15,30 ve 45 dereceli guse açıları arasında en uygun açı olarak tanımlanmıştır. Son olarak, guseli birleşimlerde panel bölgesini güçlendirmek ve burkulmasını önlemek için incelenen altı farklı berkitme tipi arasında, üç paralel ve K berkitmeli birleşim tipi en uygun berkitme tipi olarak belirlenmiştir.

EFFECT OF THE HAUNCH ANGLE AND STIFFENER TYPES ON COLUMN-BEAM CONNECTION BEHAVIOUR UNDER STATIC LOADING

SUMMARY

Keywords: Column-beam connections, haunch, haunch angel, stiffeners, Finite element method, Abaqus

Column-beam connection zones play an active role in the structural behavior of steel structures. According to the strong column-weak beam principle, which is one of the earthquake resistant building design principles, it is required that the joints are typically designed to induce plastic hinges within the beam span by moving them away from the face of the columns. Adding a haunch at the bottom of the beam flange gives the possibility of designing a joint with sufficient overstrength against the beam and ensuring the position of the plastic hinge. In this study, the behavior of column-beam connections that are reinforced with haunches were investigated, numerically. Throughout the study, models were created based on three different haunch angels: 15,30 and 45 degrees. In addition to strengthening the column web, each model was reinforced with six different types of straight and diagonal stiffeners. A total of twenty-one numerical steel haunched beams to column connections with different haunch angels, and different types of stiffeners models were developed and analyzed under 100mm displacement loading by means of finite element method using Abaqus software. Material and geometrical non-linearities, contact between adjacent surfaces and the pretension force in the bolts are taken into account in the modelling. The analysis of the finite element modeling involved two loading steps. Firstly, fixed supports were applied at the end of the column and the pretension forces were applied to the bolts. After solving the first loading step, the second loading step involved a downward displacement load being applied at the loading point identified on the beam. In the analysis performed, joint evaluation indices such as Von Mises stress, plastic deformations, load-displacement curves and plastic hinge formation were examined comparatively in order to evaluate the effects of haunch angle and stiffeners reinforcements on the behavior of column-beam connections. As a result of the study, for the 30 and 45 degree haunch angles, while both met the requirements of codes, the 30 degree haunch angle was defined as the most fitting angle between the 15, 30 and 45 degree haunch angles examined throughout the study. Although, the joint's bearing capacity increased more than the 45-degree haunch angle. To sum up, among the six different types of stiffeners investigated in order to strengthen the column web and prevent buckling in the haunched connections, three parallel and K-stiffened joint types were determined as the most suitable types of reinforcement.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kolon-kiriş birleşimleri, özellikle çelik çerçeveler olmak üzere bina çerçevelerinin davranışında önemli bir etkiye sahiptir. Çelik yapıdaki birleşimlerin dikkatli bir şekilde incelenmesi önem arz etmektedir. Bu bakımdan çelik yapılardaki birleşimlerin analizinde, tasarımında ve uygulamasında yapılacak herhangi bir yanlışlık, sadece birleşim bölgelerine zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda yapı elemanları ve dolayısıyla bütün yapı üzerinde yıkıcı etkilere neden olur. Son yıllarda bu konuya verilen önem; arızaların sebebini belirlemek, birleşimin kalitesini ve sünekliğini artırmak ve çözümler bulmak için kapsamlı araştırmaların yapılmasına neden olmuştur.

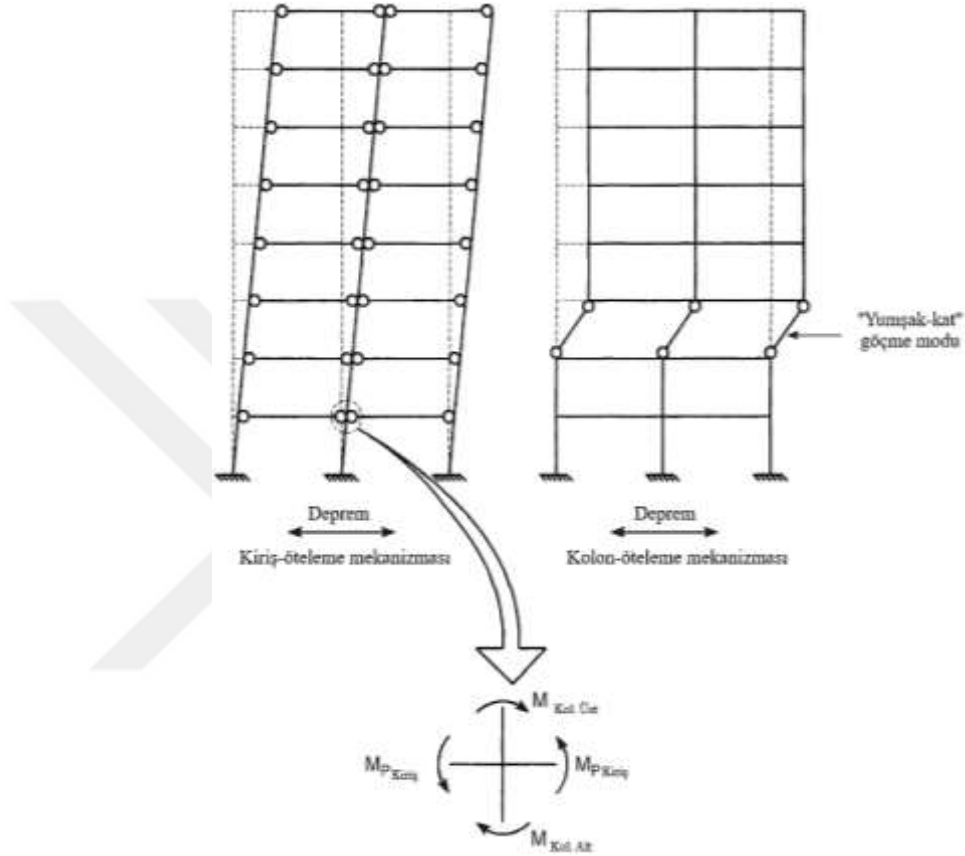
Yapısal çelik çerçevelerin hem kullanım hem de imalat ve montaj ekonomisi açısından başarılı performansı, çerçeveyi oluşturan yapısal elemanların boyutu kadar birleşimlerin şekline de bağlıdır. Bulonlu birleşimler ve özellikle moment aktaran birleşimlerin davranışları karmaşıktır ve birleşimdeki gerilime dağılımı, birleşim araçlarının kapasitesine ve birleştirilen elemanların göreceli sünekliğine bağlıdır. Bu nedenle, bağlantıların tasarımının, çelik çerçevenin yapısal davranışına ilişkin varsayımlarıyla tutarlı olması gereklidir. Birleşimleri seçerken ve boyutlandırırken, mühendis her zaman birleşimin rijitliği/sünekliği, moment ve kesme dayanımı ve gerekli dönme kapasitesi gibi temel özellikleri göz önünde bulundurmalıdır (Davison & Owens, 2012). 1994'te Northridge'de ve 1995'te Kobi'de meydana gelen depremden sonra, çoğu moment taşıyan çelik çerçevelerin birleşimlerinde kırılğan bir kopma meydana gelmiştir (Chi ve ark., 1998; Lai ve ark., 2015; Chen ve ark., 2004; Miller, 1998; Lee, 2002). 1997 yılından sonra süneklik kavramına özen gösterilmeye başlanmış ve yönetmenliklere uygun olarak yüksek sünek yapı yapma önerilmiştir (Malley ve ark., 1997; FEMA, 1999; Wang, 2017). Süneklik; bir yapının, elastik bölgede taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra inelastik bölgedeki şekil değiştirebilme

kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle çelik bir yapının mukavemetinde önemli bir bozulma olmadan ve kararsızlık ve çökme gelişmeden büyük elastik olmayan deformasyonlara dayanabiliyorsa, bu durum yapının sünek bir şekilde davrandığı anlamına gelmektedir. Yapının sünek davranması için moment taşıma kapasitesinin yanısıra; kesme kuvvetinden dolayı kırılmadan ve normal kuvvetinden dolayı burkulmadan şekil değiştirebilme davranışını sürdürmesi gerekir (FEMA, 351; Mohammadi, 2017). Moment aktaran çelik çerçevelerin birleşim bölgesindeki sünekliğini arttırmak için çeşitli teknikler önerilmiştir. yönetmenliklerin en önemli tavsiyesi, kirişler üzerinde plastik mafsall oluşturulmasıdır. yapılarda göçmenin oluşmaması için plastik mafsallın kirişte oluşması gerekir. bunun için birçok yönetmelikte kapasite tasarım ilkeleri verilmiştir. plastik mafsallın kirişte oluşmasını sağlamak, kolonda oluşmasına engel olmak için birleşim noktalarının guseler ile güçlendirilmesi yöntemlerinden biridir (Malley ve ark., 1997; Wang, 2017; FEMA, 2000; AISC, 2005).

Birçok nedenden dolayı, çok katlı çerçeve tipi yapılarda yükler etkisi altında plastik mafsall oluşumunun kirişlerde meydana gelmesi istenir. Kirişlerde oluşacak plastik mafsallar bir yapının enerji sönümleme kapasitesini artırır. Çerçevede bulunan her bir kirişte 2 şer adet mafsall oluşumu sürecinde kolonlarda mafsall oluşmadığı sürece çerçeve yapı sistemi göçme mekanizma durumuna geçmeyecek, aksine yapının salınım hareketi enerjisini sönümlmeye devam edecektir. Plastik çökme mekanizmasının oluşması, yapı sisteminde çok fazla sayıda kirişte plastik mafsall oluşumu ile gerçekleşecektir. Şekil 1.1.' de eşit çatı deplasmanına sahip aynı tip iki yapıdan, kolon-öteleme mekanizması durumunda oluşacak kolon plastik dönme talebi, kiriş-öteleme mekanizması durumunda oluşacak kiriş plastik dönme talebinden yaklaşık sekiz kat daha büyüktür. Kolon-öteleme mekanizması, yapısal elemanların plastik dönme kapasitesindeki kısıtlar nedeniyle, büyük bir çökme riski ile sonuçlanır.

Güçlü kolon/zayıf kiriş tasarımı betonarme yapılarda yaygın olarak uygulanan ve uygulama zorluğu ile karşılaşılmayan bir tasarım felsefesi olmasına karşın, çelik yapılarda yapısal çelik tasarım standartlarında; uygulanmasına yönelik detayların geliştirilmediği ve önemli direnç gösterilen bir yaklaşım olmuştur. Araştırmacılar az

katlı çelik binalarda, kirişlerin genellikle kolonlardan çok daha yüksek en kesitli olmasından dolayı böyle bir tasarım felsefesinin benimsenmesinin , maliyeti önemli ölçüde değiştireceği ve ekonomik dengeyi etkileyebileceğini düşünmüştür(Brunneau ve ark., 2011).



Şekil 1.1. “Güçlü kolon/zayıf kiriş” tasarım felsefesinde plastik çökme mekanizmasının zayıf kolon-güçlü kiriş tasarım felsefesi plastik çökme mekanizması ile karşılaştırılması(Brunneau ve ark., 2011)

Bu tez çalışmasında guseli birleşimlerin tasarımı üzerine sonlu eleman modellemesi ve parametrik çalışma yapılmıştır. Guse açısındaki değişimin guseli birleşimin dayanım ve davranışı üzerine etkileri incelenmiştir.

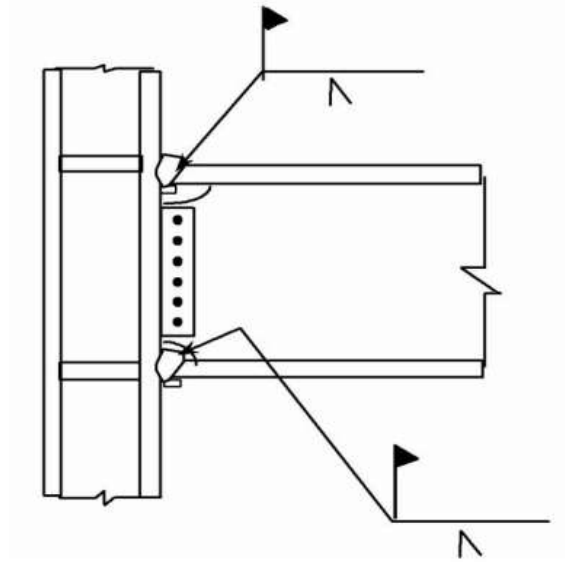
1.1. Northridge Depreminden Önceki Kaynaklı Moment Birleşimler

1994 Northridge depreminden önce çelik yapılar yönetmeliklerinde yer alan bağlantı bölgesi detayları, plastik mafsalların kolon enkesiti başlık bölgesine bağlı kirişler veya kolonun panel bölgesinde geliştirilmesi esasına dayanmaktaydı. Bu şekildeki

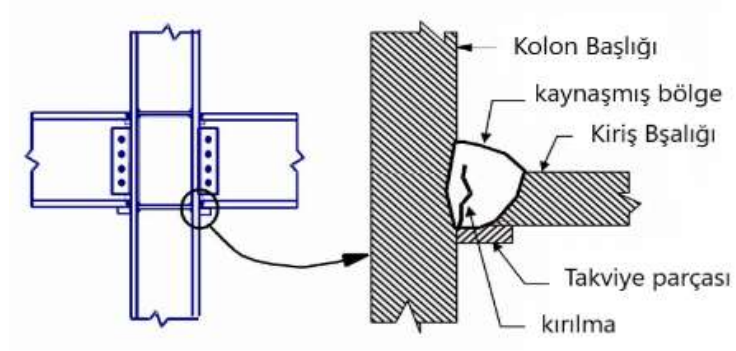
tasarımda, kolon panel bölgesinde plastik mafsall oluşumu ile ortaya çıkan kolon deformasyonu, kiriş başlık-kolon başlık eklemi üzerinde çok büyük ikincil gerilmelere neden olmakta ve bu durum gevrek kırılmaya katkıda bulunmaktadır.

Kolon enkesiti başlık bölgelerinde plastik mafsall oluşumu, birleşim aracı olarak kullanılan kaynak ve çevresindeki, ısıdan etkilenen kiriş bölgelerinde büyük şekil değiştirmelere neden olabilmektedir. Bu durum doğal olarak gevrek kırılmaya yol açabilmektedir (FEMA, 351).

1994 Northridge depreminden önce Şekil 1.2.'de görülen birleşimin, önemli bir kayıp olmadan, 0.2 radyan veya daha büyük plastik dönmeler oluşturmak için uygun olacağı düşünülüyordu (FEMA, 355D). Ancak deprem sonrası binaların maruz kaldığı hasarın gözlemlenmesi sonucu, FEMA, 355D de açıklanan davranışın aksine, bağlantı bölgelerinin çok düşük plastik talep seviyelerinde, hatta bazı durumlarda elastik davranış bölgesinde gevrek kırılmaların olduğu görülmüştür. Kopmanın genellikle kirişin alt başlığı ile kolon başlığı arasındaki tam nüfuziyetli küt kaynakta meydana geldiği ve pek çok doğrultuda ilerlediği gözlemlenmiştir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.2. 1994'ten Önce Tipik Kaynaklı Moment Dayanıklı Birleşim (FEMA, 355D)



Şekil 1.3. Kolon-kiriş Birleşiminde Ortak Kırılma Başlangıç Bölgesi (FEMA, 351)

Bazı durumlarda, kırıklar tamamen kaynağın kalınlığı boyunca ilerlemiştir ve yangın koruyucu kaplamalar çıkarıldığında, kırıkların kaynağın açıkta kalan yüzlerinde veya kaynağın hemen arkasındaki metalde bir çatlak olarak kendini gösterdiği görülmüştür. (Şekil 1.4.). Bazı durumlarda ise kırılma, tam penetrasyon kaynağının arkasında kolon başlığında bir çatlığa dönüşmüş olarak gözlemlenmiştir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.4. Kolon Başlığı Kırılması (FEMA, 351)

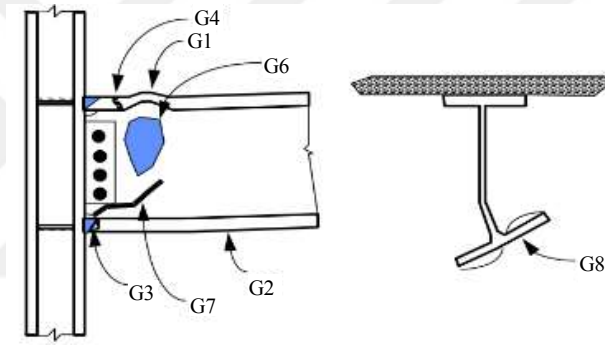


Şekil 1.5. Kaynaşmış Bölge Kırılması (FEMA, 351)

1994 Northridge depreminde hasar gören çelik moment çerçeveli binalar, genel olarak, o dönemin yönetmeliklerin temel amacını karşılamıştır. Birleşimlerde sınırlı yapısal hasar oluşmuş ve yapılarda göçme durumu oluşmamıştır. Ancak tasarım seviyesinden daha düşük bir yer sarsıntısı yaşayan binalarda bağlantı hasarları meydana gelmesi önemli ekonomik kayıplara neden olmuştur.

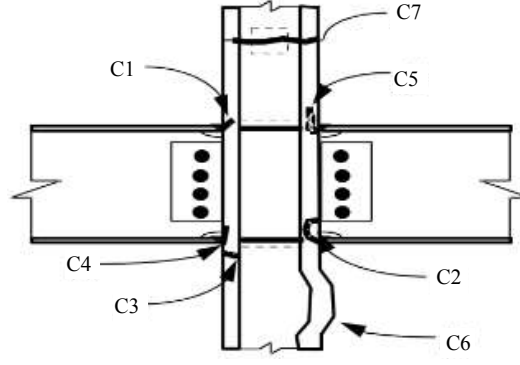
1.2. Northridge Depreminden Sonra Birleşim Bölgesinde Meydana Gelen Hasarlar

1994 Northridge Depreminden Sonra Birleşim Bölgesinde Meydana Gelen Hasar türleri ve hasar bölgeleri Şekil 1.6.-1.10 da tanımlanmış gösterilmiştir.



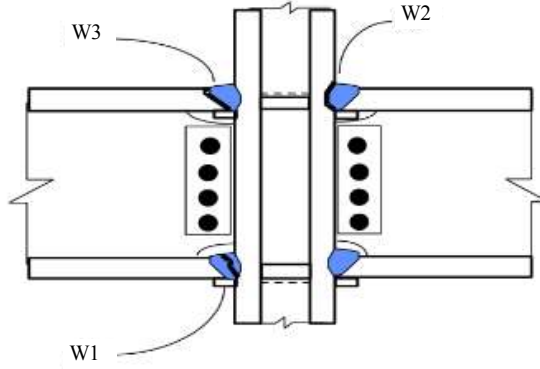
- | | |
|----|---|
| G1 | Burkulmuş Başlık (üst veya alt) |
| G2 | Akmiş başlık (üst veya alt) |
| G3 | Isı tesiri altındaki bölgede (itab) başlık kırılması (üst veya alt) |
| G4 | Isı tesiri altındaki bölge (itab) dışında başlık kırılması (üst veya alt) |
| G6 | Gövde akması veya burkulması |
| G7 | Gövde kırılması |
| G8 | Kesitin yanal burulma burkulması |

Şekil 1.6. Kiriş hasar türleri (FEMA351)



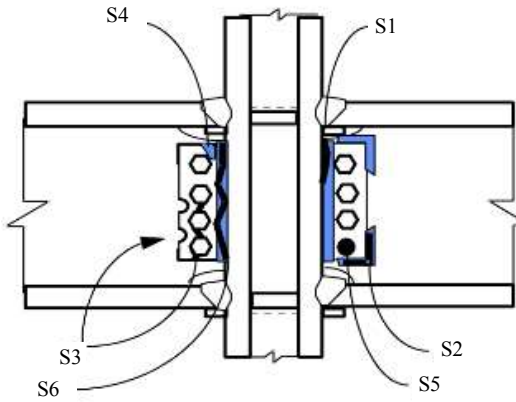
- G1 Burkulmuş Başlık (üst veya alt)
- G2 Akmış başlık (üst veya alt)
- G3 Isı tesiri altındaki bölgede (itab) başlık kırılması (üst veya alt)
- G4 Isı tesiri altındaki bölge (itab) dışında başlık kırılması (üst veya alt)
- G6 Gövde akması veya burkulması
- G7 Gövde kırılması
- G8 Kesitin yanal burulma burkulması

Şekil 1.7. Kolon Hasar Türleri (FEMA351)



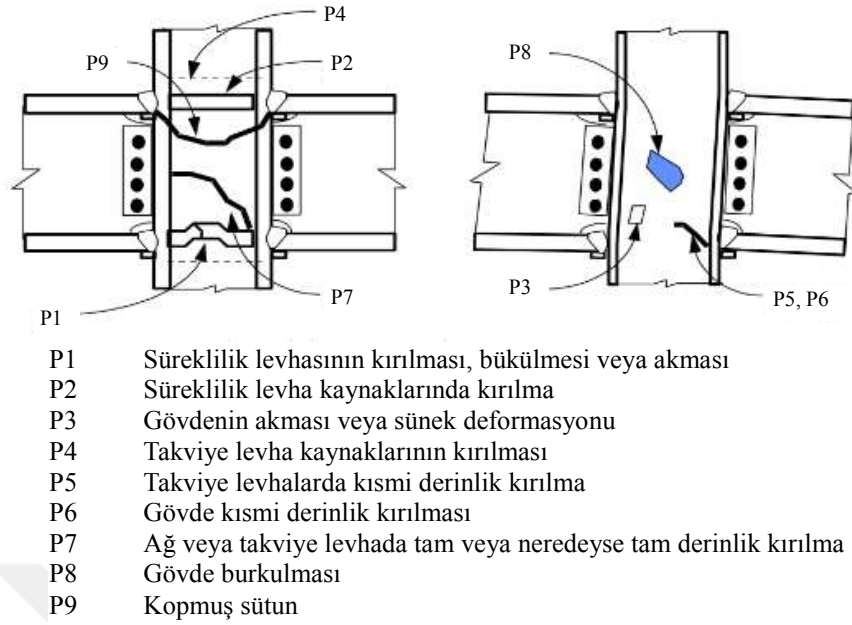
- W1 Kaynak metal kalınlığında çatlak
- W2 Kolon başlık kırılması
- W3 Kiriş başlık kırılması

Şekil 1.8. Kaynak Hasarı, Yapısal Kusurlar ve Süreksizlik Türleri (FEMA351)



- S1 Kolon kaynağına kısmi çatlak
- S2 Ek kaynak kırılması
- S3 Bulonlarda kesme levhaları boyunca kırılma veya ciddi hasar
- S4 Köşebent akması veya burkulması
- S5 Gevşek, hasarlı veya eksik cıvatalar
- S6 Kaynağın kolona tam uzunlukta kırılması

Şekil 1.9. Kesme Levhasının Hasar Türleri (FEMA351)



Şekil 1.10. Panel Bölgesi Hasar Türleri (FEMA351)

1.3. Genel Değerlendirme

Northridge depreminde binaların maruz kaldığı hasarın gözlemlenmesi sonucunda birçok durumda birleşimlerde çok düşük plastik talep seviyelerinde veya elastik bölgede gevrek kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. Northridge depreminden sonra hasarların özellikle birleşim bölgesi ve kolon panel bölgelerinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu hasarlar sonucunda kiriş-kolon birleşimlerinin önemli bir eğilme rijitliği ve mukavemet kaybı yaşadığı tespit edilmiştir

Moment aktaran çelik çerçeve yapılarda, plastik mafsalların oluşumunun sağlanmasıyla, yapıların büyük miktarlarda enerji yutma kapasitesine sahip olmaları beklenmektedir. Kiriş-kolon birleşimleri, plastik mafsal oluşumunu kolon yüzeyinden uzaklaştıracak şekilde yapılandırılmalıdır. Bu birleşimin yerel olarak güçlendirilmesi ve birleşimden belirli bir mesafede kirişin kesitinin yerel olarak azaltılması ile yapılabilir.

Çelik kirişlerdeki plastik mafsalların uzunluğu sınırlıdır ve genellikle kirişin derinliğinin yaklaşık yarısı kadardır. Plastik mafsallın konumu, kolon yüzeyinden en az kirişin derinliğinin yarısı kadar uzakta olmalıdır ve bu durum birleşim bölgesinin

güçlendirilmesi yoluyla yapıldığında, belirli bir kiriş boyutu için kolonlar üzerindeki eğilme talepleri artar. Birleşimlerin yerel olarak güçlendirilmesiyle zayıf kolon koşullarının yanlışlıkla oluşturulmamasına özen gösterilmelidir.

1.4. Northridge Depreminden Sonraki Birleşim Gelişmeleri

Eylül 1994'te, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü(AISC) ve Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (SAC) Ortak Girişimi ile çeşitli katılımcıların çabalarını koordine etmek ve sorunun sistematik olarak araştırılması ve çözülmesinin temelini atmak için Los Angeles'ta uluslararası bir seminer düzenlenmiştir (SAC- Selected Areas in Cryptography, 1994). Bu seminerin ardından FEMA, çelik moment çerçeveli binaların sismik performansına ilişkin sorun odaklı çalışmalar yapmak ve profesyonel uygulama için öneriler geliştirmek amacıyla SAC Ortak Girişimi ile bir iş birliği anlaşması imzalayarak özellikle aşağıdaki konu başlıklarına yönelik çalışmaya başlamıştır;

1. Depremden etkilenen binaların önemli bir hasara uğrayıp uğramadıklarını belirlemek için incelenmesi
2. Hasarlı binaların tamiri
3. Mevcut binaların gelecekteki olası performanslarını iyileştirmek için iyileştirilmesi ve güvenilir sismik performans sağlamak için yeni yapıların tasarımı

1995'in ilk yarısında, ilgili konuları araştırmak için yoğun bir araştırma programı yürütülmüştür. Bu araştırma; literatür araştırmaları, etkilenen yapılar hakkında veri toplama, toplanan verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, hasarlı ve hasarsız binaların analitik çalışmaları ve tipik Northridge öncesi tasarım ve inşaat uygulamalarını temsil eden bir seri tam ölçekli kiriş kolonun montajının laboratuvar testlerinin yanı sıra çeşitli onarım, güçlendirme ve alternatif tasarım ayrıntılarını içeriyordu. Çalışmanın bulguları, Ağustos 1995'te yayınlanan FEMA-267- Çelik Moment Çerçevelerin Değerlendirilmesi, Onarımı, Güçlendirilmesi ve Tasarımı için temel oluşturdu. FEMA-267, 1994 Northridge depreminde birleşim hasarlarının

gerçekleşmesinin ardından, geçici de olsa ilk kesin uygulama önerilerini sunmuştur(FEMA, 355D).

Yalnızca FEMA/SAC projesinin bir parçası olarak gerçekleştirilen testlerin çevrimiçi veri tabanı, 513 örneğin sonuçlarını içermektedir. Bu kapsamlı bilgilerin gözden geçirilmesi, daha sonra açıklanan tasarım ilkeleriyle birlikte kullanılacak olan FEMA350 Moment Aktaran Çelik Çerçeveler için Önerilen Tasarım Kriterleri FEMA 2000'a kapsamında sunulan seçilmiş sayıda ön nitelikli bağlantıyı kapsamaktadır. Aynı bilgi daha sonra AISC 358 Sismik Uygulamaları için Moment Dirençli Çerçevelerde Ön Yeterliliğe Sahip Bağlantılar geliştirmede, AISC İnceleme Heyeti tarafından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme metninde standart ve şartnamelere atıfta bulunduğu için yetkililer tarafından daha kolay kabul edilmiştir. Tablo 1.1.' de AISC 358 ve FEMA 350 tarafından çeşitli zamanlarda onaylanmış moment taşıyan birleşimler gösterilmektedir. Tablo1.1.'deki kısaltmalar; dört kaynaklı ve üç bulonlu bağlantılı güçlendirilmemiş kaynaklı başlıklar-kaynaklı gövde (WUF-W), serbest başlık (FF), kaynaklı başlık levhali (WFP), zayıflatılmış kiriş en kesiti (RBS), bulonlu alın levhali (BUEP), Bulonlu güçlendirilmiş alın levhali (BSEP) ve Bulonlu başlık levhali (BFP) yi tanımlamaktadır.

Tablo 1.1. AISC ve FEMA 350 tarafından çeşitli zamanlarda onaylanmış moment taşıyan birleşimler

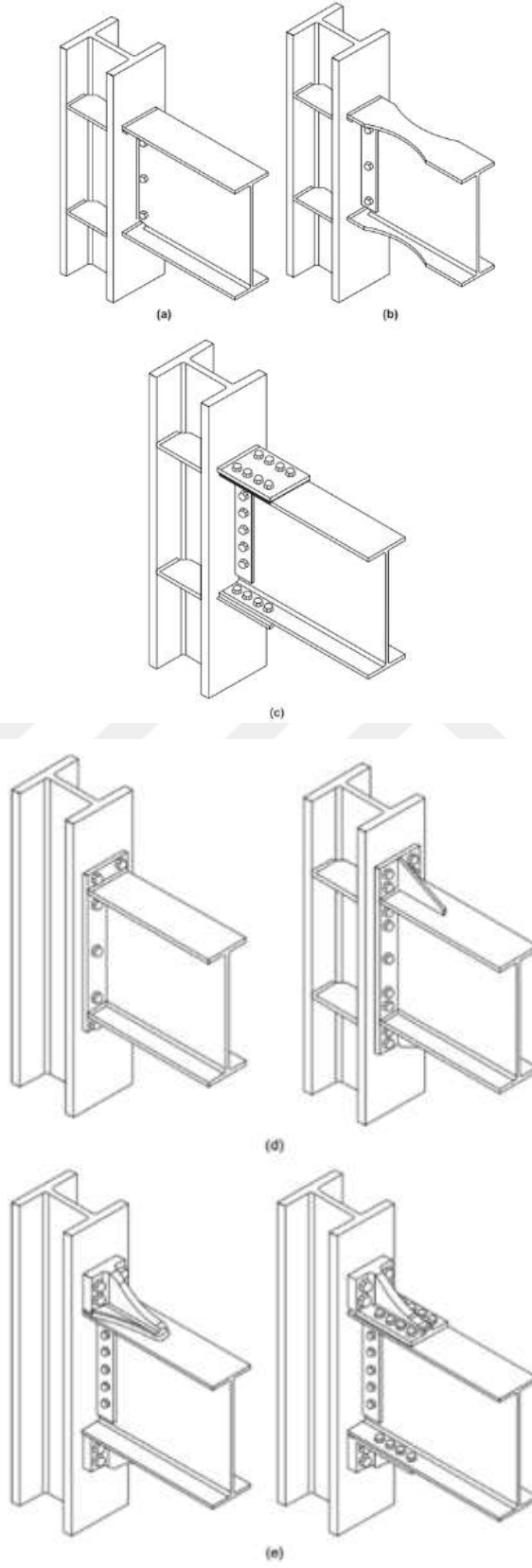
Yönetmenlik:	WUFW	FF	WFP	RBS	BUEP	BSEP	BFP	BB
FEMA 350	X	X	X	X	X	X	X	
AISC 385 -2005				X	X	X		
AISC 358 -2010	X			X	X	X	X	X

AISC 358 tarafından ön yeterliliğe sahip olanlar Şekil 1.11.'de şematik olarak gösterilmektedir. Bunlardan AISC 358-10, bunlardan yalnızca WUF-W, RBS, BURP, BSEP ve BFP bağlantılarının ön yeterliliğini kabul etmiş ve daha sonra bulonlu köşebent (BB) bağlantısını da kabul edilenler arasına eklemiştir. (Hamburger ve ark., 2009).

Bu bağlantıların çoğu, plastik mafsallı kolon bölgesinden kiriş taşımak için tasarlanmıştır. Önerilen geometri ve birleşim detayları Northridge depreminden önceki gevrek kırılma problemlerini kaldırır ve gevrek kırılma riskini en aza indirir.

Bulonlu bağlantılar, önemli ölçüde daha fazla sınır durumunun kontrol edilmesini gerektirir ve bazen sadece daha küçük kirişler için uygulanabilir. BFP bağlantısı WFP bağlantısına benzer, ancak başlık levhaları ve kesme köşe bantları kirişe bulonlanır. BUEP ve BSEP bağlantıları, elastik kalacak ve kirişte oluşacak plastik mafsallın gelişmesine izin verecek şekilde boyutlandırılmıştır. Bu nedenle, bulonlar veya alın levha akması istenmeyen göçme modlarındandır.

Atölye kaynağı ve sahada bulon lamanın tercih edilen montaj yöntemi olduğu yerlerde bulonlu alın levhalı moment birleşimler tercih edilir. BUEP veya BSEP gerekliliklerine göre detaylandırılan ilave plaka takviyeleri veya daha kalın bir alın levha ve daha güçlü bulonlu birleşimler, Northridge depreminden önce uygulanan geleneksel tasarım prosedürüne uygun olarak boyutlandırılmış birleşimlere göre plastik deformasyon



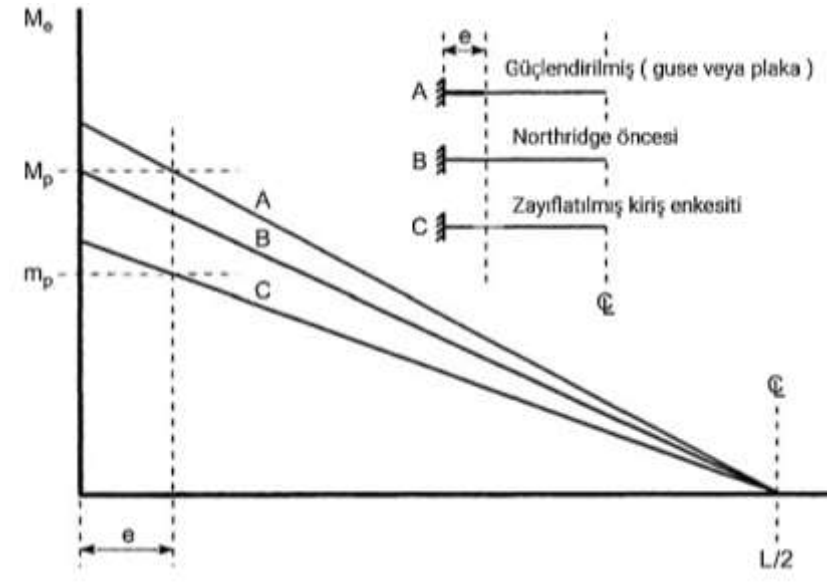
Şekil 1.11. AISC ve FEMA 350 tarafından çeşitli zamanlarda onaylanmış moment taşıyan birleşimler

kapasitesi ile karşılaştırıldığında daha yüksek enerji dağıtma kapasitesi sergilemiştir. (Bruneau ve ark., 2011).

Genel olarak, Northridge depremi öncesi moment aktaran çerçevesel birleşimler ile ilgili sorunları aşmak için başlangıçta iki anahtar kavram izlendi:

- Birleşimlerin güçlendirilmesi
- Birleşimlerdeki kirişlerin zayıflatılması

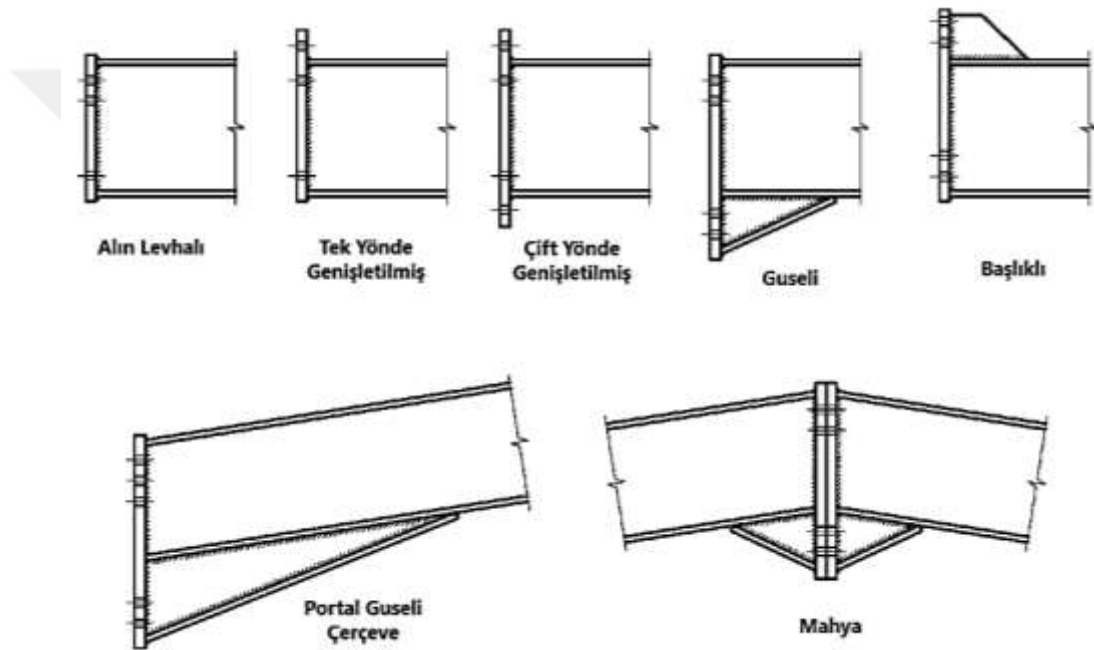
Her iki durumda da amaç, üç eksenli gerilme koşullarına maruz kalan kaynakların kırılganlığı ile ilgili sorunlardan kaçınmak için plastik mafsallı kolonun yüzünden uzaklaştırmaktır. Güçlendirme durumunda güçlendirilmiş kiriş uçları, kirişin plastik moment M_p 'yi, kolon yüzeyinden “e” kadar uzaklaştırarak, kolon yüzeyinde daha büyük momentlere neden olur. Bu durumun aksine, birleşimlerdeki kirişlerin zayıflatılması çözümü “e” kadar uzaklıktaki kiriş plastik momentini lokal olarak azaltır ve kolon yüzeyinde oluşan maksimum moment M_p 'den daha küçük bir mukavemet momentinde (m_p) plastik mafsallı meydana gelmesini sağlar.



Şekil 1.12. Plastik Mafsalların Kolon Yüzünden e Kadar Uzakta Oluşmasını Sağlamak İçin Moment Eğiminin Dikkate Alınması (Bruneau Ve Ark., 2011).

1.5. EN 1998-1 ve SCI/BCSA, 1995 Yönetmenliğine Göre Deprem ve Rüzgar yüklerine Dayalı Birleşimler

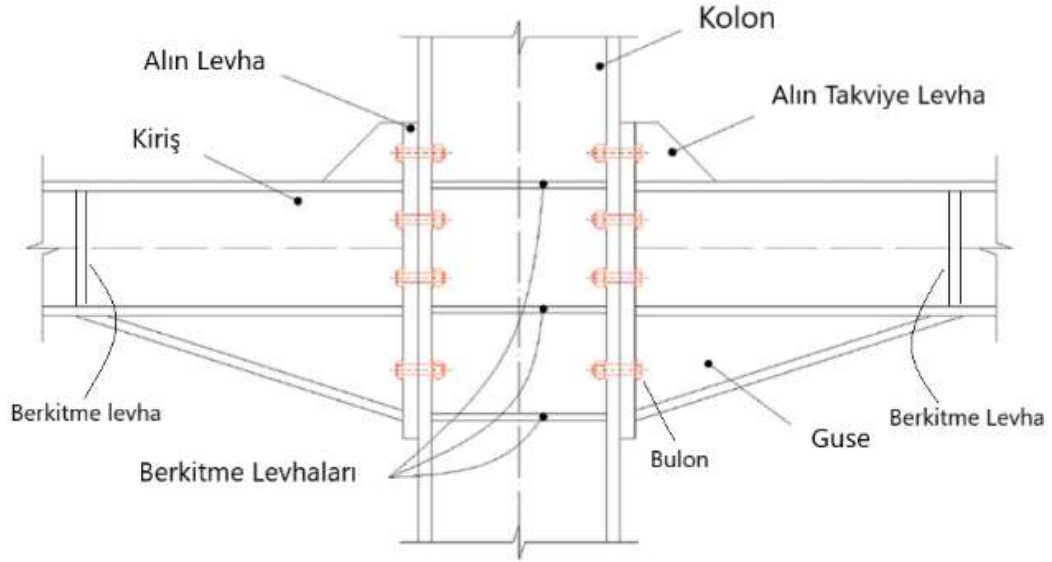
Çok katlı çerçevelerde kullanılan moment birleşimleri çoğunlukla alın levhali birleşimleri olup daha büyük açıklıklarda guseli bir birleşimler kullanılabilir. Portal çerçeve yapıları için, hemen hemen her zaman moment aktaran guseli bir çerçeve kullanılmaktadır. Şekil 1.13.'te çeşitli moment aktaran birleşimleri görülmektedir.



Şekil 1.13. Tipik Moment Aktaran Birleşimler (EN 1998-1)

Rijit kiriş-kolon birleşimlerinde en klasik düzenleme, kirişe bir alın levha kaynaklayarak kirişi alın levhasından kolon başlığına bulonlamaktır. Alın levha uzatılarak birleşimde kullanılacak bulon sayısı artırılabilir. Bulon sayısının artırılması için alın levhasının kiriş üst başlığı tarafındaki kaldırma kolunun uzatılması önerilir. Bu sayede çekme etkisi altında birleşimin dağılmasına engel olmaktadır. Çekme bölgesinin aksine basınç bölgesindeki alın levhasının elde edilen yüksekliği gerekli mukavemet ve rijitliği sağlamak için yeterli olmadığında, birleşim bölgesi guse yerleştirilerek tasarlanmaktadır (Şekil 1.14.). Alın levhasının çekme ve basınç etkisine yeterli direnci göstermesi için levha kalınlığını arttırmak yerine berkitme

kullanılmalıdır. Birleşim parçaları arasındaki arayüzde plastik mafsalların oluşumundan kaçınılmalıdır. Özellikle çevrimsel yükleme altında, bulonların inelastik uzaması genellikle sınırlıdır. Birleşim bölgesinde kullanılan guse elemanı; birleşimde oluşması beklenen plastik bir mafsalı; birleşim bölgesinden uzaklaştırarak, kirişin orta bölgesinde oluşmasını ve böylece birleşimin sünek bir davranış sergilemesini sağlamaktadır. Guse, birleşim bölgesindeki kiriş parçasının mukavemetini artırarak daha rijit bir birleşim tasarlama ve plastik mafsalin konumunu belirleme imkanı sunmaktadır. Kolon gövdesi, kiriş başlıklarının hizasında ve guse gibi yoğun kuvvetlerin aktarıldığı konumlarda berkitmelerle güçlendirilmektedir (Vayas ve ark., 2019).



Şekil 1.14. Guseli Birleşim (Lawson ve Rackham, 1989)

1.6. Kaynak Araştırması

Northridge depremi öncesi yönetmeliklerde, moment aktardığı kabul edilen birleşim şekillerinden dört birleşim tipi, statik ve dinamik yük etkisi altında test edilmiştir. Yapılan çalışmada dinamik olarak yüklenen numunelerin performansının, statik olarak yüklenen numunelerin performansından daha düşük olduğu ve kırılma tipilerinin de farklı olduğu görülmüştür. Birleşimlerde oluşan hasar modellerine bağlı olarak, bu numuneler bir guse ile takviye edilerek tekrar test edilmiştir. Statik ve dinamik test

sonuçlarında birleşim bölgesinde yapılan guse takviyesi ile plastik mafsallı kirişte ve kolon yüzeyinden uzakta meydana geldiği gözlemlenmiştir (Uang ve ark., 1998).

Çelik yapıların birleşim bölgesinin güçlendirilmesi ve sünekliği yüksek bir davranış göstermesi için, kirişin alt başlığının kolonun başlığıyla birleşim bölgesine guse elemanı yerleştirilmelidir. Önerilen bir diğer yöntem ise birleşim elemanlarını güçlendirme levhaları ile desteklemektir. Birleşimde kullanılan guse elemanı ve güçlendirme levhaları birleşimin dayanımını artırmakta ve şekil değiştirmesini azaltmaktadır (FEMA, 1999).

Northridge depremi öncesi yönetmeliklerde, kaynak kullanılarak oluşturulmuş moment aktaran çerçeve bağlantıları için guse kullanımı ile ilgili tasarım prosedürü sunulmuştur. Bu tasarımlarda kirişin alt kısmına yerleştirilen kaynaklı guse elemanı, kirişte oluşan kesme kuvveti davranışında etkin rol oynadığı görülmüştür. (Yu ve ark., 2000).

Yapılmış olan çalışmada kaynaklı düz bir guseye sahip çelik moment aktaran bağlantılar için analitik modelleme ve sismik tasarım prosedürü açıklanmıştır. Test sonuçları, kirişin alt başlığına yerleştirilen guse elemanının, Northridge depremi öncesi yönetmeliklerde verilen moment aktaran birleşim tiplerinin, onarım ve güçlendirilmesi için uygun bir çözüm olabileceğini göstermiştir. Sonlu elemanlar analizi sonuçlarına dayalı olarak, kiriş ve guse arasındaki kuvvet etkileşimini ve deformasyon uyumluluğunu dikkate alan basitleştirilmiş bir analitik model geliştirilmiştir. Guse ucundaki gerilme yığılmasını azaltmak için çeşitli güçlendirme modelleri araştırılmıştır. Birleşim bölgesindeki gerilme yığılmasını azaltmak için guse ucunun yakınında bir delik açmanın uygun olacağı gözlemlenmiştir (Lee & Uang, 2001).

Moment aktaran çelik çerçeveli binalarda kaynaklı bağlantıların başarısızlığına sebep olan faktörleri araştırmak için seçilen yapıda dinamik ve statik yükleme altında sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Analiz için seçilen yapı, önemli sayıda gevrek kırılmanın rapor edildiği tipik dört katlı bir çerçeveydi. Analize ek olarak beş farklı model dahil

edilmiştir. Bunlar; kaynaklı kolon-kiriş güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş birleşimler, kolon başlıkları arasında süreklilik levhaları eklenmiş durum, zayıflatılmış kiriş ve kaynaklı guseli birleşimlerdir. Analiz sonucunda guseli birleşimlerin daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir (Burdekin & Kuntiyawichai, 2002).

Kompozit guseli kolon-kiriş bağlantılarının ve kirişlerin davranışının incelenmesi için kompozit kiriş bağlantılarının rijitliği, mukavemeti ve dönme kapasitesini etkileyen parametreler değerlendirilmiştir. Bu bağlantıların rijit bir bağlantının özelliklerini gösterdiği bulunmuştur. Deneysel sonuçlar, kompozit guseli kolon-kiriş bağlantısının sünek bir moment-dönme davranışı sergilediği bulunmuştur (Heong, 2005).

Northridge öncesi moment aktaran çelik birleşimlerin sismik rehabilitasyonu için kaynaklı gusenin kullanılmasının etkinliği, doğrusal olmayan sonlu elemanlar programı (ABAQUS) kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonunda, AISC Tasarım Kılavuzunda 30 ± 5 derece içinde olması önerilen guse açısının 50 dereceye kadar uzatılabileceği önerilmiştir (Chi ve ark., 2006).

Kaynaklı guseli birleşim, ANSYS programı kullanılarak monotonik ve tekrarlı yük altında test edilmiştir. Histerezis eğrisi, enerji kaybı katsayısı ve kiriş ucundaki plastik açı dahil olmak üzere farklı eksenel basınç oranı altındaki sonuçlar incelenmiştir. Çalışma sonunda birleşimin guse ile güçlendirildiğinde plastik mafsallın yer değiştirdiği rapor edilmiştir. Aynı zamanda akma dayanımı, yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısının arttırmasına sebep olabileceği gözlemlenmiştir (Jiang ve ark., 2012).

Kompozit guseli kolon-kiriş birleşimlerinin maksimum yük taşıma kapasitesini araştırmak için deneyler yapılmıştır. Üç sürekli kompozit guseli kiriş göçmeye karşı test edilmiştir. Bu parametrelerin maksimum yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemek için iki farklı oranda döşeme donatıları ve iki farklı guse uzunluğu incelenmiştir. Deney sonunda, kompozit guseli kirişin sünek bir moment-dönme davranışı sergilediği görülmüştür (Ng ve ark., 2012).

Eşit olmayan kiriş derinliklerine sahip moment aktaran birleşimlerin sismik davranışındaki farklılıkları araştırılmıştır. İncelenen birleşimler; düz veya diyagonal berkitmeli, alın levhalı, başlık levhalı birleşimler ve guseli birleşimlerden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında birleşimlerin sismik davranışının daha iyi anlaşılması için altı deney numunesi gerçekleştirilmiştir. Kirişin alt kısmında guse ile güçlendirilmiş bir birleşimin kullanılması, kirişin alt başlığında çatlak ilerlemesini ortadan kaldırılabileceği gözlemlenmiştir (Hashemi & Jazany, 2012).

β değerinin guseli birleşimin mekanik özelliği üzerindeki etkisini araştırmak için guseli birleşiminin basitleştirilmiş hesaplama modeli incelenmiştir. β değerinin artmasıyla kolon yüzeyindeki kiriş momentinin küçüldüğü ve kirişin gevrek kırılmadan korunmasının daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır. Ancak β birden büyükse, guse bölgesindeki kiriş kayması artar. Tasarımda kabul edilebilir β değeri bire yakın fakat ikiden küçük olmalıdır (Liu & Wang, 2014).

Mevcut çelik binalardaki kaynaklı geniş başlıklı kolon-kiriş birleşimlerinin plastik şekil değiştirme kapasitesi, yüksek mukavemetli cıvatalar ve kaynakla birleştirilmiş ek H-kesitli guse kullanılarak incelenmiştir. Kiriş ucunun üst ve alt başlıklarına guse eklenerek, kritik bölgenin kirişin ucundan kesitine taşındığı görülmüştür. Sonuç olarak, güçlendirilmiş numunelerin plastik şekil değiştirme kapasitesi güçlendirilmemiş numunelerinkinden 1,5 ila 2 kat daha büyük olduğu gözlemlenmiştir (Asada ve ark., 2014).

Monotonik yükleme altında alın levhalı bulonlu birleşimler sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Alın levhanın kalınlığındaki değişim ile panel bölgesi takviyesinin etkisi, diyagonal levhalar ve kolon gövdesinde takviye levhası eklenerek incelemiştir. Araştırma sonucunda; panel bölgesinin güçlendirilmesi kolondaki panel bölgesinin şekil değiştirmesinin azaldığı rapor edilmiştir. Fakat bu durumun kiriş başlıklarının ve gövdesinin daha erken burkulmasına ve dönme kapasitelerinin azalmasına neden olduğu belirtilmiştir (Yılmaz ve Bekiroğlu, 2016).

Timisoara Teknik Üniversitesinde yapılan çalışmada 24 adet alın levhalı guseli kolon-kiriş birleşimi irdelenmiştir. Bu çalışmada kolon ve kiriş boyutu, guse geometrisi, birleşim performansı, panel bölgesinin performansı çevrimsel ve monoton yükleme altında incelenerek numunelerin performansı, deformasyon kapasitesi, sertlik ve mukavemet açısından ölçülmüştür. Sonuç olarak, guseli birleşimlerin büyük plastik deformasyon talepleri olan sismik uygulamalar için uygun bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır (Stratan ve ark., 2017).

Alın levhalı guseli kolon-kiriş birleşimlerin monotonik yükleme altında yapılmış deneysel ve bilgisayar tabanlı sonlu elemanlar yöntemi (SEY) çalışmasında, malzeme ve bulon modeli ile ilgili özel detaylar özetlenmiştir. Ek olarak, sonlu eleman analizindeki malzeme tipinin etkisi, sonlu elemanlar ağ sıklığı ve geometrik kusurlar kapsamlı bir parametrik çalışmanın sonuçlarında sunulmaktadır. Araştırma sonucunda, 1 azaltılmış entegrasyon noktasına sahip sekiz düğümlü elemanlar (C3D8R) yüksek deformasyonlu analizler için uygun bir eleman olduğu belirlenmiştir (Jakab ve ark., 2019).

Farklı tipteki birleşimlerin sonlu elemanlar yöntemine dayalı maksimum moment kapasiteleri karşılaştırılarak kiriş ve kolonlardaki berkitmeleri, bulon çapları, birleşimlerdeki alın levha kalınlıkları incelenmiştir. Çalışma sonunda guseli birleşimlerin yaklaşık olarak %40 daha fazla moment kapasitesi ile çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır (Taşpınar, 2019).

Alın levhalı kolon kiriş birleşiminin güçlendirilmesi için guse amacıyla kullanılan iki adet plaka, kiriş ve kolonun başlık kısmına kaynatılmıştır. Bu bağlantıların güçlendirilmesinin verimliliği araştırılarak çerçeve davranışı üzerindeki etkisi sayısal olarak değerlendirilmiştir. Gusenin kalınlığı arttırıldığında veya kiriş merkez hattı ile açısı azaltıldığında çerçeve rijitliğinin yükseldiği gözlemlenmiştir (Saber ve ark., 2019).

Tekrarlı yükleme testi altında guse ile güçlendirilmiş kompozit kolon-çelik kiriş bağlantılarının model parametreleri üzerindeki hasarın etkileri ile ilgili deneysel ve

doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Laboratuvar koşullarında incelenmek üzere çeşitli kompozit kolon ve çelik kiriş bağlantı detaylarına sahip beş adet numune yapılarak guse etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, gusenin birleşim taşıma kapasitesi üzerine olumlu yönde etkileri olduğu görülmüştür (Nasery ve ark., 2020).

Yapılan farklı bir çalışmada, damperlerin kullanıldığı geleneksel bağlantıya alternatif bir sistem önerilmiştir. Endüstriyel binalarda vinç kirişini destekleyen çelik kolon-kiriş bağlantısının geliştirilmesine odaklanılmıştır. Çalışma sonunda, kiriş alt başlığına monte edilen damper guse ile takviye edilmiş ve birleşimler yerine alternatif bir çözüm olarak sunulmuştur (Bishay-Girges, 2020).

Güçlendirilmiş bağlantıların dinamik tepkileri ve etkinliği ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen veriler kaynaklı gusenin varlığının çerçeve süneklik oranını azalttığını göstermiştir. Araştırma sonucunda, guse takviyeleri, seçilen çelik çerçeveyi güçlendirdiği gözlenmiştir. Ayrıca guseli birleşimlerin patlama yüklemesi altında güçlendirilmemiş birleşimlere kıyasla dahi y bir dinamik performans sergilediği rapor edilmiştir (Yussof ve ark., 2020).

Bu çalışmada farklı boyut ve şekillerde tasarlanacak olan berkitme ve alın levhali guseli kolon-kiriş birleşimlerinin yük etkisi altındaki davranışları sonlu elemanlar yöntemi adı verilen sonlu sayıda elemanın matematiksel çözümü ile analiz edilmiştir. Analizler ABAQUS sonlu elemanlar programında gerçekleştirilecektir. Bu kapsamda, üç farklı guse açısıyla yedi farklı berkitmeye sahip kolon-kiriş birleşim tipi incelenmiştir.

1.7. Çalışmanın Amacı

Çalışmada farklı şekillerde tasarlanacak olan berkitme levhali ve alın levhali guseli kolon-kiriş birleşimlerinin yük etkisi altındaki davranışları, Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) adı verilen sonlu sayıda elemanın matematiksel çözümü ile analiz edilmiştir. Farklı guse açıları ve berkitme levhası farklı yerleşim şekilleri açıları için birleşimin

göçme modları, yük-deplasman eğrileri ve plastik şekildeğişirmeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

1.8. Araştırma Metodu (Yöntem)

Bu çalışma, guseli birleşimlerin, sonlu sayıda elemanın matematiksel çözümü ile analiz edildiği bir çalışmadır. Matematiksel çözümler için Sonlu Elemanlar Metodunu (Finite Elements Method-FEM) kullanan ABAQUS yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan analiz yöntemi ile, farklı guse açıları ve berkitme levhası farklı yerleşim şekilleri ile farklı moment aktaran alın levhalı guseli birleşimlerinin modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel bir deneyde ölçüm aletleri ve sensörleri kullanmanın getirdiği sınırlamaların yanı sıra bütçe ve zaman kısıtlamaları nedeniyle, laboratuvarda genellikle kaydedilmeyen veya ölçülemeyen çok fazla bilgi vardır. Günümüzde sonlu elemanlar yöntemi, mühendisliğin çoğu alanında dünya çapında kullanılan güçlü bir araç haline gelmiştir. Birçok problem türünü çözmek için kullanılabilen Sonlu Elemanlar Metodunun(Finite Elements Method-FEM) birçok avantajı vardır. Modellemede geometrik, sınır koşulları, yükleme ve malzeme özellikleri kısıtlamaları vb. kısıtlar yoktur. Ek olarak, farklı davranışlara ve farklı matematiksel açıklamalara sahip bileşenler birleştirilebilir. Bu nedenle çalışma sanal laboratuvar ortamı olarak tanımlayabileceğimiz sonlu eleman yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. YAPISAL BİRLEŞİMLER

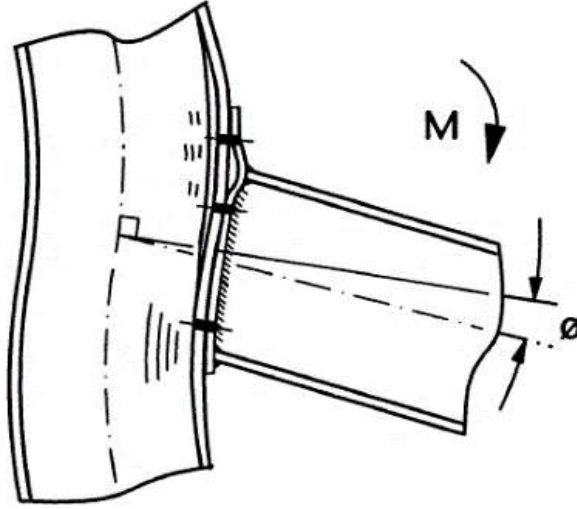
Yapısal bir birleşim, kuvvetleri bir elemandan diğerine iletme üzere düzenlenmiş bileşenlerin (plakalar, bulonlar, kaynaklar vb.) bir araya getirilmesidir. Bir birleşim, üç dik eksene göre eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momentinin herhangi bir kombinasyonuna tabi olabilir(Purkiss, 2017).

Birleşim bölgelerinin davranışını bir bütün halinde incelemek son derece karmaşıktır. Birleştirilen parçaların tam oturmaması nedeniyle yükler birleşim bölgesinde eşit olmayan bir şekilde dağılır. Kesitler eğilip, bükülebilir ve enkesitler artık düzlem olarak kalmaz. Birleşimlerin çoğunda, birleşim elemanlarının ve malzemenin deformasyonuna bağlı olarak gerilme dağılımı oldukça belirsizdir. Bölgesel takviyeler, gerilme dağılımından dolayı oluşan deformasyonu önleyebilir. Bu nedenlerden dolayı, birleşimlerin tasarımına katı bir teorik yaklaşım her zaman zordur. Bu yüzden, birleşimlerin tasarımı yaklaşıktır ve tasarım yöntemlerinin çoğu, analitik olarak elde edilen basit formüllere dayanmaktadır. Bu formüllerin kullanımı, azami gerilme gücü ve test sonuçlarının dikkate alınmasıyla doğrulanır (Joannides & Weller, 2002).

Bir kiriş-kolon birleşimi, düzlem içi davranışta genellikle eksenel kuvvete, kesme kuvvetine ve eğilme momentine tabidir. Bununla birlikte, eksenel kuvvet ve kesme kuvvetinden kaynaklanan deformasyon, eğilme momentinin neden olduğu deformasyon ile karşılaştırıldığında genellikle küçüktür. Sonuç olarak, pratik şekilde bir birleşim bölgesinin davranışı incelenmek istenirse, Şekil 2.1.'de gösterilen birleşimin sadece moment etkisi altındaki dönme deformasyonu dikkate alınmalıdır (Chen, 2011).

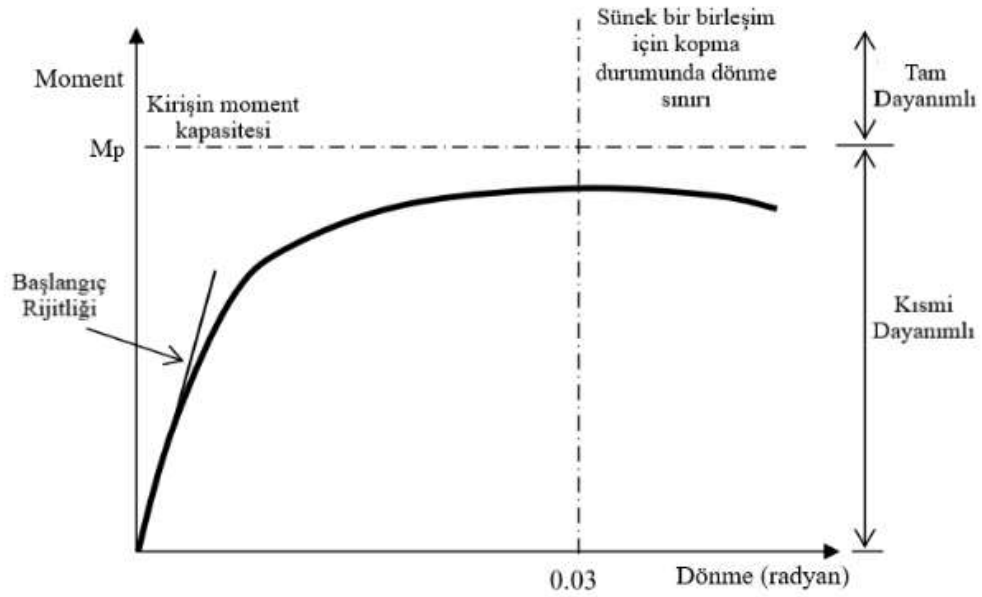
Yapısal birleşimler, bir yapıdaki iç kuvvetleri ve momentleri iletir (Purkiss, 2017). Bununla birlikte, birleşimlerin dönme rijitliği ve dönme kapasitesi de dikkate

alınmalıdır. Çünkü bir birleşimin özellikleri, yük altındaki dönme rijitliği göz önünde bulundurularak en iyi şekilde anlaşılabilir (SCI/BCSA, 1995).



Şekil 2.1. Birleşimin dönme deformasyonu (EN 1993-1-8, 2005)

Bir birleşimdeki doğrusal deplasmanlar genellikle küçüktür ve dikkate alınması gerekmez. Ancak dönme deplasmanları, kuvvetlerin ve momentlerin dağılımını etkilediği için, yapısal analizlerde dikkate alınması gerekir (Purkiss, 2017). Şekil 2.1. de bir birleşimin keyfi bir momentle abartılı deformasyonu gösterilmiştir. Şekil 2.2. de bulonlu bir bağlantı için tipik bir moment-dönme eğrisi çizilmiştir (SCI/BCSA, 1995) (Mohammad ve ark., 2006).



Şekil 2.2. Moment-Dönme Eğrisi (SCI/BCSA, 1995)

Tüm kiriş-kolon bağlantı türleri, tamamen rijit ve mafsallı olarak sabitlenmiş iki durum arasında kalan bir miktar dönme rijitliğine sahiptir. Bu nedenle bağlantıların yarı rijit olarak da modellenmesi daha gerçekçidir. Bununla birlikte, mühendislik uygulamasında, rijitlikler çok küçükse, birleşimlerin önemli bir moment iletemeyeceği, dolayısıyla neredeyse serbest dönüşü izin verecek kadar küçük olan bazı birleşimlerin mafsallı olarak kabul edilebileceği söylenebilir. Benzer şekilde, rijitlikleri, bitişik elemanlar arasında önemli bir eğim süreksizliği olmayacak kadar büyükse, bazı birleşimler rijit olarak kabul edilebilir. Mafsallı veya rijit bağlantı varsayımı, çerçevesel yapıların tasarım ve analiz prosedürlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle bağlantıların rijit, yarı rijit veya pimli olarak kabul edilip edilemeyeceğini ön görmek faydalı olacaktır.

Çerçevelerin sınıflandırılması, çerçevelerin servis verilebilirlik ve nihai sınır durumlarındaki davranışına dayalı olarak yapılmalıdır. Bağlantıların moment-dönme özelliklerini belirleyen indeks özellikleri, dayanım, rijitlik ve dönme kapasitesidir. Bu özellikler, sınıflandırma için kullanılan önemli faktörlerdir. Ancak, birleşimlerin dayanımı ve dönme kapasitesi gereksinimi her zaman gerekli değildir. Bunun nedeni, birleşimlerin dayanımının ve dönme kapasitesinin, tasarım prosedürü sırasında,

çerçevelerin nihai sınır durumunda hesaplanan momenti ve dönme talebini aşacak şekilde belirlenmesidir (Chen, 2011).

2.1. Moment-Dönme ($M - \varphi$) Eğrisi

Herhangi bir birleşimin davranışını anlamak için birleşimin moment ve dönme açısına ilişkin veriler toplanmalıdır. Deneysel çalışmalarla elde edilen verilerle moment-dönme grafiği belirlenir. Birleşimin modellenmesi, deneysel sonuçlara göre kalibre edilerek analitik olarak gerçekleştirilebilir.

Moment-dönme eğrisi, birleşimlerin davranışsal özelliklerinin en önemli açıklamasıdır. Moment, M , kirişin düzlem içi eğilmesi halinin oluşması esnasında birleşime etki eden bileşke yükün mesafe ile birleşimidir. Dönme, φ ise, kirişin radyan cinsinden dönme açısı olarak tanımlanır. Eğri, deneysel veya analitik olarak elde edilebilir (Mohammad ve ark., 2006).

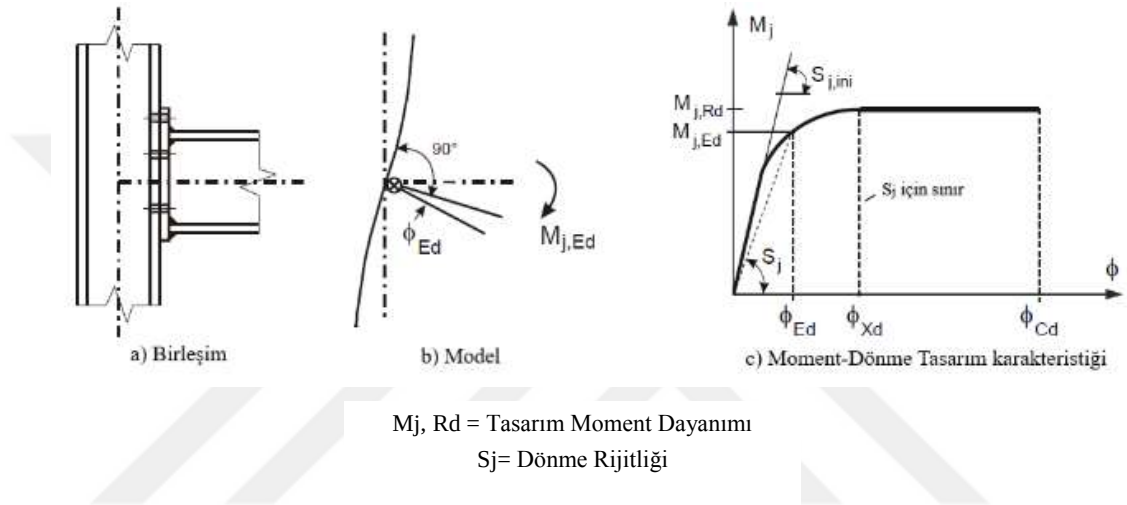
Analitik olarak, Nethercot ve ark., (1989) ve Jaspart, (2000) tarafından tarif edildiği gibi, moment-dönme eğrileri oluşturmak için kullanılabilen dört yöntem vardır. Bu yöntemler şunlardır:

1. Eğri uydurma (Curve fitting)
2. Basitleştirilmiş analitik modeller (Simplified analytical models)
3. Mekanik modeller (Mechanical models)
4. Sonlu eleman analizi (Finite element analysis)

Genel olarak, bir birleşimin moment-dönme eğrisi, aşağıdaki gibi özetlenebilecek bazı özellikleri veya karakteristikleri taşır (Aggarwal ve ark., (1986), Jones ve ark., (1983), ve SCI ve BSCA (1995))

1. Bir birleşimin rijitliği $M-\varphi$ eğrisinin eğimi ile gösterilir.
2. Genel olarak, birleşim davranışı doğrusal değildir ve dönme arttıkça rijitliği azalır.

3. Teoride, başlangıç rijitliği $S_{j\ ini}$, yüksüz rijitlik $S_{j\ unl}$, ile aynı değere sahiptir.
4. Bir birleşimin mukavemeti, moment-dönme eğrisinde en yüksek değer olarak alınabilecek moment kapasitesinin değeri ile gösterilir.
5. Bir birleşimin sünekliği, önemli bir dayanım(mukavemet) kaybı meydana gelmeden önce birleşimin erişebileceği dönme kapasitesi ile gösterilir. Dönme sınırı arttıkça süneklik artar. Dönme 0.03 mili radyandan büyükse bir bağlantı genellikle sünek olarak kabul edilir (SCI ve BCSA, 1995).



Şekil 2.3. Moment-Dönme İlişkisinin Açıklaması (SCI/ BCSA, 1995)

2.2. Plastik Mafsal

Bir mühendislik yapısının karşılaması gereken pek çok işlevsel gereksinimden en önemlilerinden ikisi dayanım (Mukavemet) ve rijitliktir. Mukavemet şartı, yapının dış yüklere ve kendi ağırlığına çökmeden dayanacak kadar güçlü olmasıdır. Rijitlik şartı, yapının toplam yük altında aşırı derecede dönmemesi veya çok fazla deplasman yapmaması için yeterince rijit olmasıdır.

Basit teori (Simple theory)'ye göre yapısal tasarımda, yapının elemanları arasında çok az etkileşim vardır. Ancak sürekli (Rijit) yapıların tasarımında, bu böyle değildir, her bir elemanın rijitliği ve konumu, bir bütün olarak yapının davranışı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Plastik tasarımda, yapıların nihai kapasitesini belirlemek için tasarım sürecinde çeliğin sünekliği de dikkate alınır. Basit plastik teori, yapıların nihai

mukavemeti ile ilgilidir; böylece çelik çerçeveli bir yapı bu yöntemle analiz edilirse, çökmesine neden olacak yüklerin değerleri belirlenecektir. Bu nedenle, plastik tasarımda (göçme yöntemi, taşıma gücü yöntemi veya yük katsayı tasarımı olarak da adlandırılır), hesaplanan yükler yapının göçme yükünden daha az olmalıdır.

Plastik teori, tasarım sürecini daha rasyonel hale getirir. Çünkü güvenlik seviyesi, bir noktada görünen hasarla değil, yapı üzerindeki çökme yükü ile ilgilenir (Joannides & Weller, 2002).

2.3. Birleşim Sünekliği ve Enerji Yutma Kapasitesi

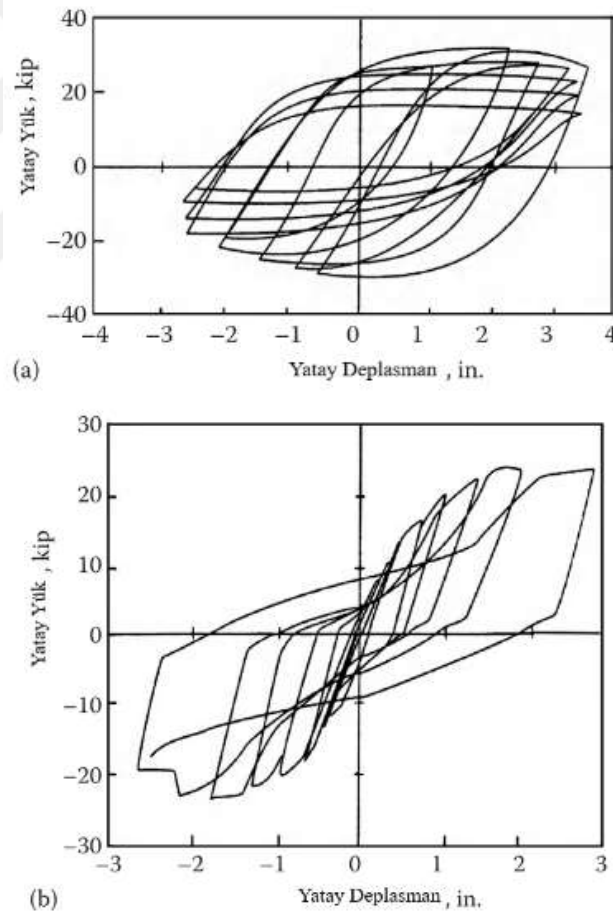
Süneklik, yapısal elemanlar ve yapılar tarafından sergilenen elastik sınırların ötesindeki davranışta yükleri taşıma sağlayan özelliktir. İyi tanımlanmış akma ve nihai deformasyon kapasitelerine sahip yapılar için, süneklik, μ , (denklem 2.1)'de tanımlanmaktadır. Bu denklemde δ_u ve δ_y , sırasıyla, göçme ve akmanın başladığı yer değiştirmelerdir.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2.1)$$

Süneklik, sismik dayanımın hesaplanmasında önemli bir parametredir. Süneklik Yeterli elastik dayanıma sahip olmayan yapıların inelastik tepki ile güçlü sismik yüklere karşı ayakta kalmalarını sağlar. Sünek tepkinin temel yararı, sünek olmayan elemanların aşırı gerilmesini önlemek için sismik yüke dayanıklı sistemdeki ana konumlara sünek elemanların yerleştirilmesini mümkün kılmasıdır. Buda, sismik dayanım için yapıların tasarımında önemli bir stratejidir.

Daha önce de belirtildiği gibi, sismik tasarımda yapılar, doğrusal-elastik bir yapıda meydana gelenlerden çok daha küçük kuvvetler için tasarlanır. Bu da birkaç nedenden dolayı mümkündür. Yapı elastik olmayan bir şekilde akmaya ve deforme olmaya başladığında, yapının etkin süresi uzama eğilimi gösterir ve bu da dayanım talebinde bir azalmaya neden olur. Ayrıca, inelastik etki histeretik sönmüleme ile önemli miktarda enerji kaybıyla sonuçlanır.

Bazı yapılar diğerlerinden çok daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir. Enerji yutma kapasitesi, büyük ölçüde, tekrarlanan elastik olmayan deformasyon döngüleri yaşadığından, yapının rijitlik miktarına ve mukavemet bozulmasına bağlıdır. Şekil 2.6.'de gösterilen bir kolon-kiriş birleşimi için yük-deformasyon eğrilerini ele alalım. Şekildeki histeretik eğri (a), sünek davranış için detaylandırılmış olan birleşimlerin davranışını temsil etmektedir. Ortaya çıkan kuvvet deformasyon "döngüleri" oldukça geniş ve açıktır, bu da büyük miktarda enerji yutma kapasitesi ile sonuçlanır. Histeretik eğri (b), sünek davranış için de detaylandırılmamış bir birleşimin davranışını temsil eder. Elastik olmayan deformasyon altında rijitliğini hızla kaybeder ve ortaya çıkan histeretik döngüler oldukça sıkışır. Böyle bir birleşimin enerji yutma kapasitesi, birleşim (a)'nınkinden çok daha düşüktür (Bruneau ve ark., 2011).



Şekil 2.4. Histeretik sönüm: (a) büyük enerji tüketimini temsil eden eğri ve (b) sınırlı enerji tüketimini temsil eden eğri (Bruneau ve ark., 2011).

Mevcut tasarım prosedürleri, yapıların deprem etkilerine elastik olarak dayanacak şekilde ekonomik olarak tasarlanamayacağını kabul etmektedir. Bu nedenle, tasarım prosedürlerinin öngördüğü kadar büyük bir deprem meydana gelirse, elastik olmayan tepkinin oluşmasına izin verilir. Tasarımcının rolü, bu inelastik davranışın yapısal çökme riski olmaksızın istikrarlı bir şekilde gelişmesini sağlamaktır.

6.8 Northridge (Los Angeles) ve 7.2 Kobe (Japonya) depremleri, çelik elemanlar ve birleşimler gevrek bir şekilde kırılabildiğinde, malzeme sünekliğinin tek başına sünek yapısal davranışın garantisi olmadığını doğruladı.

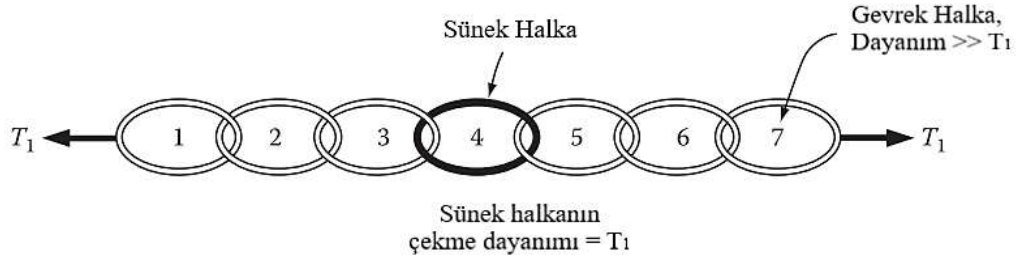
Özellikle, bu depremler, bazı standart kolon-kiriş moment aktaran birleşimlerinin sünek davranışı ile ilgili önemli endişeleri gündeme getirdi. O zamandan beri, depremler sırasında sünek bir davranış sağlamak için birçok yeni detaylandırma düzenlemesi getirilmiştir.

Sünek tepki için çelik yapıların tasarımı aşağıdakileri gerektirir:

1. Malzeme sünekliği
2. Kesit ve eleman sünekliği
3. Kırılgan bir kopmayı önlemek için birleşimlerin yapılandırılması
4. İstenilen bir kopma modunu sağlamak için yapı üzerinde bir akma sıralaması önermek

Sismik tasarımda, mühendis ilk olarak şiddetli depremler esnasında inelastik etkinin kaçınılmaz olduğunu kabul eder. Tasarımcı daha sonra inelastik (esnek olmayan) tepkinin nerede oluşacağını belirler. Bu tür olası elastik olmayan bölgeleri, önemli dayanım kaybı olmaksızın büyük inelastik deformasyonların gelişebileceği bölgeler olarak seçilir; bu bölgeler, yerel burkulma veya eleman stabilitesizliği gibi erken istenmeyen kopma modlarını önlemek için ayrıntılı olarak detaylandırılır. Daha sonra, bitişik yapı elemanlarının kapasitelerini, inelastik bölgenin maksimum kapasitesine ulaşmak için gerekenden daha büyük hale getirerek, yapının başka bir bölgesinde

inelastik davranışı veya kopma olasılığını ortadan kaldırır. Bu kavramı açıklamaya en iyi örnek kapasite tasarımı zincirdir (Şekil 2.7.).



Şekil 2.5. Sünek ve gerek halkalara sahip zincir (kapasite tasarımı ilkesi) (Bruneau ve ark., 2011).

Bu zincirde, bir halka, bozulmadan önce büyük miktarda plastik enerjiyi kararlı bir şekilde yutmak üzere tasarlanmıştır (örneğin, halka 4). Bu nedenle, diğer halkalar örneğin 1, 2, 3, 5, 6 ve 7, kapasitelerinin plastik halkanın maksimum kapasitesini aşması koşuluyla, plastik deformasyon endişesi olmadan tasarlanabilir ve böylece bir halka dışında hepsinde özel detaylandırma ihtiyacı ortadan kalkar (Bruneau ve ark., 2011).

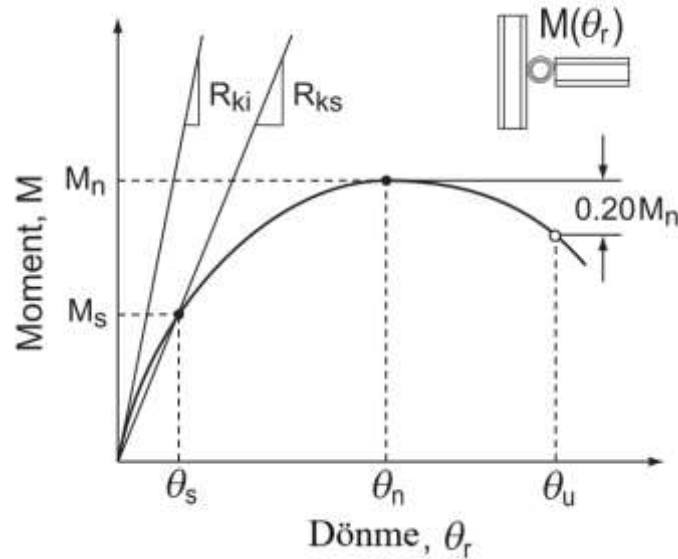
Birleşim dayanımı (mukavemeti), kirişin tam plastik moment kapasitesini önemli ölçüde aşarsa, yapısal sistemin sünekliği kiriş tarafından kontrol edilir ve bu durumda birleşim elastik olarak kabul edilebilir. Eğer birleşim dayanımı (mukavemeti), kirişin tam plastik moment kapasitesini sınıra yakın olarak aşarsa, kiriş tam mukavemetine ulaşmadan önce birleşimde önemli inelastik (elastik olmayan) deformasyon meydana gelebilir.

Kiriş dayanımı birleşim dayanımını aşarsa, deformasyonlar birleşim üzerinde yoğunlaşabilir. Bu nedenle, bir birleşimin gerektirdiği süneklik, belirli uygulamaya bağlı olacaktır. Örneğin, daha düşük bir Sismik Tasarım Kategorisine (SDC) atanan bir çerçeve için süneklik gereksinimi, genellikle daha yüksek bir sismik tasarım kategorisinde gerekenden daha az olacaktır (Bruneau ve ark., 2011).

Dönme kapasitesi; birleşimin dayanım gücünün en yüksek moment kapasitesinin yüzde 80'e düştüğü (Şekil 2.8.) veya birleşimin 0,03 radyandan fazla deforme olduğu

noktada birleşim dönme değeri olarak tanımlanabilir (Şekil 2.3.). Kriter; büyük dönmeler meydana gelene kadar dayanımda düşüşünün olmadığı sünek bağlantılara uygulanmak üzere tasarlanmıştır.

Bulunan dönme kapasitesi, birleşimin doğrusal olmayan davranışını dikkate alan bir analizle belirlendiği gibi, yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılarak elde edilen yükler altında gereken dönme ile karşılaştırılmalıdır. Detaylı bir analiz olmadığı durumunda, 0,03 radyanlık bir dönme kapasitesi yeterli kabul edilir. Bu dönem, özel moment çerçeveleri için AISC sismik şartnamesinde belirtildiği gibi minimum kolon-kiriş birleşim kapasitesine eşittir (Chen, 2011).



Şekil 2.6. Moment-Dönme Eğrisi

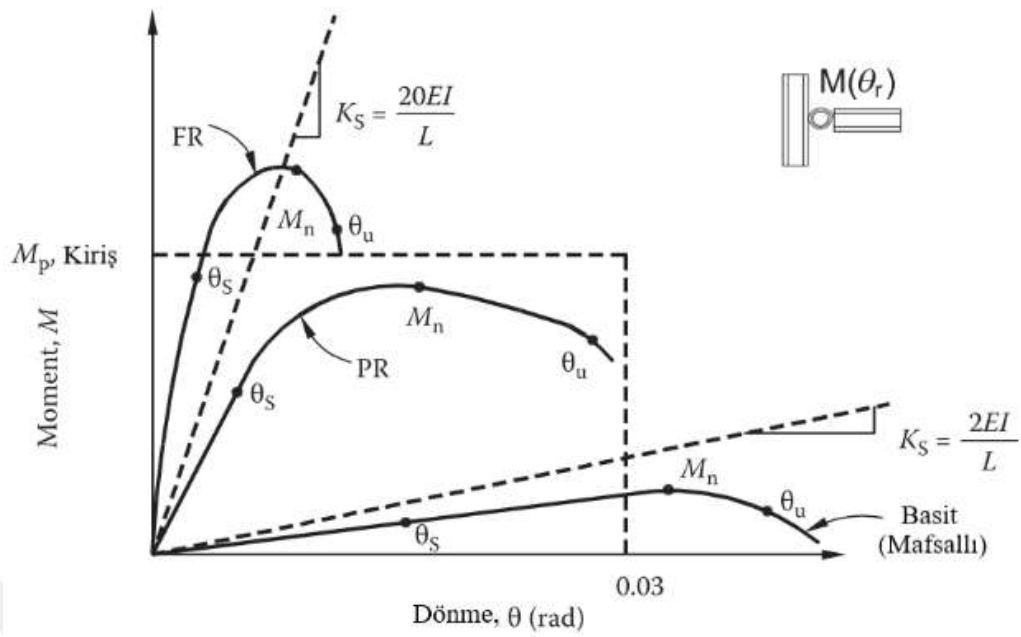
Birçok birleşim, düşük moment dönme seviyelerinde doğrusal olmayan davranış sergiler. Bu nedenle, bir birleşimin başlangıç rijitliği R_{ki} , servis yükü altında birleşimlerin özelliklerini yeterince yansıtmamaktadır. Ayrıca, birçok birleşim tipi güvenilir bir başlangıç rijitliği sergileyemez veya sadece küçük bir moment-dönme eğrisine sahiptir. Şekil 2.8.'de gösterilen servis yüklerindeki sekant rijitliği R_{ks} , birleşim sınıflandırması için birleşim rijitliğinin bir indeks özelliği olarak alınır. R_{ks} , M_s / θ_s olarak tanımlanır; burada M_s ve θ_s , servis yükleri için sırasıyla moment ve dönmedir.

2.4. Bazı Mevcut Şartnamelere Göre Birleşimlerin Sınıflandırması

Birleşimlerin sınıflandırılması normalde rijitlik, dayanım ve dönme kapasitesi gibi indeks özelliklerine göre yapılır. Bu indeks özelliklerden AISC sınıflandırması (AISC, 2005), dayanım gereksiniminin de dikkate alındığı basit bağlantıların sınıflandırılması dışında sadece rijitliği benimser. Eurocode 3 (CEN, 2005) hem rijitliği hem de dayanıklılığı benimser. Diğer bir sınıflandırma sistemi (SCI/BCSA, 1995) ise her üç indeksi de kullanır.

2.4.1. (AISC 2005)'e göre çelik birleşimlerin sınıflandırılması

2005 ANSI/AISC şartnamesinde, birleşimler iki türe ayrılır: basit ve moment aktaran birleşimler. Basit bir birleşim, birleşim boyunca ihmal edilebilir bir moment iletirken moment aktaran bir birleşim, birleşim boyunca büyük bir moment taşır. AISC şartnamesinde iki tip moment birleşimine izin verilir: (tamamen kısıtlanmış (FR) moment birleşimi ve kısmen kısıtlanmış (PR) moment birleşimi) Bir FR birleşimi, bağlı elemanlar arasında ihmal edilebilir bir dönmeye moment aktarır. Yapının analizinde, FR birleşiminin genel olarak dönmeye izin vermediği ve rijit olarak modellendiği varsayılabilir. Bir PR birleşimi, momenti aktarır ancak bağlı üyeler arasındaki dönme miktarı ihmal edilebilir düzeyde değildir. Yapının analizinde PR bağlantısı yarı rijit olarak modellenmiştir. Basit (Mafsallı) ve FR bağlantılar için, yapısal tasarımın son analizi tamamlandıktan sonra birleşim boyutları belirlenir. Buna karşılık, PR birleşimlerinin tasarımı esasen tekrarlanmalıdır, çünkü yapısal analizi yapmak için gereken birleşimlerin yük-deformasyon özelliklerini belirlemek için birleşim boyutlarının varsayılması gerekir (Chen, 2011).



Şekil 2.7. Moment-Dönme Eğrileri (AISC, 2005)

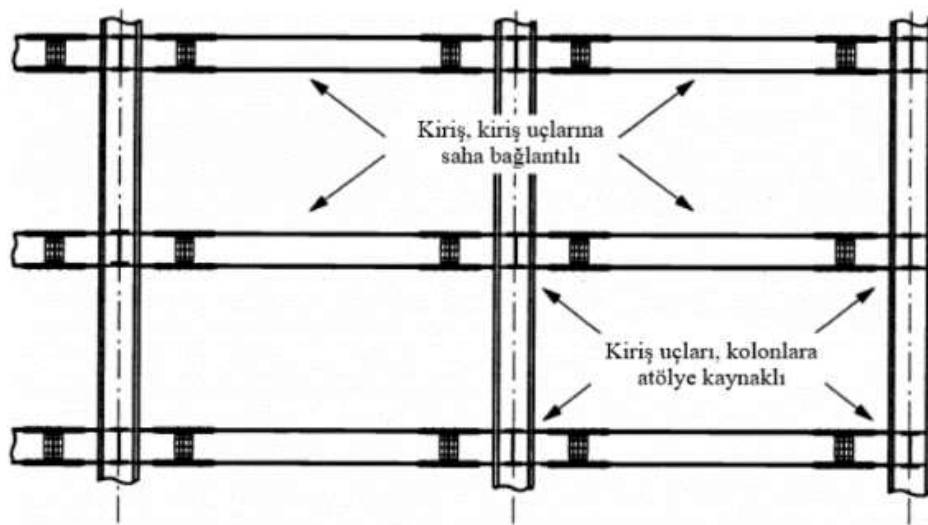
$K_S = M_S/\theta_S$, burada M_S ve θ_S sırasıyla moment ve dönmedir. L ve EI , kirişin sırasıyla uzunluğu ve eğilme rijitliğidir. $K_S L/EI \geq 20$ ise, bağlantının FR olduğu kabul edilebilir. $K_S L/EI \leq 2$ ise, bağlantı basittir. Bu iki sınır arasındaki rijitliğe sahip birleşimler PR olarak kabul edilir. FR, PR ve basit birleşimlerin örnekleri Şekil 2.4.'de gösterilmiştir (Taranath, 2016).

Birleşimlerin dönme kapasitesi θ_u , çerçevelerin dayanım sınırı durumunda hesaplanan taleplerini aşmak için gereklidir. Ayrıntılı bir analizin olmadığı zaman, 0,03 radyanlık bir dönme kapasitesi θ_u yeterli kabul edilir. Yukarıdaki gereksinim, yüksek veya kısmi mukavemetine sahip FR birleşimlere de uygulanmalıdır. Ancak, önemli ölçüde daha yüksek dayanıma sahip olan FR birleşimler için dönme kapasitelerinde herhangi bir gereklilik yoktur. Bunun nedeni, deformasyonun bağlı kirişin plastikleşmesi tarafından kontrol edilmesi ve FR birleşimlerinin dayanım sınırı durumunda elastik bir davranış sergilemesidir. (Chen, 2011).

2.4.1.1. Moment aktaran birleşimler

Moment aktaran birleşimler, çok katlı çaprazsız binalarda ve tek katlı portal çerçeve binalarda kullanılmaktadır. Çok katlı çerçevelerdeki birleşimlerin büyük olasılıkla bulonlu, alın levhalı birleşimleri veya genişletilmiş alın levhalı birleşimleri olması muhtemeldir. Bulonlar için daha büyük bir kaldıraç kolu (lever-arm) sağlamak için daha derin bir birleşimin gerekli olduğu durumlarda, guseli bir birleşim kullanılabilir. Ancak ekstra fabrikasyon meydana geleceği için bu durumdan mümkün oldukça kaçınılıyor. Portal çerçeve yapılar için, çerçevelerin saçak ve mahya kısmındaki guseli moment aktaran birleşimler hemen hemen her zaman kullanılır, çünkü bir birleşimin direncinin artmak için, guse kirişin direncini arttırır. En yaygın olarak kullanılan moment aktaran birleşimler, bulonlu alın levhalı kolon-kiriş birleşimleridir (SCI/BSCA ,1995).

Bulonlu kolon-kiriş birleşimleri yerine kaynaklı birleşimler de kullanılabilir. Bu birleşimler tam moment sürekliliği sağlayabilir, ancak üretilmesi pahalıdır, özellikle sahada. Kaynaklı kolon-kiriş bağlantıları, kiriş açıklığı içinde daha düşük eğilme momenti konumunda bulonlu bir ekleme bağlantısı ile imalat atölyesinde hazırlanabilir. Kaynaklı birleşimler deprem bölgelerindeki binaların yapımında da kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. Çok katlı bir bina için tipik bir düzenleme atölye kaynaklı kolon-kiriş birleşimleri (SCI/BSCA ,1995)

2.4.2. (EN 1993-1-8, 2005)'e göre çelik birleşimlerin sınıflandırılması

Yapıların analizinde teorik amaçlar için birleşimler (Tablo 5.1., EN 1993-1-8 (2005)), dayanım ve rijitliğe göre şu şekilde sınıflandırılır:

1. Basit – Çok az moment aktaran.
2. Rijit – tam dayanımlı ve tüm deplasman ihmal edilebilir.
3. Yarı rijit – birleşimin özellikleri (1) ve (2) arasındadır.

Bu teorik ve pratik tanımlamalar, global analiz kullanarak kuvvetlerin ve momentlerin dağılımını belirlemek için bir yapıyı analiz ederken tanınması önemlidir (C1 5.1, EN 1993-1-8 (2005)). Global analizin üç yöntemi vardır:

1. Elastik – birleşimler dönme sertliğine göre sınıflandırılır.
2. Rijit-plastik – birleşimler dayanıma göre sınıflandırılır.
3. Elastik-plastik – birleşimler rijitlik ve dayanıma göre sınıflandırılır.

Tablo 2.1. Birleşim Türleri (EN 1993-1-8 (2005))

Global analiz yöntemi	Bulon Sınıflandırılması		
Elastik	Sabit	Rijit	Yarı-rijit
Rijit-Plastik	Sabit	Tam-Dayanımlı	Kısmi-Dayanımlı
Elastik-Plastik	Sabit	Rijit ve Tam-dayanımlı	Yarı-rijit ve Kısmi-Dayanımlı Yarı-rijit ve Tam-Dayanımlı Rijit ve Kısmi-Dayanımlı
Birleşim Türü	Basit	Rijit	Yarı-rijit

Elastik global analiz, Rijit birleşimleri ifade eder. Plastik global analiz, Tam dayanımlı (full strength) birleşimleri anlamına gelir. Birçok pratik birleşim hem Rijit hem de Tam dayanımlı olarak nitelense de bunun zorunlu olmadığını kabul etmek önemlidir. Elastik olarak analiz edilen sürekli bir çerçeve, Rijit ve Kısmi dayanımlı olan birleşimleri içerebilir (elbette, analizden kaynaklanan momente dayanmak için yeterince güçlü olmaları şartıyla).

Benzer şekilde, plastik olarak analiz edilen bir sürekli çerçeve, Tam dayanımlı ve Yarı Rijit olan birleşimleri içerebilir (ancak servis edilebilirlik ve stabilite söz konusu olduğunda birleşim esnekliğinin dikkate alınması gerekli olabilir).

Tablo 2.2. Rijitliğe göre birleşimlerin EC3 sınıflandırması

Birleşimler	$K_b = R_{ki} / (EI_b / L_b)$
Rijit	$8 < k_b$ $25 < k_b$
Yarı-rijit	$0.5 \leq k_b \leq 8$ $25 < k_b$ $0.5 \leq k_b \leq 25$
Basit	$k_b < 0.5$

**Notlar: Çaprazlı çerçeveler = yatay yer değiştirmeyi en az %80 oranında azalttığı çerçeveler
 R_{ki} = bağlantıların başlangıçtaki dönme rijitliği
 K_b = O katın üstündeki tüm kirişler için I_b/L_b 'nin ortalama değeri
 K_c = O hikayedeki tüm sütunlar için ortalama I_c/L_c değeri
 I_b = bir kirişin ikinci atalet momenti
 I_c = bir kolonun ikinci atalet momenti
 L_b = bir kirişin açıklığı
 L_c = bir sütunun kat yüksekliği

Tablo 2.5.'te gösterildiği gibi, birleşimler başlangıç dönme rijitlik R_{ki} 'ye göre rijit, yarı rijit veya sabit olarak sınıflandırılır. Birleşim rijitliğinin çerçeve mukavemeti üzerindeki etkisi, çerçevenin çaprazlı veya çaprazsız olmasına bağlıdır, birleşimlerin sınıflandırılmasına ilişkin sınırlar, bu iki çerçeve tipi için farklı şekilde belirtilmiştir. Bu sınırlar, $k_b = R_{ki} / (EI_b / L_b)$ olarak tanımlanan boyutsuz bir birleşim rijitliği parametresi k_b cinsinden ifade edilir.

Tablo 2.3. EC 3'e göre rijitlik sınırları

	Rijit	Basit
Çaprazsız	$25EI_b/L_b$	$EI_b/2L_b$
Çerçeve		
Çaprazlı Çerçeve	$8EI_b/L_b$	$EI_b/2L_b$

2.4.3. (SCI/BCSA, 1995)'e göre çelik birleşimlerin sınıflandırılması

BS EN 1993-1-8, birleşimleri rijitliğe göre rijit, yarı rijit ve dönebilen, dayanıma göre tam dayanımlı, kısmi dayanımlı ve mafsallı olarak sınıflandırılmasını gerektiğini söylemektedir. Rijitlik sınıflandırması çerçevelerin elastik analizi ile ilgilidir, mukavemet sınıflandırması ise plastik olarak analiz edilen çerçeveler içindir. Standart, birleşim modellerini rijitlik ve dayanıma bağlı olarak sınıflandırmanın yanısıra basit, yarı sürekli veya sürekli olarak tanımlamak mümkündür. Momente aktaran birleşimler genellikle rijit, tam veya kısmi dayanımlı olacaktır, bu nedenle birleşimler ya sürekli ya da yarı sürekli. BS EN 1993-1-8 Madde 5.2.2.1, bir birleşimin deneysel kanıtlara,

benzer durumlarda önceki tatmin edici performans deneyimine veya test kanıtlarına dayalı hesaplamalara göre sınıflandırılabilirliğini belirtmektedir.

Temel olarak, bir kiriş-kolon birleşimi, birleşimin davranışsal özelliklerini anlayarak tanımlanabilir. Kolayca, bu davranışsal özellikler, birleşimin moment ve dönme arasındaki bir ilişki ile belirlenebilir. Moment-dönme eğrisine bağlı olarak, bir birleşim Moment Dayanım, Dönme rijitliği ve Dönme Kapasitesi (Süneklik) özelliklerine göre sınıflandırılabilir (SCI/BCSA, 1995).

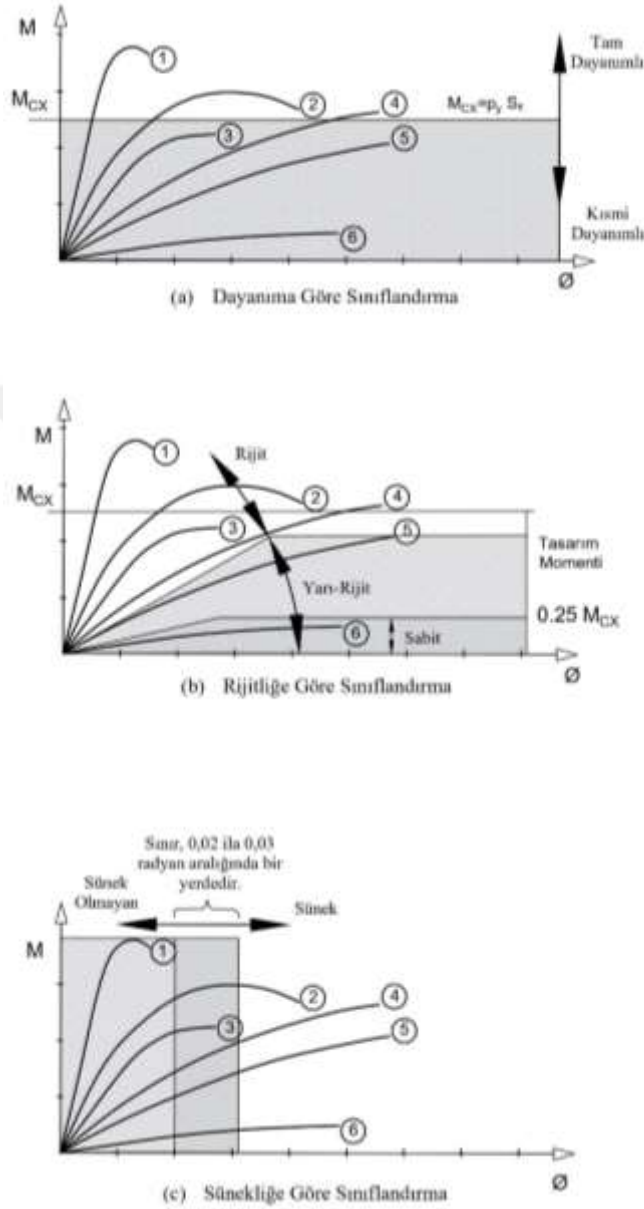
Dayanım'e göre, bir birleşim Tam Dayanımlı, Kısmi Dayanımlı ve Mafsallı olarak sınıflandırılabilir ve çerçevelerde uygulandığında sistem sırasıyla Sürekli (Rijit) Yapı, Yarı-Sürekli (yarı-Rijit) Yapı ve Basit Yapı olarak bilinir.

Tam dayanımlı bir birleşim, en azından MCX veya MP, kirişin moment kapasitesine eşit bir M_j , (birleşimin Moment Dayanımı) moment dayanımına sahip bir birleşim olarak tanımlanır. Kısmi dayanımlı birleşimi ise, kirişin moment kapasitesinden daha az moment dayanıma sahip bir birleşim olarak tanımlanır. Oysa Moment aktarmayan olarak sabitlenmiş bir birleşim, kirişin moment kapasitesinin %25'inden daha büyük olmayan bir moment dayanımıyla yeterince esnek olan bir birleşim olarak tanımlanır. Şekil 2.9.(a), altı tipik birleşim türü için moment-dönme eğrilerine dayalı olarak birleşimlerin dayanıma göre sınıflandırmasını gösterir.

Yukarıda bahsedilen ikinci davranışsal özellik rijitlik olarak adlandırılır. Esnekliğinin eğilme moment diyagramı üzerindeki etkisi ihmal edilecek kadar rijit ve minimum deformasyon ve dönmeye sahip olduğunda bir birleşim rijit olarak adlandırılır. Yarı rijit birleşim, rijit olarak nitelendirilemeyecek kadar esnek ancak mafsallı bir birleşim olarak kabul edilebilecek kadar da esnek değildir. Şekil 2.9.(b), bir birleşimin rijitliğe göre sınıflandırılmasını gösterir.

Üçüncü davranışsal özellik ise sünekliktir. Bu bakımdan, sünek bir birleşim, yükleme aşamasında, gevrek bir kırılma olmadan, plastik bir mafsal oluşturmak için yeterince dönme kapasitesine sahip bir birleşim olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.9.(c)

bağlantıların süneklığe göre sınıflandırılmasını göstermektedir (Mohammad ve ark., 2006).



Not:

Eğriler, birleşim bölgesindeki dönmeye karşı çizilen moment ile altı bağlantının davranışını gösterir. Üç şekilde sınıflandırılırlar:

Dayanım = Moment dayanımı

① ② ve ④, $M > M_{CX}$ olduğunda tam dayanımlı birleşimlerdir.

③ ve ⑤, $M < M_{CX}$ olduğunda kısmi dayanımlı birleşimlerdir.

Rijitlik = Dönme rijitliği

① ② ③ ve ④, rijit birleşimlerdir.

⑤, yarı rijit bir birleşimdir, BS 5950'nin bir yorumu, rijit ve yarı-rijit arasındaki bölme çizgisinin eğiminin $2EI/L$ olarak alınması gerektirir.

Süneklilik = Dönme kapasitesi

② ④ ve ⑤, sünek birleşimlerdir.

① sünek değildir, ③ ise sınır durumudur.

⑥ 'nominal olarak sabitlenmis' bir birleşimdir. Basit yapılardaki eklemlerde bulunan birleşimler bu tür birleşimleri göstermektedir.

Şekil 2.9. Moment Aktaran Birleşimlerin Sınıflandırılması (SCI/BCSA, 1995)

2.4.3.1. Rijit birleşim sınıflandırması

SCI'da verilen standardizasyon önerilerini izleyen ve sadece dayanım için tasarlanan birleşimlerin genellikle tek katlı portal çerçevelerdeki birleşimler için rijit olduğu varsayılabilir. Çok katlı çaprazsız çerçeveler için, çerçeve stabilitesinin belirlenmesi

için dönme rijitliği esastır. Bu nedenle tasarımcının birleşim rijitliğini (BS EN 1993-1-8'e uygun olarak) değerlendirmesi ve çerçeve tasarımında ve çerçeve stabilitesinin değerlendirilmesinde bunu hesaba katması veya çerçeve analizinde rijit birleşimler varsayıldıysa, birleşim tasarımının bu varsayımla eşleştigiinden emin olması gerekir. Bir alın levhalı birleşimi için, aşağıdaki gereksinimlerin her ikisi de karşılanırsa birleşimin rijit olduğu varsayılabilir:

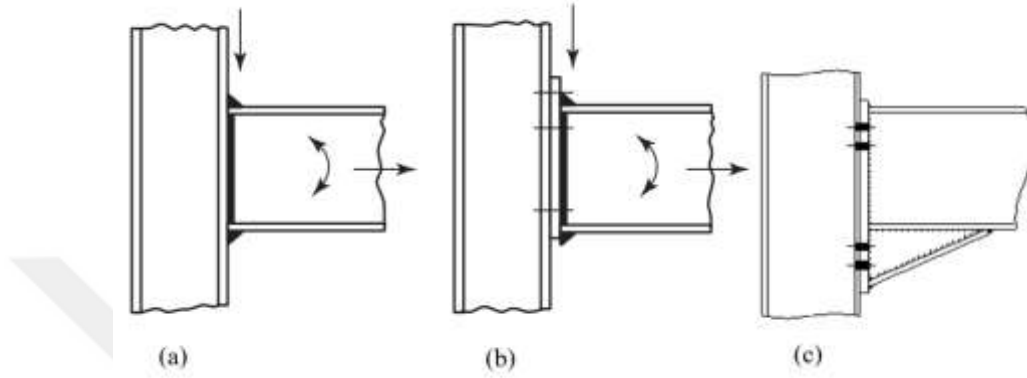
- Nispeten kalın alın levhaları ve sertleştirilmiş bir kolon başlığı
- Kolon gövde panel bölgesinin kesme kuvveti, tasarım kesme dayanımının %80'ini geçmez. Bu mümkün değilse daha güçlü bir kolon kullanılmalı veya uygun güçlendirme sağlanmalıdır.

Rijit bir bağlantının kabul edilemediği durumlarda, birleşimin yarı rijit olduğu varsayılmalı ve çerçeve stabilitesinin değerlendirilmesinde birleşimlerin esnekliğine izin verilmelidir.

Rijit veya ankastre birleşimler (Şekil 2.10.) davranışın elastik aşamasında küçük dönme yer değiştirmeleri sergiler ve elemanların sapmalarını sınırlamak, yorgunluğa ve darbe yüklerine karşı direnmek için kullanılırlar. En rijit birleşim türü, şekil 2.10(a)'de gösterildiği gibi kirişin doğrudan kolona sahada kaynaklamasıdır. Ancak bu pahalıdır ve kaynağın kalitesini kontrol etmek zordur.

Yaygın olarak kullanılan yöntem, şekil 2.10.(b)'de gösterildiği gibi atölyelerde alın levhalarını kirişe kaynaklamak ve bunları sahada kolonlara bulonlamaktır. Sınırlı derinlik nedeniyle gösterildiği gibi bulon sayısı genellikle altıdır. Dayanım momentinin artırılması gerekiyorsa, kirişi sonuna bir guse eklenerek kaldıraç kolunu artırmak gerekir(Şekil 2.10. (c)). Bu birleşim, kirişi doğrudan kolona kaynaklamaktan daha az rijittir ve imal edilmesi ve dikilmesi daha kolaydır. Dönme miktarı, alın levhanın kalınlığına, kolon başlıklarının kalınlığına ve bulonların esnekliğine bağlıdır. Ayrıntılar ve ilgili tavsiyeler EN 1993-1-8 (2005)'de verilmiştir.

Birleşim plastik bir mafsala yakınsa, plastik mafsalın kirişte mi kolonda mı yoksa birleşimin tamamında mı oluşması gerektiğine karar verilmelidir. Son araştırmalar kirişte mafsal oluşumunu desteklemektedir ve bu nedenle kolon ve birleşimin aşırı rijit tasarlanması gerekir.



Şekil 2.10. Yaygın Olarak Kullanılan Moment Aktaran Birleşimler

Hemen hemen tüm kaynaklı birleşim türleri, rijit olarak nitelendirilecektir. Fakat bulonlu birleşimlerde esneklikten kaçınılması zordur.

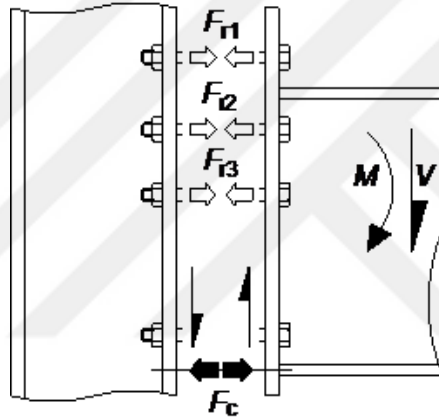
Bulonların kesmeye maruz kaldığı ve ön germe yapılmadığı durumlarda, bir miktar kayma beklenebilir. Bu, bir moment aktaran birleşimde meydana geldiğinde birleşim rijit olarak kabul edilemez. Bu nedenle, moment aktaran birleşimlerinde eksenel yüklü birleşimler tercih edilir ve birleşimin Rijit olması isteniyorsa, kesmeye maruz kalan bulonlara ön germe yapılmalıdır.

Çekme yüklü bir bulon, içinden geçtiği plakaları (alın levhası ve kolonun başlığı gibi) eğilmeye maruz bırakır. Esnekliği en aza indirmek için aşağıdakiler avantajlıdır:

- Bulonları 'sıkıştırılmış' bir şekilde, yani kirişin gövdesine ve başlığına mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi
- Bulonların yakınında bulunan ek takviyeler sağlanması
- Aşırı ince plakalardan kaçınılmalı
- Guse kullanarak Kaldıraç kolunu artırılması

Uygulamada, bulon yerleşiminin 'sıkışmış' olması ve içinden geçirilen plakaların kalınlığının bulon çapına eşit olması koşuluyla, tüm guseli birleşimler ve genişletilmiş levhalar genellikle rijit olarak kabul edilir.

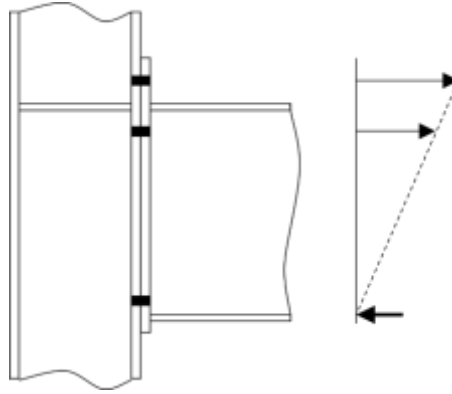
Bulonlu alın levhalı birleşiminin dayanımı, bir başlığa bitişik bulonlardaki çekme kuvvetlerinin ve diğer başlıktaki basınç kuvvetlerinin bir kombinasyonu ile sağlanır. Kirişte aksenal bir kuvvet olmadıkça, toplam çekme ve basınç kuvvetleri eşit ve zıttır. Dikey kesme, yatak ve kesmedeki bulonlarla karşılaşılır; kuvvetin genellikle esas olarak basınç başlığına bitişik bulonlarla karşılandığı varsayılır. Bu kuvvetler şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



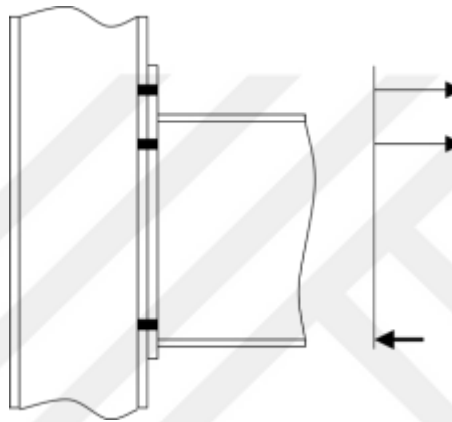
Şekil 2.11. Bir Alın Levhalı birleşimindeki kuvvetler

Nihai sınır durumunda, dönme merkezi, kirişim basınç başlığında veya yakınındadır ve tasarımda basitlik için, basınç dayanımının başlığın merkezi seviyesinde yoğunlaştığı varsayılabilir.

Basınç başlığından en uzaktaki bulon sırası, en büyük çekme kuvvetine maruz kalacaktır ve geçmişteki tasarım uygulaması, alt başlıktan olan mesafeye orantılı olarak kuvvetlerin 'üçgen' bir dağılımının olduğunu varsayıyordu (Şekil 2.12.). Bununla birlikte, kolon başlığının veya alın levhasının sünek davranışın elde edilmesi için yeterince esnek olduğunda, alt sıraların tam dayanımları kullanılabilir. Bu bazen 'bulon sırası kuvvetlerinin plastik dağılımı' olarak adlandırılır (Şekil 2.13.).

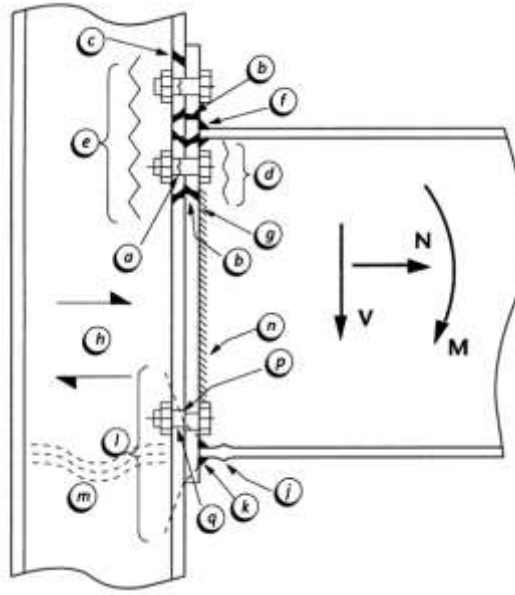


Şekil 2.12. Üçgen dağılım, sünek olmayan dayanım



Şekil 2.13. 'Plastik dağılım', sünek dayanım

Bir birleşimin üç kritik bölgesi için kapasite kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bu bölgeler çekme bölgesi, basınç bölgesi ve kesme bölgesidir (yatay ve düşey). Her bölge, kiriş, kolon veya bulonlardaki olası hasara bağlı olarak birkaç ana kontrolden oluşur.

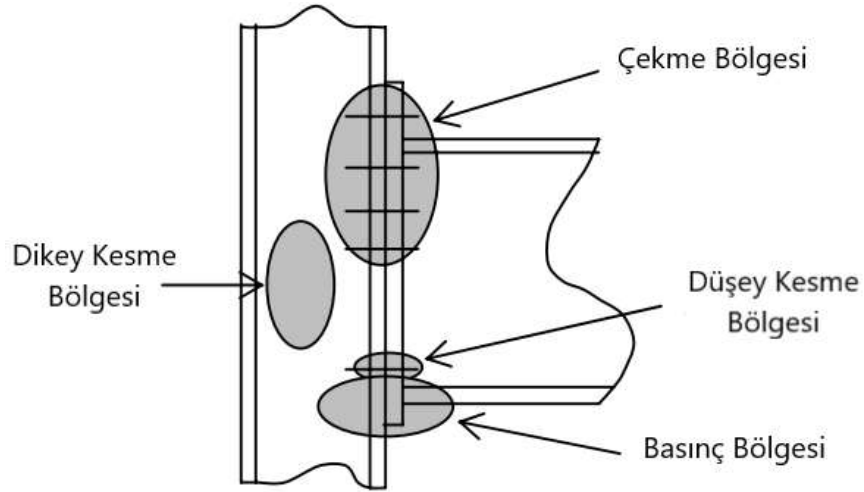


Şekil 2.14. Tasarım prosedüründe değerlendirilecek bileşenler

Tablo 2.4. Tasarım prosedüründe değerlendirilecek bileşenler

Bölge	Ref	Eleman	Aşamalar
Çekme	a	Bulon çekme	1.aşama (a)
	b	Alın levha Eğilme	1.aşama (a)
	c	Kolon başlığı eğilme	1.aşama (a)
	d	Kiriş gövdesi çekme	1.aşama (b)
	e	Kolon gövdesi çekme	1.aşama (b)
	f	Başlıktan alın levhaya kaynak	7.aşama
	g	Gövdeden alın levhaya kaynak	7.aşama
Yatay Kesme	h	Kolon panel bölgesi kesme	3.aşama
Basınç	j	Kiriş başlığı basınç	2.aşama
	k	Kiriş başlık kaynağı	7.aşama
	l	Kolon gövde ezilme	2.aşama
	m	Kolon gövde burulma	2.aşama
Dikey Kesme	n	Gövdeden alın levhaya kaynak	7.aşama
	p	Bulon kesme	5.aşama
	q	Bulon ezilme (Plaka veya başlığı)	5.aşama

SCI'nın kılavuzuna göre, toplamda yapılacak on beş ana kontrol vardır; ancak, bir birleşim farklı bir yapılandırmaya sahip olabileceğinden, tüm kontroller gerekli değildir. Özellikle, kontroller kiriş kontrolleri ve kolon kontrolleri olarak ayrılabilir. Şekil 2.15., yukarıda bahsedilen kritik bölgelerle genişletilmiş bir alın levha birleşimini göstermektedir.



Şekil 2.15. Bir Birleşimin Kritik Bölgeleri

2.5. Birleşim Bölgesinin Çekme Davranışı

Çekme bölgesinde, her bir bulon sırasının dayanımları belirlenir ve aşağıdaki olası arızalardan herhangi biri ile sınırlandırılabilir:

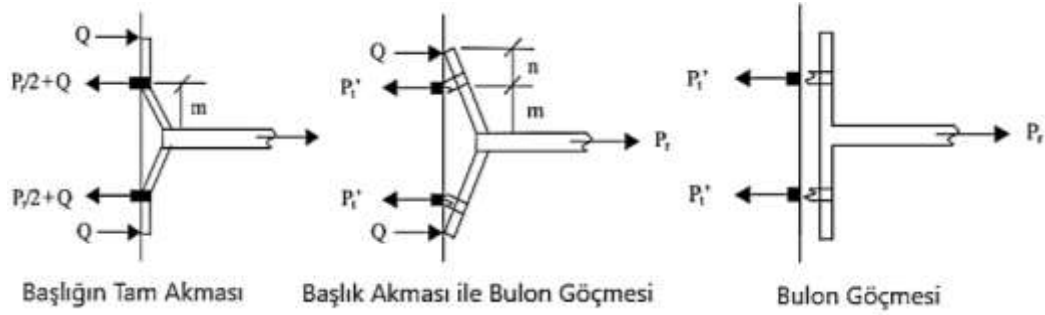
1. Kiriş :

- Kiriş gövde gerilimi
- Alın levha eğilmesi ve bulon mukavemeti

2. Kolon :

- Kolon gövde gerilimi
- Kolon başlık eğilmesi ve bulon mukavemeti

Kolon başlığı veya alın levha eğilmesi için, EC 3 yaklaşımı, bulonların etrafında meydana gelen akma çizgisi modellerini simüle etmek için 'eşdeğer T-stub' adı verilen bir yöntem kullanır. Daha sonra T-stub, Şekil 2.16.'da gösterildiği gibi, bulonlar üzerindeki kaldırma kuvveti dikkate alınarak geliştirilen bir formül kullanılarak, olası üç göçme moduna karşı kontrol edilir.



Şekil 2.16. Eşdeğer T-stub için Göçme Modları (EN 1993-1-8 (2005))

Bulon kuvvetlerinin plastik dağılımı, alın levha kalınlığı veya kolon başlığı kalınlığı Denklem kullanılarak belirlenen sınırdan az olmadıkça değiştirilmelidir. Sırasıyla kiriş tarafı için 2.2 ve kolon tarafı için Denklem 2.3. Başka bir deyişle, üçgen dağılımın yalnızca birleşimin her iki tarafının (kiriş ve kolon) ilgili kalınlık sınırlarını aşması durumunda uygulanması gerekir.

$$\text{Kiriş: } t_p < \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{U_f}{p_{yp}}} \quad (2.2)$$

$$\text{Kolon: } T_c < \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{U_f}{p_{yc}}} \quad (2.3)$$

t_p = Alın Levha Kalınlığı

T_c = Kolon Başlık Kalınlığı

d = Bulon Çapı

U_f = Bulon Kopma Dayanımı

p_{yp} = Alın Levha Tasarım Dayanımı

p_{yc} = Kolon Tasarım Dayanımı

2.6. Birleşim Bölgesinin Basınç Davranışı

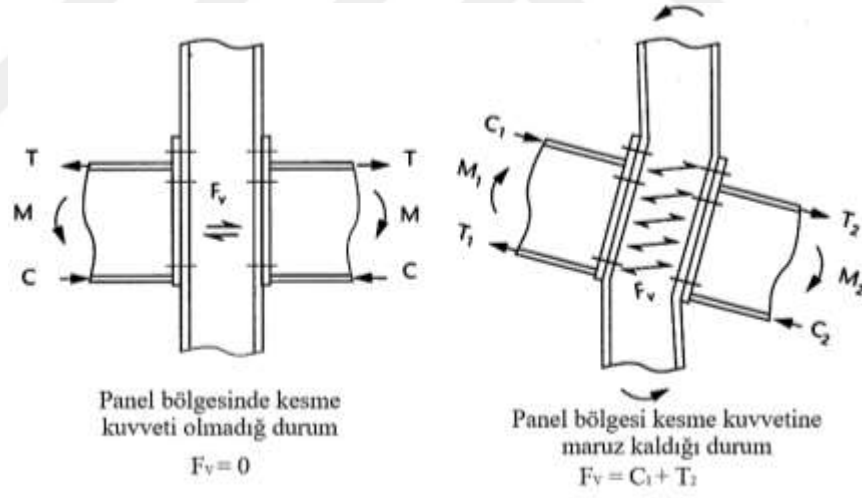
Bulonlu birleşimler için, basınç bölgesi, saat yönünde dönme nedeniyle tipik deformasyon varsayarak kirişin alt başlığı etrafında yoğunlaşır. Üç olası göçme meydana gelebilir ve kapasiteler için kontrol edilmesi gerekir.

- Kiriş başlık basıncı
- Kolon gövde ezilmesi
- Kolon burkulması

Genel olarak, basınç kuvvetinin tamamen alt başlık tarafından taşındığı ve dolayısıyla etki noktasının başlığın merkezinde alındığı varsayılır.

2.7. Birleşim Bölgesinin Kesme Davranışı

Kesme bölgesinde, kesme iki yönde etki ediyor olabilir: yatay ve dikey. Ancak kolon gövde panelini etkileyen yatay kesme kuvveti genellikle en kritik durumdur. Yatay kesmenin değeri, birleşimin tek veya iki taraflı olmasına göre belirlenir. Tek taraflı birleşim için yatay kesme kuvveti kirişin alt başlığındaki basınç kuvvetine eşittir, iki taraflı birleşimde ise değer her iki taraftaki iki basınç kuvvetinin toplamıdır.

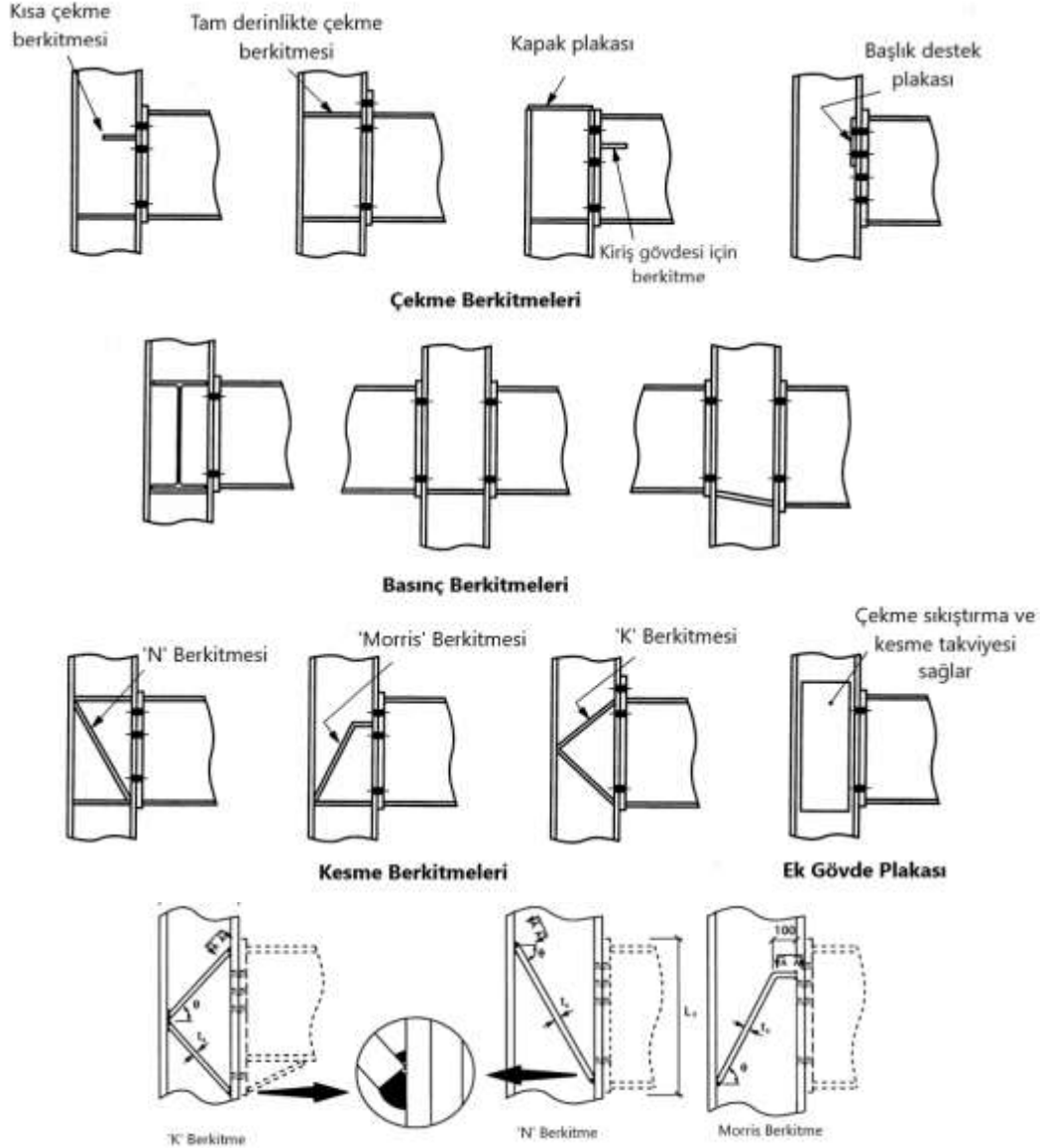


Şekil 2.17. Kolon Panel Bölgesindeki Kesme Kuvvet

2.7.1. Berkitmeler

Kolon gövde paneli kesmesinin birleşimin göçme mekanizması olduğu durumlarda, kolon gövde panelini güçlendirmek için takviye elemanlarına (berkitmelere) ihtiyaç vardır. Takviyeler, kiriş başlığına paralel, çapraz olarak veya ek gövde plakaları olarak yerleştirilebilir. Tasarım sırasında elemanların dikkatli seçimi, çoğu zaman birleşimin

güçlendirilmesi ihtiyacını ortadan kaldıracak ve daha uygun maliyetli bir yapıya yol açacaktır (SCI/BSCA, 1995).



Şekil 2.18. Güçlendirme Yöntemleri (SCI/BSCA, 1995)

Ancak bazen bir veya daha fazla birleşim bölgesini güçlendirmenin alternatifi yoktur. Kullanılabilecek berkitme çeşitleri şekil 2.18.'de gösterilmektedir.

Birleşimlerin panel bölgesindeki kolon gövde ve başlığının sünek ve sünek olmayan göçme mekanizmaları şekil 2.19.'de gösterilmiştir. Birleşimlerindeki kolonun dayanımını arttırmak için birkaç berkitme tipi vardır; Çekme berkitmeleri, Basınç

berkitmeleri, Ek gövde plakaları, Çapraz berkitmeler ve Başlık destek plakaları. Çekme berkitmeleri, kolon başlığının eğilme dayanımını ve kolon gövdesinin gerilme dayanımını artıracaktır. Basınç berkitmeleri, kolon gövdesinin basınç dayanımını artıracaktır. Ek gövde plakaları, gövde panelinin kesme dayanımını ve sınırlı bir ölçüde, kolon gövdesinin çekme ve basınç dayanımını artıracaktır. Çapraz (Diyagonal) gövde berkitmelerinin çeşitli biçimleri vardır. Çapraz gövde berkitmeleri, gövde panelinin kesme dayanımını artıracak ve ayrıca çekme ve/veya basınç berkitmeleri olarak işlev görecektir. Köşegen sertleştiricinin çeşitli biçimleri vardır. Ek destek plakaları, başlığın eğilme dayanımını artıracaktır.

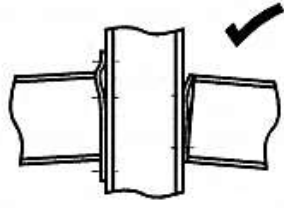
FEM 355D'ye göre berkitmelerin kalınlıkları en az birleşimdeki kirişin en kalın boyutuna eşit olmalı. Berkitme kenarları kolonun gövde ve başlık kısmında tam penetrasyon küt kaynak şeklinde olmalı ve birleşimin her iki tarafında en az kolon üzerinde oluşan çekme ve basınç kuvvetlerini aktarabilmelidir.

Güçlendirme türü, birleşimde diğer bileşenlerle çakışmayacak şekilde seçilmelidir. Bu genellikle tali kirişler kolon gövdesine bağlandığında, berkitmelerle ilgili bir problem değildir. Genellikle her bölgeyi güçlendirmenin birkaç yolu vardır ve bunların çoğu Tablo 2.5.'te gösterildiği gibi birden fazla alandaki eksikliğin giderilmesine katkıda bulunabilir.

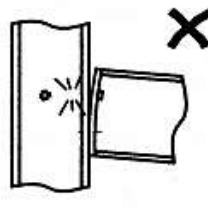
Tablo 2.5. Kolonları Güçlendirme Yöntemleri (SCI/BSCA, 1995)

Kolon Berkitme Türleri	Eksiklik				
	Gövde Çekmede	Başlık Eğilmede	Gövde Ezilme	Gövde Burkulmada	Gövde Kesmede
Yatay Berkitmeler: Tam	X	X	X	X	
Kısa	X	X	X		
Ek Gövde Plakası	X		X	X	X
Çapraz Berkitmeler(N ve K)					X
Morris Berkitmesi	X	X			X
Başlık Destek Plakası		X			

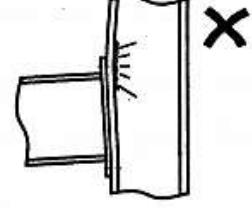
Çekme Bölgeleri



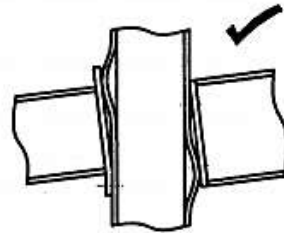
Alın Levha Eğilmesi



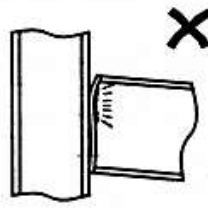
Bulon Çekmede



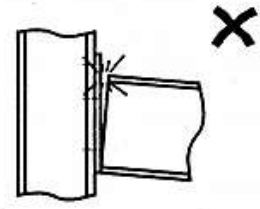
Kolon Başlığında Çekme



Kolon Başlığının Eğilmesi

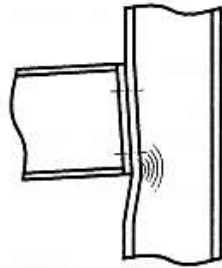


Gövde Kaynağı

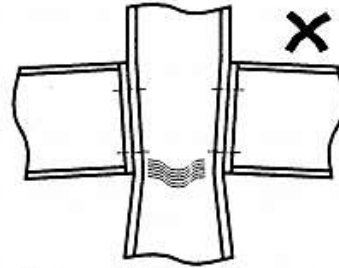


Başlık Kaynağı

Basınç Bölgeleri

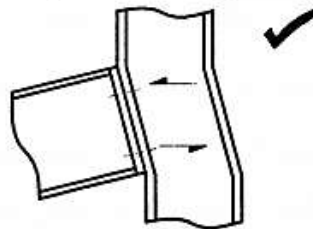


Kolon Gövde Ezilmesi



Kolon Gövde Burkulması

Kesme Bölgeleri



Kolon Gövde Kesmede

✓ = Sünek
✗ = Sünek Olmayan

Şekil 2.19. Kritik Göçme Mekanizmaları (SCI/BSCA, 1995)

2.8. Birleşim Elemanları

Moment aktaran birleşimler için standart tasarım kuralları olmamasına rağmen, yapısal verimlilik, uygun maliyetli inşaat ve güvenlik için standardizasyon ilkeleri önemini korumaktadır. En azından ilk tasarım amaçları için genellikle aşağıdaki kılavuz tavsiye edilir. Bazı genel öneriler Tablo 2.6.'de özetlenmiştir (SCI ve BSCA 1995).

Tablo 2.6. Standart Bileşenler (SCI ve BSCA 1995)

Eleman	Tercih Edilen Seçenek	Notlar
Bulonlar	M 24 8.8 Boşluklu Delikler için	M 20 8.8 Bulonlar küçük birleşimler için M 30 8.8 Bulonlar büyük birleşimler için
Alın Levhalar (plakalar)	250 x 25 – M 24 bulonlar 200 x 20 – M 20 bulonlar (Tüm plakalar S275 çelik sınıfından)	Daha geniş başlıklı kirişlerine uyacak şekilde plaka genişliğinin artırılması gerekebilir.
Guseler	Üniversal Kesit Kesim Düz Levhalar yapmak	-Uzun (>2000mm) guseler için -Kısa guseler için
Kaynaklar	Köşe kaynaklar- 6,8,10,12mm Kısmi nüfuziyetli küt kaynaklar	-Kiriş gövdeleri, berkitme ve çoğu başlıklar için -12mm'den fazla köşe kaynak gerektiğinde

2.8.1. Bulonlar

Moment aktaran birleşimleri için 'standart' bulon olarak M24 8.8 bulonları kullanılmalıdır. Bazı küçük birleşimler için, örneğin 400 mm derinliğe kadar kirişler ve ince veya dar başlıklı destekler için M20 bulonlar yeterlidir.

Daha büyük ve daha ağır yüklü birleşimler için tasarımcının M30 8.8 veya muhtemelen 10.9 bulonlara başvurması gerekebilir. Ancak, sınırlı süneklikleri nedeniyle 10.9 bulon kullanırken dikkatli olunmalıdır. Sıktıktan sonra somunun altında en az beş diş bulunan bulonların sağlandığı durumlarda bu sorun olmayacaktır.

Diğer çelik yapı türlerinde olduğu gibi, amaç herhangi bir projede farklı bulonların sayısını sınırlamak olmalıdır. Tam dişli bulonlar kullanılarak uzunluk farklılıkları minimumda tutulabilir (SCI ve BSCA 1995).

2.8.2. Alın levha

S275 çelik, kolayca erişilebilir olduğu için genellikle alın levhalar ve diğer birleşim parçaları için seçilir. Ana parça S355 çelikten yapılmış olsa da genellikle S275 çelik kullanılabilir.

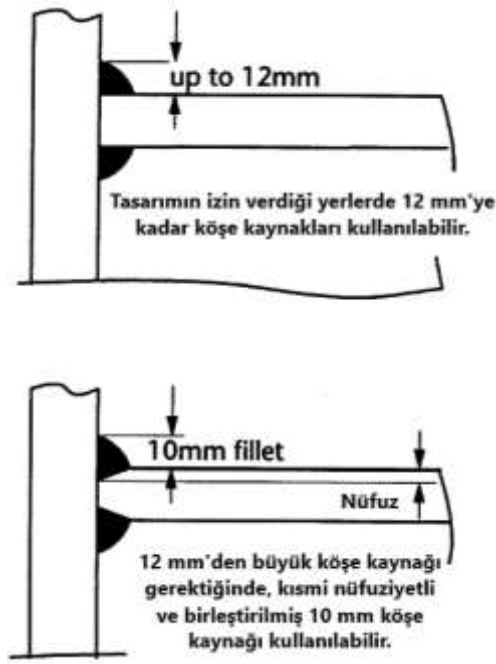
Bulon aralığı, bulon boyutu ve alın levha kalınlığı arasında mantıklı bir ilişki olmalıdır. Alın levha kalınlığının bulon çapına neredeyse eşit yapılması ve çapraz merkezleri dahil bulon aralığının 80 ila 100 mm aralığında seçilmesi S275 çeliği kullanılarak verimli bir seçenektir.

Kesitlerin çoğu için, M24 bulonlarla 100 mm ve M20 bulonlarla 90 mm çapraz merkezler önerilir, ancak bazı Üniwersal Kolon kesitleri için yeterli açıklığa izin vermek için merkezlerin artırılması gerekir (SCI ve BSCA 1995).

2.8.3. Kaynak

Köşe kaynakları genellikle küt kaynaklarına tercih edilir. Kiriş gövdesinin ve berkitmelerin etrafındaki kaynaklar neredeyse her zaman köşe olabilir. Önerilen minimum boyut 6 mm'dir. 12 mm'lik köşe kaynakların kullanılması, 10mm'lik köşe kaynakların yeterli olmayabileceği daha büyük ağır yüklü çekme başlıklı kirişler için, bir istisnadır.

İhtiyaç duyulan büyük hacimli kaynak metali ve buna bağlı bozulma sorunları nedeniyle, birçok imalatçı Şekil 2.20.'de gösterildiği gibi 12 mm'den büyük köşe kaynakları yerine kısmi veya tam nüfuziyetli küt kaynağı kullanmayı tercih eder. Bu tercih, alın levhaya karşı bir yatak oturması elde etmenin mümkün olmadığı durumlarda basınç başlığı için de geçerlidir (SCI ve BSCA 1995).



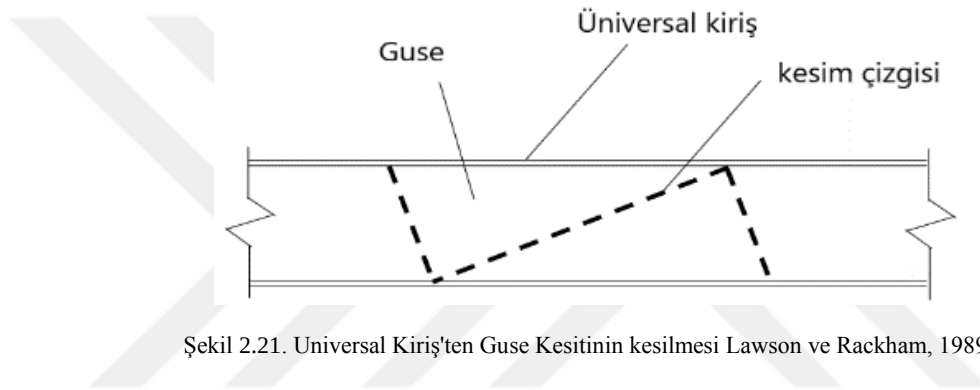
Şekil 2.20. Standartlaştırılmış Başlık Kaynakları

2.9. Guseli Birleşimler

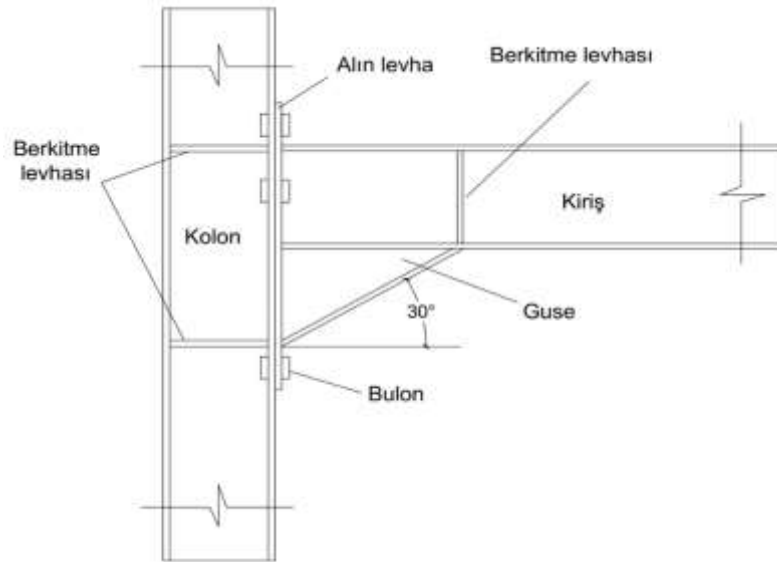
Son zamanlarda binalarda kolonsuz geniş alana yönelik yoğun talep, guseli kirişlerin davranışı hakkında daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir, çünkü guseli kirişler geniş açıklıklar için verimli ve ekonomik bir yöntem olarak kabul edilebilir. Bu sistem, tasarımcıya kolonsuz alan tasarlanırken daha fazla çeşitlilik sunabilmektedir. Uzun açıklık elde etmek için çeşitli yapısal seçenekler vardır. Bunlar şunları içerir (Lawson & Rackham, 1989; Owen, 2000):

- Gövdesi boşluklu kirişler
- Prefabrik kirişler
- Portal kirişler
- Kafes Kirişleri
- Kısa kiriş güçlendirmesi
- Paralel çelik kafesi
- Guseli kirişler

Bu çalışmada guseli birleşimler; Şekil 2.22.'de gösterildiği gibi, konik üçgen kesit ile uçlarında rijitleştirilmiş kirişler olarak tanımlanmıştır. Konik kesiti genellikle benzer bir kesitten kesilir. Şekil 2.21., universal bir kirişten kesilen iki tipik konik kesiti göstermektedir. Bu konik kesitler daha sonra kiriş uçlarına kaynaklanacaktır ve genellikle şekilde gösterildiği gibi kirişin her iki ucunda alın levhaları bulunur. Guseli kirişler, kirişler ve kolonlar arasında rijit bir moment bağlantısı olduğu varsayılarak tasarlanır. Gusenin derinliği ve uzunluğu, momenti kolona aktarmanın ekonomik bir yöntemine ve kirişin derinliğini pratik olarak minimuma indirmeye yönelik seçilir (Heong, 2005).



Şekil 2.21. Universal Kiriş'ten Guse Kesitinin kesilmesi Lawson ve Rackham, 1989.



Şekil 2.22. Alın Levhalı Bulonlu Guseli Birleşim

Guseli kirişler, kirişler ve kolonlar arasında rijit bir moment bağlantısı olduğu varsayılarak tasarlanır. Derinliği ve uzunluğu, kiriş derinliğini en aza indirecek ve

moment aktarımını ekonomik hale getirecek şekilde seçilir. Guseli kirişler, birleşimin yeterli dönme kapasitesini sağlayarak momentin yeniden dağılımına izin vererek ve böylece ekonomik bir tasarımla sonuçlanan kirişin tam pozitif moment kapasitesine ulaşmasını sağlar. Bu nedenle, Eurocode 4'e göre çelik kesitler arasındaki bağlantıyı güçlendirmek ve tam sürekliliği sağlamak için guseli kirişler kullanılabilir.

Guseli kiriş sistemleri, inşaat hızını artırarak inşaat maliyetini azaltabilir ayrıca hizmetler için uzun ve engelsiz açık alanlar sağlayabilir. Çelik yapılarda sık görülen durumlardan biri de hizmetler için açıklıklar oluşturmaktır.



Şekil 2.23. Çelik Kirişlerinde Hizmetler için Oluşturulan Açıklıklar

Genellikle, çelik kiriş gövdesi, mekanik ve elektrik hizmetleri için çeşitli boyutlarda penetrasyona ihtiyaç duyar. Bu penetrasyonların normalde, üretim maliyetini doğrudan artıran ekstra sertleştiricilerle güçlendirilmesi gerekir. Bu nedenle, gerçekten başka bir seçenek olmadığı sürece, açıklıklar oluşturmak uygun maliyetli değildir. Bununla birlikte, guseli kiriş sistemi ile, guse bölümdeki alan, Mekanik ve Elektrik hizmetleri için daha fazla özgürlük ve inşaat aşamasında müteahhitler ile M&E mühendisleri arasında daha az koordinasyon sağlayabilir. Bu kesinlikle çelik yapı üretimini artıracak ve dolaylı olarak inşaat hızını artıracaktır. (Heong, 2005).

Sürekli kiriş tasarımında, yaklaşımların çoğu ya elastik ya da plastik tasarıma dayanmaktadır. Elastik analizde, elastik global analize dayalı olarak bir yapı analiz

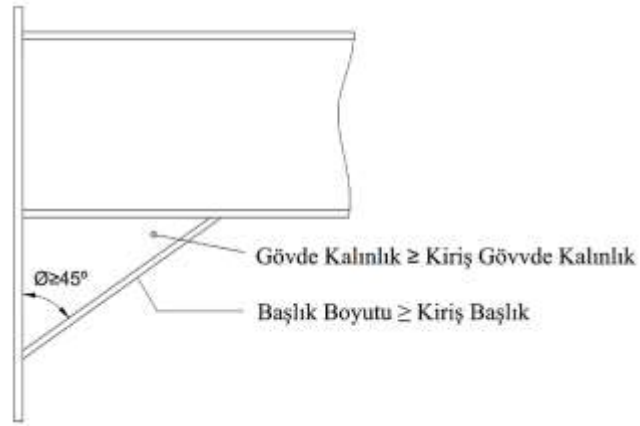
edilir ve yapıyı tasarlamak için bir moment zarfı elde edilir. Tasarımın hem nihai hem de hizmet verilebilirlik sınır durumlarını karşılaması gerekir. Yapı için moment yeniden dağıtımına izin verilir ve moment yeniden dağıtımının yüzdesi, kesit sınıflandırmasına bağlıdır. İkinci yaklaşım, plastik analiz, kritik kesitler plastik mafsallar mekanizmasının mevcut olması için kesitler tamamen akana kadar plastik dayanımlarını geliştirebildiği ve sürdürebildiği zaman geçerlidir. Bu analiz, plastik bir mafsal geliştirmek için yeterli dönme kapasitesi gerektirir.

Guseli kiriş tasarımı, rijit birleşim konseptine dayanmaktadır, böylece kolon-kiriş birleşimlerinde göçmeyi önler. Guse ile birleşim güçlendirilerek birleşimde herhangi bir eklem göçme modu oluşmayacaktır, yerine, göçmeyi guse uçuna kaydırır. Uygulamada, guse kesitinin eğilme dayanımı, guse ucunda yeterli dönme kapasitesine sahip plastik bir mafsal oluşumunu sağlamak için elastik olarak değerlendirilir.

Guse derinliği, esas olarak kolona verimli bir moment aktaran birleşim sağlamak için belirlenir ve bu nedenle, guse kapasitesinin yalnız bir şekilde hesaplanması genellikle uygun değildir. Guseli kirişin elastik moment dayanımı ile ana kirişin plastik moment dayanımı arasındaki yaklaşık bir ilişki Şekil 2.23.'te gösterilmektedir. Guse kesimi aynı kiriş kesitinden yapıldığında (Bkz. şekil 2.20.), en derin kısımdaki elastik dayanımın yeterli olması şartıyla, ara kısımlarda gusenin yeterliliğini kontrol etmek gerekli değildir.

EN 1993-1-8 ve SCI'ya göre bir kiriş, guse ile güçlendirilmişse, şu şekilde düzenlenmelidir:

- Gusenin çelik kalitesi elemanınkiyle aynı olmalıdır;
- Gusenin başlık boyutu ve gövde kalınlığı, elemanınkinden daha az olmamalıdır;
- Guse başlığının elemanın başlığına olan açısı 45° 'den büyük olmamalıdır;
- Rijit yatak uzunluğu (the length of stiff bearing) ss, kirişe paralel olan guse başlığının kalınlığına eşit olarak alınmalıdır.



Şekil 2.24. Guse Özellikleri

Şekil 2.25.'ten, plastikleşmenin, gusenin en sığ kısmına kısa bir mesafe büyüncce uzanabileceğı açıktır. Bu kabul edilebilir, çünkü guse ucunun plastik mafsalların oluştuğı yerde yanal olarak sınırlandırılması ve bu kesitin daha büyük dönme kapasitesine yol açması gerekir. Gusenin daha derin kısmının elastik kalmasını sağlayarak, kararsızlık sorunları BS 5950 part:1'i kullanarak kontrol edilebilir. Yanal burulma burkulmalarında kirişin etkin narinliği λ_{LT} BS 5950:Part1'de şu şekilde tanımlanır:

$$\lambda_{LT} = nuv_t\lambda \quad (2.4)$$

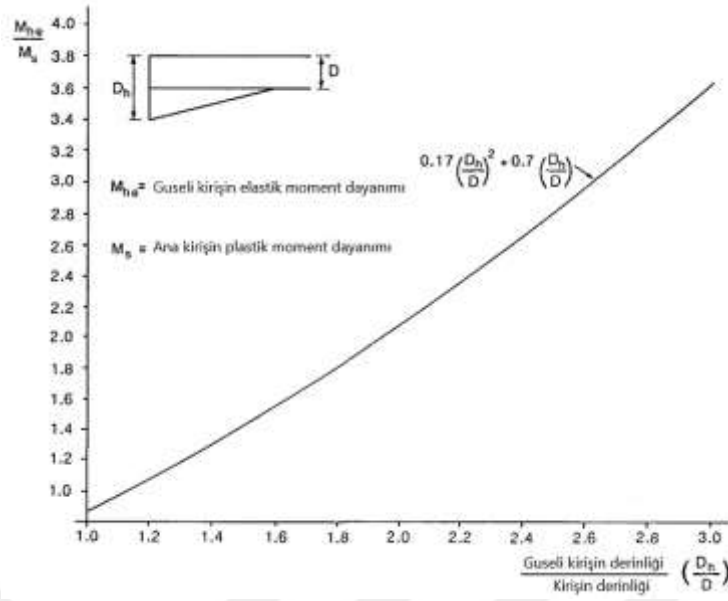
λ = kısıtlamalar arasındaki kiriş uzunluğunun narinliği

n = narinlik düzeltme faktörü

u = burkulma parametresi (üniversal kesitler için 0.9)

v_t = narinlik faktörü (burulma rijtliği ve diğer faktörler)

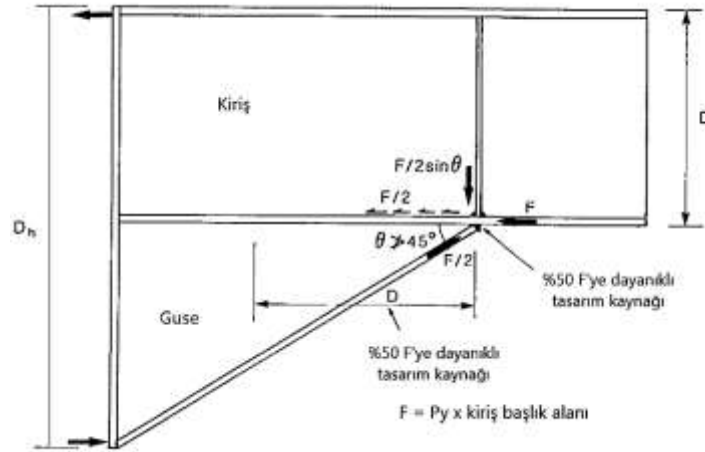
Kesitin plastik moment dayanımını geliştirmek için λ_{LT} 'nın BS 5950:Bölüm 1' deki sınır değerlerden küçük olması gerekir. (örneğin, S275 çeliğı için 35 ve S355 çeliğı için 30).



Şekil 2.25. Guse ve Kirişin Eğilme Dayanımları Arasındaki İlişki (Lawson ve Rackham, 1989)

Gusenin uzunluğu, kiriş ve kolonun en verimli tasarımını elde etmek için seçilir. Elastik global analizde genellikle gusenin kiriş uzunluğunun %7 ila %10'u ve plastik mafsallarda %5 ila %7'si olduğu bulunur.

Moment, kolona büyük ölçüde, guse başlıklarındaki çekme ve basınç kuvvetleri tarafından aktarılır. Alt başlıktaki kuvvet, kısmen kiriş başlığından, guse ucundaki kesik başlık kaynağına ve kısmen de kirişten, guse boyunca kesik gövde kaynağına doğru aktarılır. Basınç kuvvetinin yarısının bu eylemlerin her biri tarafından geliştirildiği makul bir varsayımdır (Şekil 2.26.). Gövde-başlık kaynağındaki kuvvetin, kiriş derinliğini aşmayan bir uzunluk boyunca etki ettiği varsayılır. Başlıktan alın levhaya kaynaklar, başlıklarla aktarılan kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 2.26. Guse Tasarımının Detayı (Lawson ve Rackham, 1989)

Guse ucundaki kiriş gövdesine lokal bir düşey reaksiyon aktarılır ve bu bölgedeki gövde dayanımını başlıklardan aktarılan kuvvete dayalı olarak kontrol edilmesi gerekir.

Genellikle, Guse açısı yaklaşık 15° 'yi aştığında ve kesitin plastik moment dayanımının geliştirildiği yerlerde gövde takviyeler veya berkitmeler gereklidir. Bu aynı zamanda, başlık kuvvetlerinin yön değişiminde başlıkların enine bükülmesini önlemek içindir. Bu aynı zamanda, başlık kuvveti yön değiştirdiğinde başlıkların enine eğilmemesinin sağlar. Kirişin alt başlığına yanal kısıtlama sağlamak için tam derinliğe sahip gövde takviyeleri de kullanılabilir.

Guse, iç kolonlarda kompozit olarak da tasarlanabilir. Bu, döşemedeki donatı kullanılarak elde edilir. Kompozitin etkisi, aynı moment için guse derinliğini azaltmaktır. Bulonlardaki çekme kuvveti azaldığı için Kolon-kiriş birleşiminin tasarımı potansiyel olarak basitleştirilebilir. Birleşim ve döşemedeki yüksek akma donatısı arasındaki doğal deformasyon kapasitesindeki farklılıklar nedeniyle, kompozit kesitin eğilme dayanımına katkıda bulunmak için gereken herhangi bir donatı, betonda 'kontrollü çatlama' geliştirmek için belirli bir minimum miktarda olmalıdır. Bu genellikle döşemenin kesit alanının en az %0,5'ine eşdeğerdir.

2.9.1. Guse

Guse, üniversal Kirişlerden kesilebilir veya düz levhalar veya plaklardan oluşturulabilir. Genel olarak, portal çerçevelerdeki gibi uzun guseler için kesit kesimleri kullanmak ve kullanılan bölümün tek bir kesimle çapraz olarak bölünebilmesi için guse derinliğini boyutlamaktır.

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, tasarım prosedürlerinin, guse bölümün gövde ve başlığının en az ana elemanın gövde ve başlığı kadar kalın olduğunu varsaydığına dikkat edilmelidir. Gusenin tasarım dayanımı(Grade), ana üye tasarımının bir parçası olarak tanımlanmış olabilir (SCI ve BSCA 1995).

2.9.1.1. Guse kaynağı

Estetik veya korozyon nedenleriyle sürekli köşeler belirtilebilmesine rağmen, genellikle, guse uzunluğu boyunca kesme, guse gövdesini kiriş başlığına bağlamak için uygun şekilde tasarlanmış aralıklı köşe kaynaklarına izin verecek kadar düşüktür.

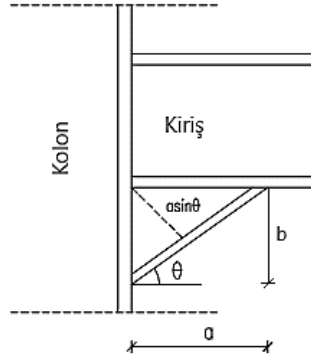
Guse başlığı ile kiriş başlığı arasındaki köşe kaynağı, genellikle guse başlığının kalınlığına eşit bir bacak uzunluğu (leg length) ile yapılır (SCI ve BSCA 1995).

2.9.2. Guseli birleşimlerin tasarımı

Gusenin derinliği, öncelikle kullanılan bulon sayısını en aza indirecek ve kolonun aşırı yerel sertleşmesini önleyecek şekilde seçilir. FEMA 355D, üçgen guselerin 2'ye 1 (2 yatay ve 1 dikey) eğime sahip olmasını tavsiye eder ve guse derinliğinin yaklaşık olarak $d_b/3$ olması önerir. Burada d_b kirişin derinliğidir. Plastik dönmenin, gusenin sonunda meydana geldiği ve bu konumdaki dönmenin, tahmin edilen normal kat ötelemesinden daha büyük olduğu kabul edilmelidir.

Guse uzunluğu (a) ve eğimi (θ) için ilk deneme olarak aşağıdaki ilişki kullanılabilir (Gross ve ark, 2001):

$$a = 0.55 \cdot d_b \quad (2.5)$$



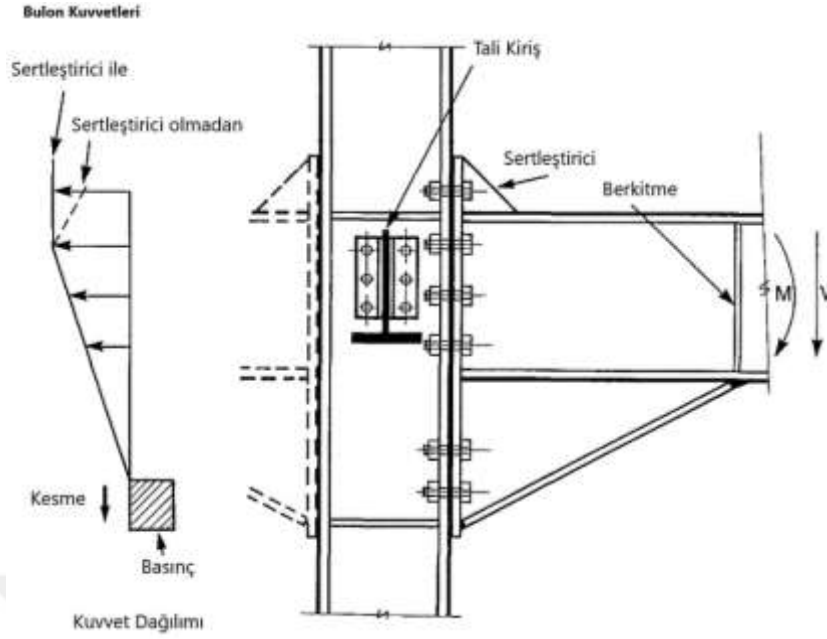
Şekil 2.27. Guse Geometrisi

Burada d_b kirişin derinliğidir. Ayrıca, b guse derinliği mimari sınırlamalar, örneğin tavanlar ve yapısal olmayan elemanlar ile uyumlu olmalıdır. Guse derinliği $b = a \cdot \tan \theta$ ile sağlanır.

Gusenin tam eğilme dayanımını harekete geçirmek zordur ve tipik olarak birleşimin eğilme dayanımı, gusenin elastik dayanımının %60 ila %80'i kadar olacaktır.

Birleşimin üst çekme bölgesinde en az dört, basınç bölgesinde iki bulon kullanılması standart bir uygulamadır. Ayrıca, sık guselere sahip birçok uzun açıklıklı kirişlerde, gerekli momenti aktarmak için çekme bölgesinde altı veya sekiz bulon ve basınç bölgesinde dört bulon kullanılması genellikle gerekli bulunur. Üst bulonlar çekme için, alt bulonlar ise sadece kesme için tasarlanırlar. Uzun açıklıklı kirişler 8.8 kalite M24 veya daha büyük bulonlar gerektirir.

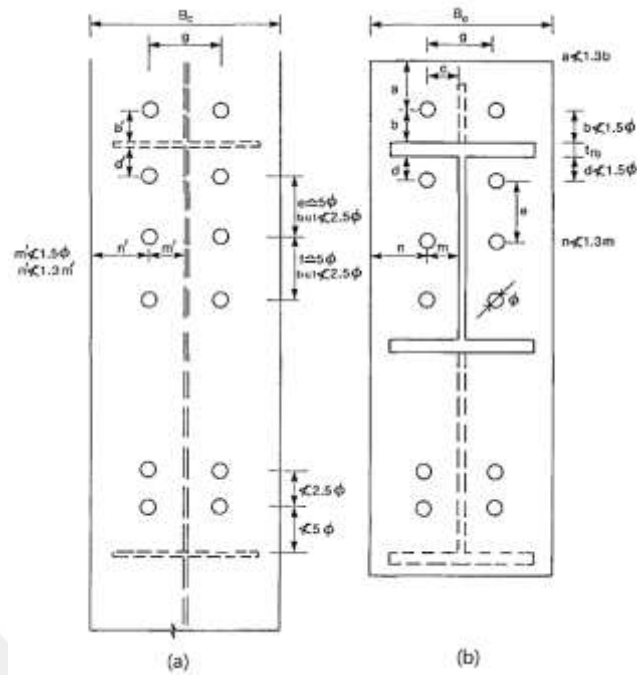
Tipik bir guseli birleşim Şekil 2.28.'de gösterilmektedir. Genişletilmiş alın levhaların kullanılması birleşimin eğilme dayanımını artırır. Alın levhalı birleşimlerinin tasarımı iyi yapılandırılmıştır ve ekonomik tasarım akma çizgisi(yield-line) ilkelerine dayanmaktadır. Bu, alın levhanın çift eğriliğinin geliştirildiğini ve bunun da bulonlarda ilave kaldırma kuvvetleriyle sonuçlandığını varsayar. Çoğu durumda tasarımcının kolon başlığının kalınlığının seçimi üzerinde daha az kontrole sahiptir. Bulonların çekme etkisi altında kolon başlığının maksimum kapasitesini belirlemek için başlığın akma çizgisinin daha fazla incelenmesi yaygın bir yöntemdir.



Şekil 2.28. Guseli Birleşimin Görünümü (Lawson ve Rackham, 1989)

Guseli Birleşimler için Alın Levha Tasarım Prosedürü aşağıda açıklanmıştır,

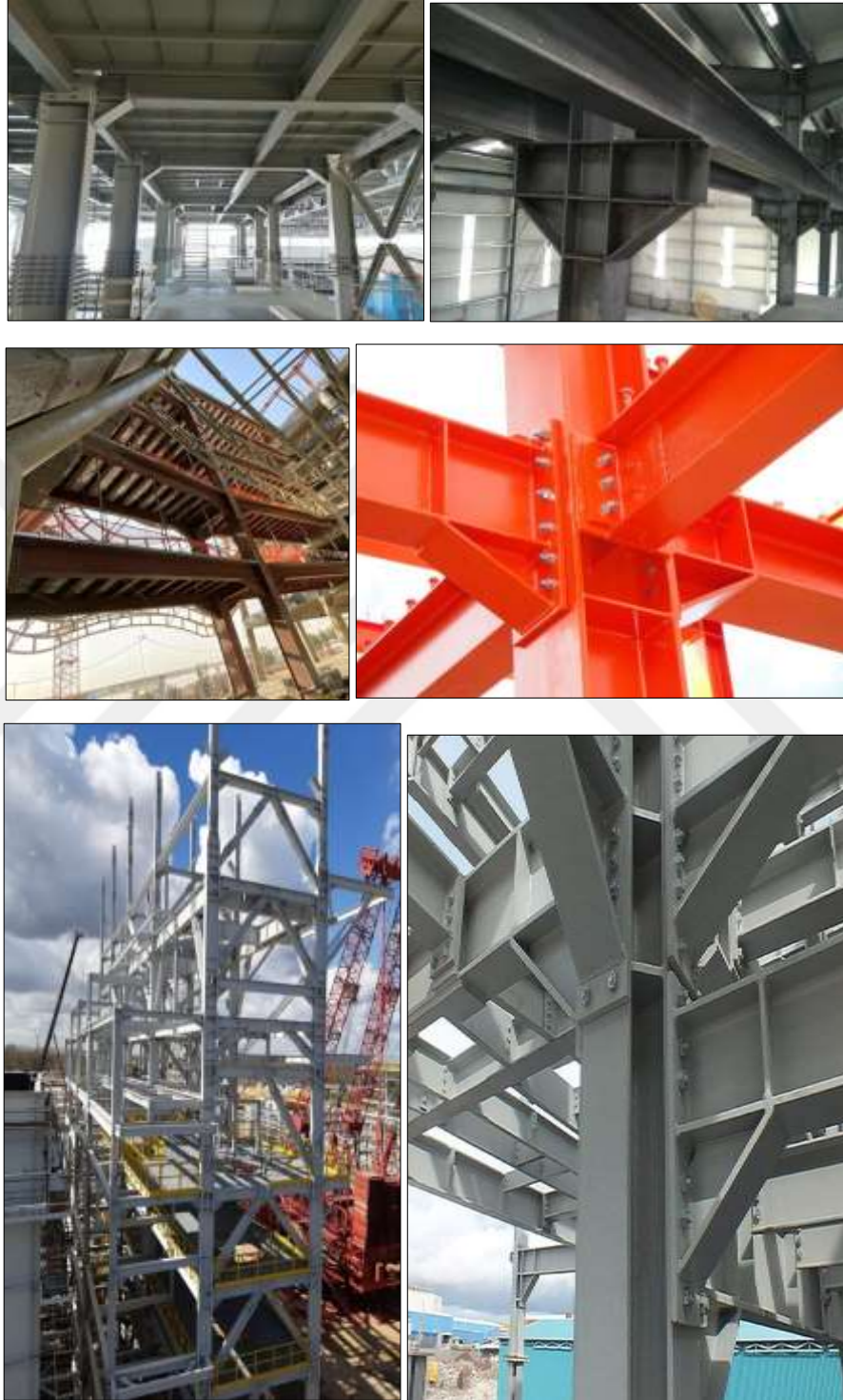
1. Artan momenti dikkate alarak birleşimdeki (M) tasarım momenti ve (V) kesme kuvveti belirlenir.
2. Pratik aralıklara ve kenar mesafelerine göre birleşim tipi ve deneme amaçlı bulon çapı ϕ ve düzeni seçilir. Bunlar Şekil 2.27.'de gösterilmektedir. Bulonlar normal olarak tali elemanlarından 1,5 ϕ ile 2 ϕ arasında ve gövdeden aşağı doğru 4 ϕ ile 5 ϕ arasında olacak şekilde yerleştirilecektir.
3. Her bulon için nominal kuvveti, F, elastik prensiplere göre belirlenir. Bu, ilk olarak, gusenin alt başlığı etrafında bir dönme merkezi varsayılarak ve bu nokta etrafında bulon grubunun atalet momenti I_{bg} hesaplanarak gerçekleştirilir. Böylece her bulondaki kuvvet $M y_i / I_{bg}$ 'dir, burada y_i dönme merkezi ile bulon arasındaki mesafeyi gösterir. Genişletilmiş bir alın levhanın üst kısmında, dört üst bulonun, ek bir sertleştirici (Başlık) dahil edilmesi koşuluyla eşit kuvvete direndiği varsayılır (şekil 2.28.).



Şekil 2.29. (a) kolon Başlığından Görünüm (b) Alın Levha Üzerindeki Görünüm (Lawson ve Rackham, 1989)

4. Uygulanan kesme kuvvetini bu bölgedeki bulon sayısına bölerek, guse tabanındaki gerekli bulon sayısı belirlenir.
5. Akma çizgisi analizi kullanılarak, çift eğrilikte (double curvature) plakanın plastik mukavemeti açısından alın levhanın minimum kalınlığı belirlenir. Bu, üst kısımdaki genişletilmiş uç plakaya fazladan bir takviye (başlık) eklenip eklenmediğine bağlıdır.
6. Akma çizgisi analizine dayalı kolon başlığının dayanımı hesaplanır. Başlıktaki aksenal gerilimi σ dikkate alarak başlığın plastik moment dayanımı azaltılır. Bu azalma sadece kolon eksenine dik olan akma çizgileri için geçerlidir. Kolona uygulanan kuvvetlerin büyüklüğünden dolayı, genel olarak gusenin üst ve alt başlıklarına bitişik kolon başlıklarına kaynaklı gövde takviyeleri (berkitmeler) yapılır.
7. Alın levha ile kiriş gövde ve başlık arasındaki kaynakların dayanımı kontrol edilir. Ağın mukavemeti ve kaynaklarının, ağ boyunca bulon aralığında büyük bir rolü vardır. Gövde boyunca bulon aralığı, genelde gövde ve kaynaklarının dayanımıyla belirlenir.
8. Kolon başlığına bağlı berkitmelerin mukavemeti kontrol edilir. Tali kirişlerin kolon gövdesindeki bağlantıları kontrol edilir.

Guseli birleşimlerin kullanım alanlarına ilişkin bazı örnekler aşağıdaki resimlerde görülmektedir:

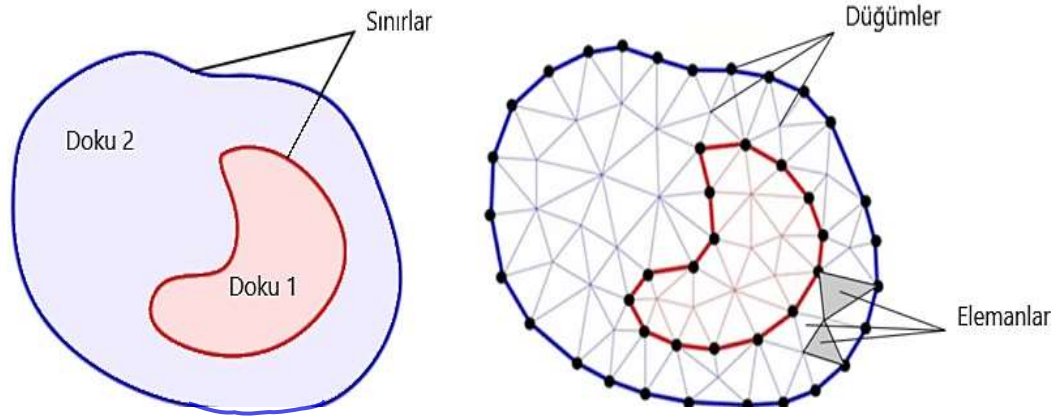


Şekil 2.30. Örnek resimler

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), mühendislik bileşenlerinin analizi için sayısal bir yöntemdir. Bu yöntemde, çalışma alanı, eleman adı gibi birtakım alt alanlara bölünür. Elemanlar birbirine düğüm adı verilen köşe noktaları ile bağlanır. Alan değişkeni düğümlere atanır ve her eleman içinde alan değişkeninin düğümlerde sürekliliği korurken doğrusal veya ikinci dereceden denklemlere göre değiştiği varsayılır. Alan değişkeninin bu nedenle parçalı sürekli olduğu söylenir ve alan değişkeni elemanlar için enterpolasyon işlevi veya şekil fonksiyonu ve alan değişkeninin düğüm değerleri cinsinden ifade edilir.

Ana denklemin işlevsel formülasyonu için bir minimizasyon işlemi kullanılarak, üç boyutlu geçici ısı akışını temsil eden kısmi diferansiyel denklem, matris formunda en iyi temsil edilen doğrusal denklemler kümesine dönüştürülür. Denklem her eleman için değerlendirilir ve tüm bu temel matrisler işlem sonunda genel bir matris oluşturmak üzere birleştirilir. Daha sonra sınır koşulları olarak bilinen özel koşullar uygulanır ve düğüm alanı değişkenini elde etmek için matris denklemi çözülür. Şekil 3.1.'de şematik olarak sonlu elemanlar yöntemin şeması verilmiştir. Kısa bir analizde, çeşitli zaman aralıkları için alan değişkeninin düğüm değerlerini elde etmek için prosedür çeşitli zaman aralıkları için tekrarlanır(Ravichandran, 2020). Sonlu elemanlar yönteminin çözümlemesi genel olarak 3.1'de verilen bağıntı ile yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) Modelinin Şematik Gösterimi (Ravichandran, 2020)

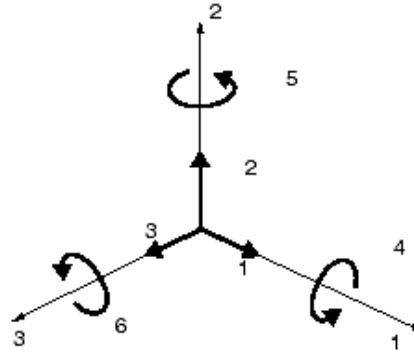
$$[K] \cdot \{d\} = \{F\} \quad (3.1)$$

K = Toplam rijitlik matrisi

d = Düğüm yer değiştirme matrisi

F = Düğüm kuvveti matrisi

Sonlu eleman modellemesi, fiziksel bir problemin, düğümlerde birbirine bağlanan sonlu elemanlar adı verilen bireysel bölgelere idealleştirilmesini içerir. Düğümler, yer değiştirme ve dönme serbestlik derecelerine sahip olabilir ve bu serbestlik derecelerine, sınır koşullarına dayalı olarak kısıtlamalar getirilebilir (Şekil 3.2.). Eşzamanlı denklemler, sistem genelindeki denge denklemlerine, uyumluluk ilişkilerine ve bünye denklemlerine dayalı olarak oluşturulur. Bu denklemler matris cebiri veya lineer olmayan çözüm teknikleri ile çözülür. Sonlu eleman modelleri, uygun şekilde kullanıldığında, kolon-kiriş birleşimlerinin davranışını tahmin etmede oldukça doğru olabilir. Modeli oluşturmak için gereken zaman ve maliyet ile hesaplamaları yürütmek için gereken bilgisayar kaynakları bu yöntemin ana dezavantajlarıdır (Oltman, 2007).



Şekil 3.2. Yer Değiştirme ve Dönme Rijitlik Dereceleri

Bir yapısal problemi analiz ederken, geometriyi almak ve onu daha küçük, daha basit şekillere ve elemanlara bölmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. İdealleştirmeden sonra modele bir yük veya yer değiştirme uygulanır. Yanıtlarını modelleyen denklemler çözülür ve daha sonra tüm problem üzerindeki davranışı tanımlamak için elemanlar yeniden birleştirilir. Abaqus, otomotiv, havacılık, endüstri ve yapı mühendisliği endüstrilerindeki mühendisler tarafından kullanılan genel amaçlı bir sonlu eleman analiz paket programıdır. Başlangıçta doğrusal olmayan fiziksel davranışı ele almak için geliştirildi ve sonuç olarak ilgili bünye denklemlere ve bunların fiziksel özelliklerini modelleme yeteneğine sahip kapsamlı bir malzeme kitaplığına sahiptir (Marquez, 2014).

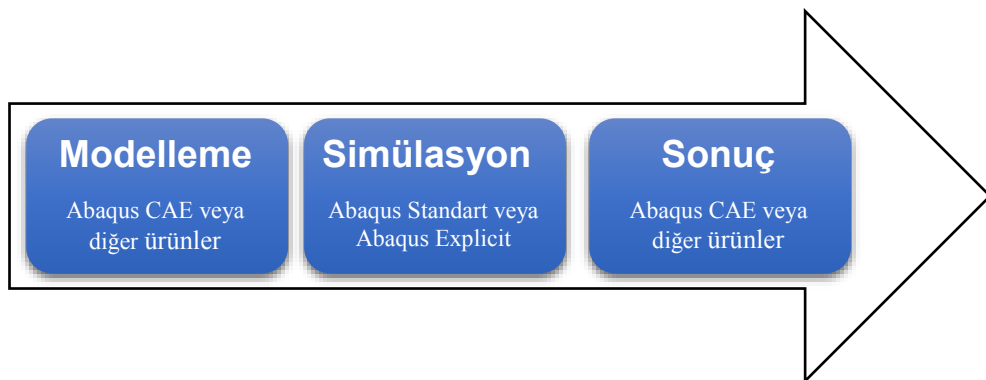
Abaqus programı dört farklı temel üründen oluşur: Abaqus/CAE, Abaqus/Standard, Abaqus/Explicit, Abaqus/CFD.

- Abaqus/Standard, genel amaçlı lineer, nonlineer, statik ve dinamik mühendislik problemlerini çözülmesinde kullanılan bir sonlu elemanlar programı.
- Abaqus/Explicit, açık (explicit) bir dinamik ve yarı-statik (quasi-static) problemlerini çözülmesinde kullanılan sonlu eleman programı.
- Abaqus/CFD, genel amaçlı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı.
- Abaqus/CAE, sonlu eleman modelleri oluşturmak, analizlerini gerçekleştirmek ve analiz sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan etkileşimli bir ortam (Abaqus 6.14).

Sonlu eleman modelleme programı olan Abaqus'ta analiz yapabilmek için, modellerde bulon, kiriş, levha ve kolon gibi birçok parçanın ayrı ayrı oluşturulup daha sonra bir araya getirilmesi gerekmektedir. Parçalar oluşturulduktan ve birleştirildikten sonra, Abaqus'a parçaların birbirleriyle nasıl etkileşime gireceği ve her parça için hangi serbestlik derecelerine sahip olduğu tanımlanması gereklidir. Ayrıca oluşturulan modellere sınır koşulları atanmalıdır. Son olarak, montajı yapılan bağlantıya yer değiştirmeler veya yükler uygulanabilir ve çözümlemesi sonucu istenen veriler elde edilebilir (Schroeder, 2012).

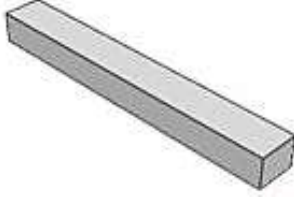
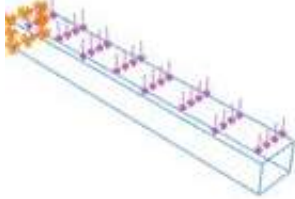
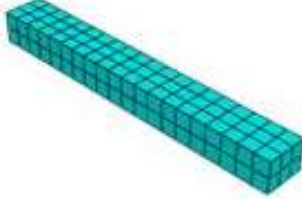
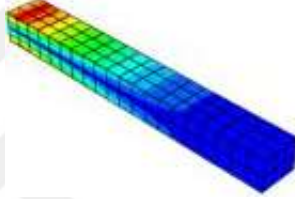
3.1. Sonlu Eleman Modelleme Aşamaları

Her sonlu eleman analizi üç aşamadan oluşmaktadır. Ön işleme/modelleme, işleme/simülasyon ve son işleme/sonuç analizi (Şekil 3.3.). Modelleme aşamasında bireysel elemanlar (kolonlar, berkitmeler, plakalar ve kaynaklar) çeşitli geometrik araçlar kullanılarak şekillendirilir ve idealleştirilir. Parçalara doğrusal ve doğrusal olmayan malzeme özellikleri eklenir ve montajı yapılır. Bu aşamada, verilerin toplanacağı noktalar ve yüzeyler ile sonuç alınan bölgeler tanımlanır. Simülasyon aşamasında, modelin analizi gerçekleşir; modelleme varsayımları ve basitleştirmeler, analiz için zaman dilimi belirlenir. Bir modelin analizi, karmaşıklığına göre çok hesaplama gerektiren ve zaman alıcı olursa zaman dilimi daha küçük bölümlere ayrılır. Sonuç aşaması ise çözümleme sonucu elde edilen yer değiştirmeleri, gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri gösterir. (Marquez, 2014). Tablo 3.1.'de bir sonlu eleman analizin aşamaları şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Abaqus Analiz Aşamaları

Tablo 3.1. Modül Ağacıyla Model Oluşturmak

Part	Property	Assembly
	-Malzeme tanımı yapılır -Bölüm tanımı yapılır ve parça ata	
Step	Interaction	Load
-Analiz adımları ve çıktı istekleri tanımlanır	-Bu örnek için geçerli değil	
Mesh	Job	Visualization
	-Analiz işlerine atanır, yönetilir ve izlenir	

BÖLÜM 4. YAPILAN ÇALIŞMA

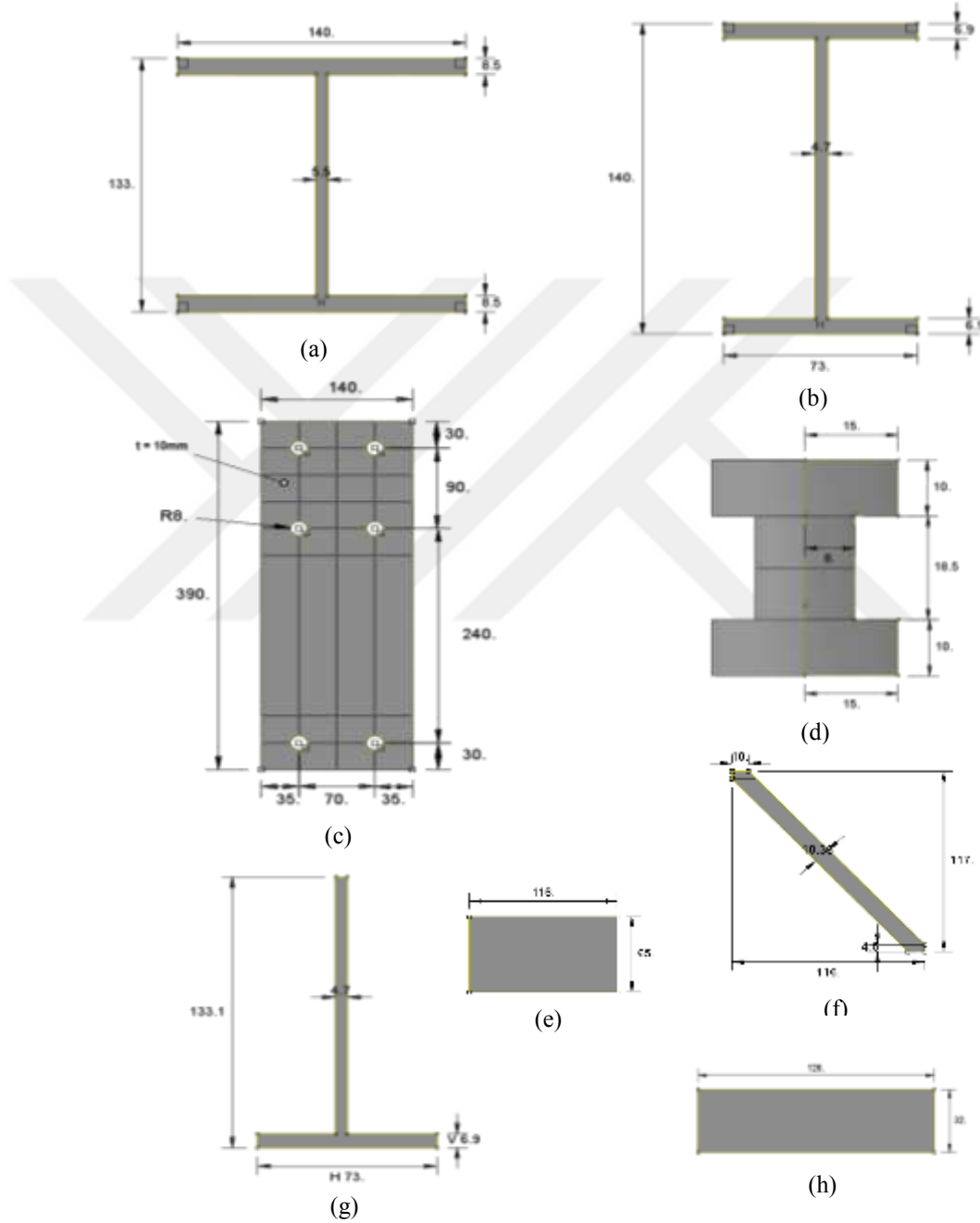
Bu çalışmada, guseli kolon-kiriş birleşimlerinin monotonik dikey yük etkisi altındaki davranışı sonlu elemanlar yöntemine dayalı ABAQUS/CAE bilgisayar programı kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada, üç farklı guse açıyla yedi farklı berkitme tipine sahip kolon-kiriş birleşim bölgesi çözümlenmiştir. Toplamda 21 adet sonlu eleman modeli oluşturulmuş olup modellerde kolon, kiriş, bulon ve alın levhaları sabit tutularak guse açısı ve berkitme tipleri değiştirilmiştir. Eurocode 3 ve SCI/BCSA, 1995 standartlarına göre moment aktaran guseli birleşimlerdeki guse açısı maksimum 45 derece olarak belirlenmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada 15, 30 ve 45 dereceli üç farklı guse açısı esas alınarak her bir model için yedi farklı SCI/BCSA, 1995 standardında önerilen kolon panel bölgesini güçlendirecek düz ve diyagonal berkitme ile takviyeli birleşim bölgeleri oluşturulmuştur. Sonlu eleman modelleri üzerine analizler yapıldıktan sonra yük-deplasman eğrisi, taşıma kapasitesi, rijitlik, gerilme dağılımı ve plastik mafsallın oluşum yeri gibi birleşim değerlendirme indeksleri incelenmiştir. Bu bölümün sonunda, farklı gruptaki birleşimlerin doğrusal olmayan analizinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.1. Sonlu Eleman Modellemesi

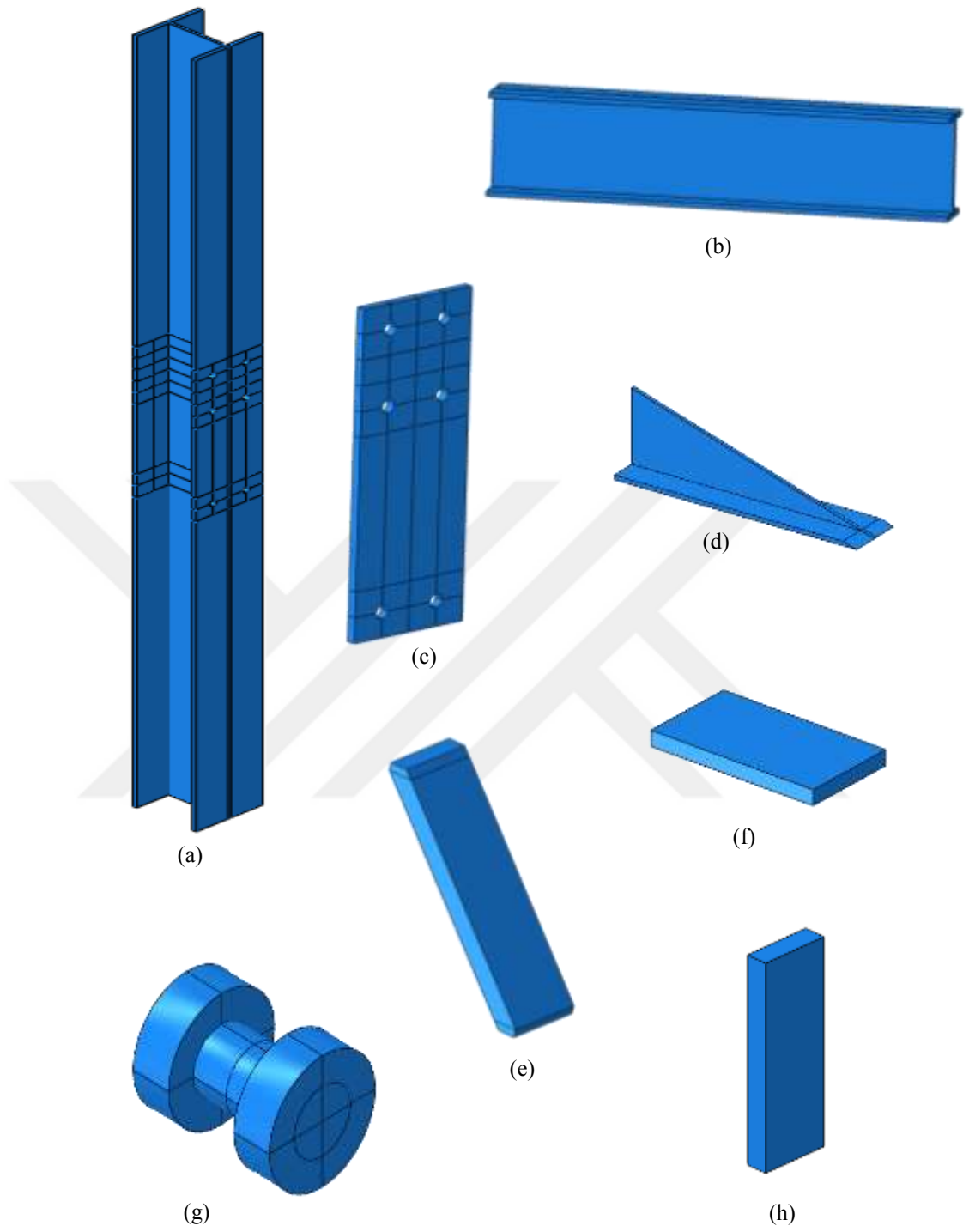
Sonlu eleman modellemesinde, ilk önce alın levhalı moment aktaran guseli birleşim oluşturulmuştur. Güçlü kolon zayıf kiriş ilkesine uygun olarak kolon için HEA140 ve kiriş için IPE140 profilleri seçilmiştir. Kiriş ile kolon arasındaki bağlantı, kirişin uç bölgesine genişletilmiş bir alın levha kaynatılarak altı guse ile güçlendirildikten sonra kolona bulonlar yardımıyla bağlanmıştır. Kullanılan kolon ve kiriş kesitleriyle birlikte birleşim elemanlarının boyutları şekil 4.1. ve 4.2.'de gösterilmiştir. Çalışma amacına uygun olarak analizlerde kolon-kiriş bölgesine maksimum yük aktarabilmek için literatüre uygun olarak kiriş uzunluğu 600mm ve kolon yüksekliği 2000mm olarak

seçilmiştir. Şekil 4.3.'te modellenen guseli kolon-kiriş birleşimlerinden biri örnek olarak gösterilmiştir.

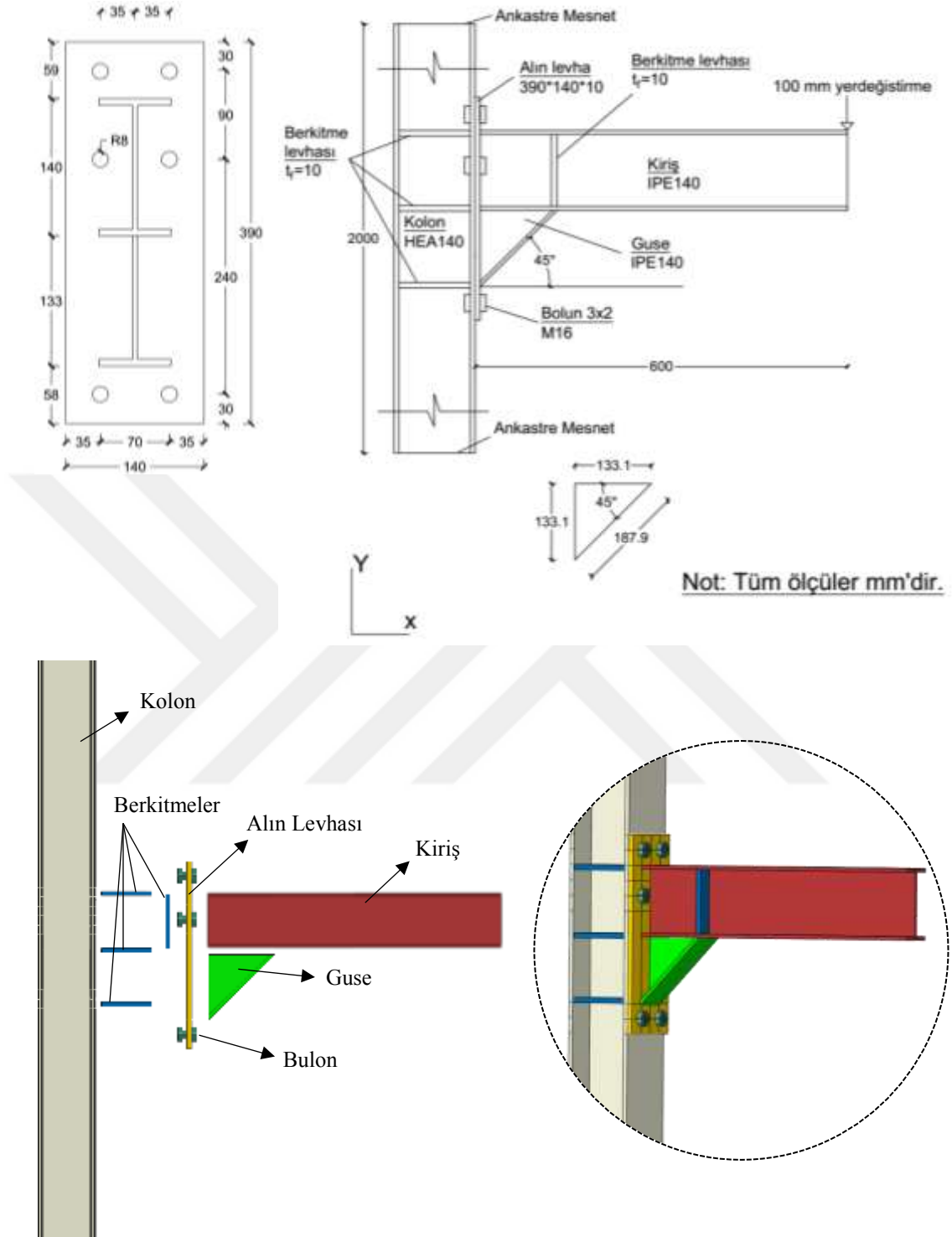
4.1.1. Birleşim elemanlarının geometrik özellikleri



Şekil 4.1. (a) HEA140 Kolon Kesiti, (b) IPE140 Kiriş Kesiti, (c) Alın Levha, (d) M16 Bulon, (e) Kolon Berkitmesi, (f) Diyagonal Berkitme, (g) IPE140 Guse Kesiti, (h) Kiriş Berkitmesi (Şekil Ölçeksizdir).



Şekil 4.2. (a) Kolon, (b) Kiriş, (c) Alın Levha, (d) Guse, (e) Diyagonal Berkitme, (f) Kolon Berkitmesi, (g) M16 Bulon, (h) Kiriş Berkitmesinin sonlu eleman modellerinin görünümü (Şekil Ölçeksizdir).



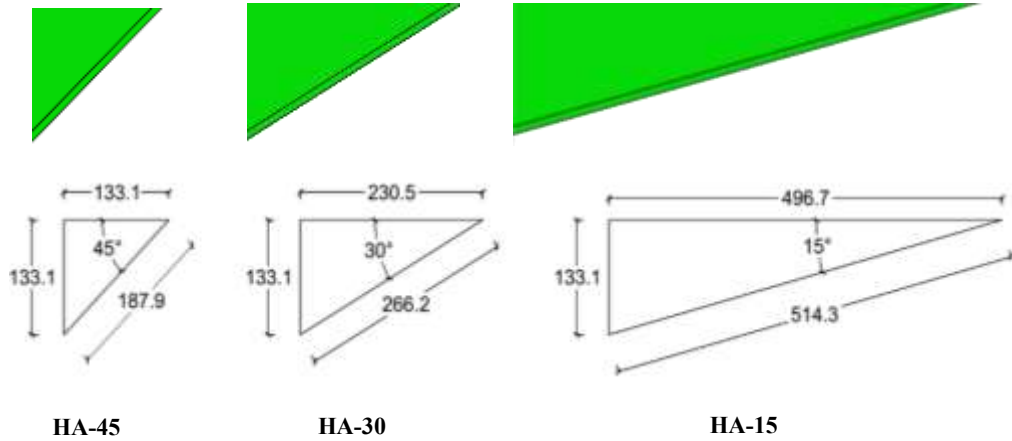
Şekil 4.3. Modellenen Guseli Kolon-kiriş Birleşimine Ayır Enkesit, Boykesit ve Bileşenlerin Detayları

4.1.2. Analiz modelleri

Bu çalışmada; 15, 30 ve 45 dereceli üç ana gruptan oluşan analiz modelleri oluşturulmuştur. Her guse açısı için 6 farklı konuma yerleştirilen berkitme levhaları ve 3 referans model belirlenerek toplamda 21 farklı tip guseli bileşim tasarlanmıştır.

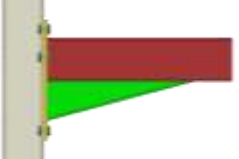
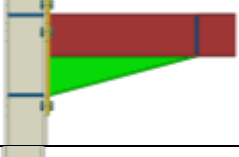
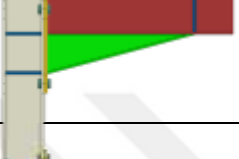
Analiz modellerinin sayısının fazla olmasından dolayı çalışma kapsamında daha kolay anlaşılması için kodlama ve isimlendireme yapılmıştır. Tablo 4.1.'de 15 dereceli açığa sahip guseli birleşim analiz modelleri, Tablo 4.2.'de 30 dereceli açığa sahip guseli birleşim modelleri ve Tablo 4.3.'te ise 45 dereceli guseli birleşim modellerine ait detaylar verilmiştir. Örnek olarak HA-45-3 analiz modelinin isimlendirme açılımına bakıldığında, HA guseyi, 45 guse açısını ve 3 ise o gruptaki modelin sırasını göstermektedir.

Guse derinliği tüm modeller için yaklaşık olarak kiriş derinliğine eşit bir şekilde seçilmiştir. Guse uzunluğu açığa göre değişmekte olup, bu çalışmada şekil 4.4.'te gösterildiği gibi üç farklı açı için farklı guse uzunlukları seçilmiştir.

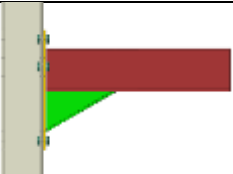
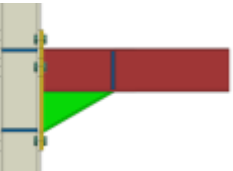
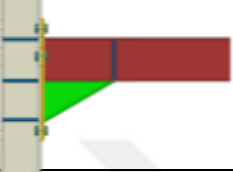
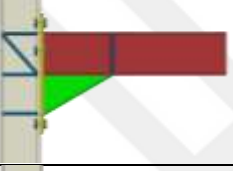
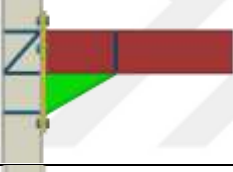
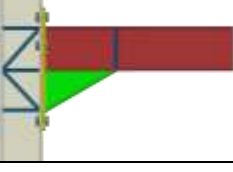


Şekil 4.4. Kullanılan Uç Farklı Guse Açısı

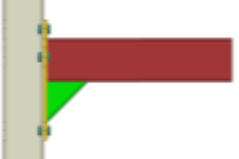
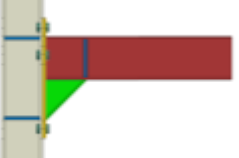
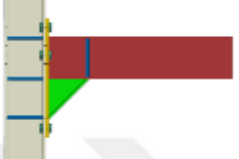
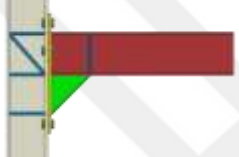
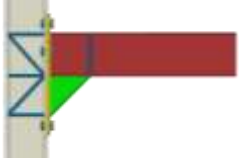
Tablo 4.1. 15 Dereceli Deney Modellerin Adları ve Açıklamaları

Analiz Modeli	Model Açıklaması	Model Adı
	15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-1
	Çift Paralel Berkitmeli 15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-2
	Üç Paralel Berkitmeli 15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-3
	Üç Paralel ve N Berkitmeli 15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-4
	Üç Paralel ve Ters N Berkitmeli 15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-5
	Üç Paralel ve Ters K Berkitmeli 15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-6
	Üç Paralel ve K Berkitmeli 15 Dereceli Guseli Birleşim	HA-15-7

Tablo 4.2. 30 Dereceli Deney Modellerin Adları ve Açıklamaları

Analiz Modeli	Model Açıklaması	Model Adı
	30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-1
	Çift Paralel Berkitmeli 30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-2
	Üç Paralel Berkitmeli 30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-3
	Üç Paralel ve N Berkitmeli 30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-4
	Üç Paralel ve Ters N Berkitmeli 30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-5
	Üç Paralel ve Ters K Berkitmeli 30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-6
	Üç Paralel ve K Berkitmeli 30 Dereceli Guseli Birleşim	HA-30-7

Tablo 4.3. 45 Dereceli Deney Modellerin Adları ve Açıklamaları

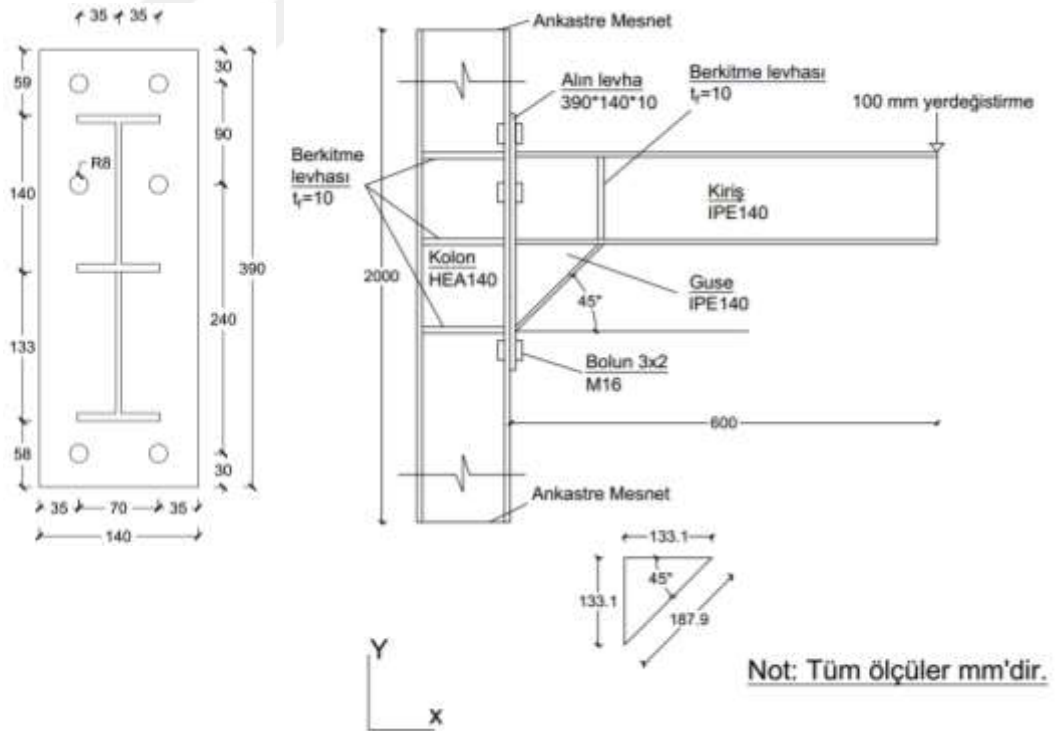
Analiz Modeli	Model Açıklaması	Model Adı
	45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-1
	Çift Paralel Berkitmeli 45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-2
	Üç Paralel Berkitmeli 45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-3
	Üç Paralel ve N Berkitmeli 45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-4
	Üç Paralel ve Ters N Berkitmeli 45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-5
	Üç Paralel ve Ters K Berkitmeli 45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-6
	Üç Paralel ve K Berkitmeli 45 Dereceli Guseli Birleşim	HA-45-7

4.1.2.1. Üç paralel berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli (HA-45-3)

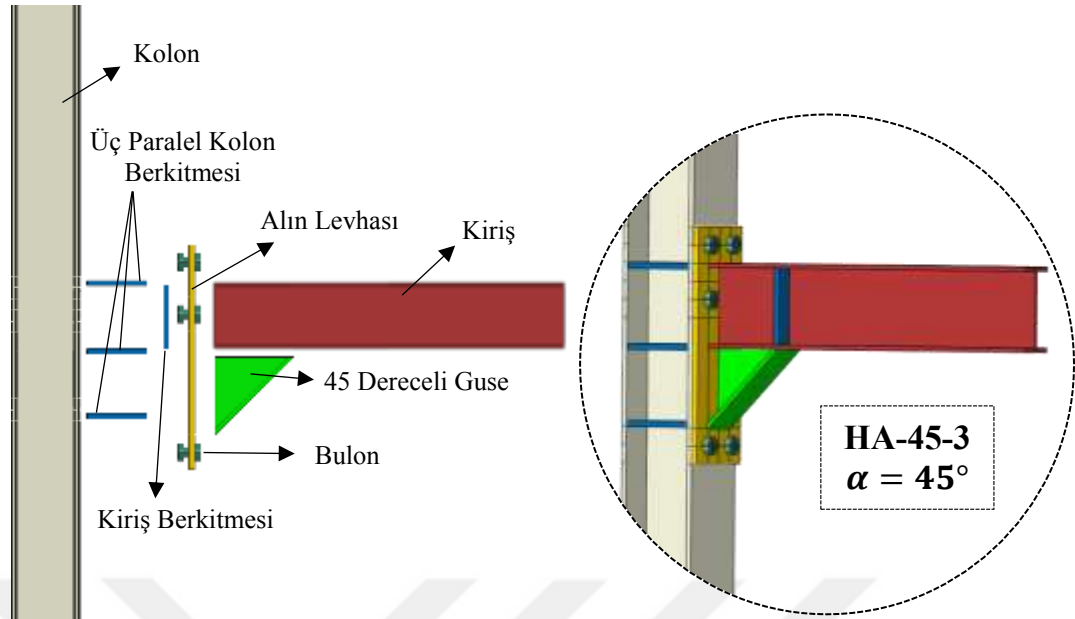
Daha önce belirtildiği gibi; kolon gövde panelini etkileyen yatay kesme kuvveti genellikle en kritik durumdur. Birleşimdeki panel bölgesinin dayanımını artırmak için birçok yöntem vardır. Genel olarak bu bölgeyi kesme kuvvetine karşı güçlendirmek için SCI ve Eurocode 3 standartları berkitme ve takviye levhaları önermektedir.

Sonlu eleman modellemesinde tüm modeller için, ilk önce alın levhalı moment aktaran guseli bir birleşim oluşturmuştur. Güçlü kolon zayıf kiriş ilkesine uygun olarak kolon için HEA140 ve kiriş için IPE140 profilleri seçilmiştir. Kirişin kolona bağlandığı uç bölgesi genişletilmiş bir alın levhaya kaynatılarak ve kirişin altı guse ile güçlendirildikten sonra bulonlar yardımıyla kolona bağlanmıştır. Birleşimdeki guse kesitinin kalınlığı ve başlık genişliği kiriş profili ile aynı ölçülere sahiptir.

Bu modelde kolon panelindeki çekme ve basınç bölgelerinde Şekil 4.5.'te gösterildiği gibi üç paralel düz çekme ve basınç berkitmeleri kullanılmıştır. Çekme berkitmeleri, kolon başlığının eğilme dayanımını ve kolon gövdesinin kesme dayanımını artırmaktadır. Ayrıca basınç berkitmeleri, kolon gövdesinin basınç dayanımını artırmaktadır. Basınç ve çekme berkitmeleri SCI yönetmeliğinde önerildiği gibi kolon gövdesinin her iki tarafına simetrik olarak yerleştirilmiştir. Şekil 4.6.'da HA-45-3 analiz modeli için oluşturulan sonlu eleman modeli verilmiştir.



Şekil 4.5. HA-45-3 Modeline Ait Birleşim Bölgesinin Detayları

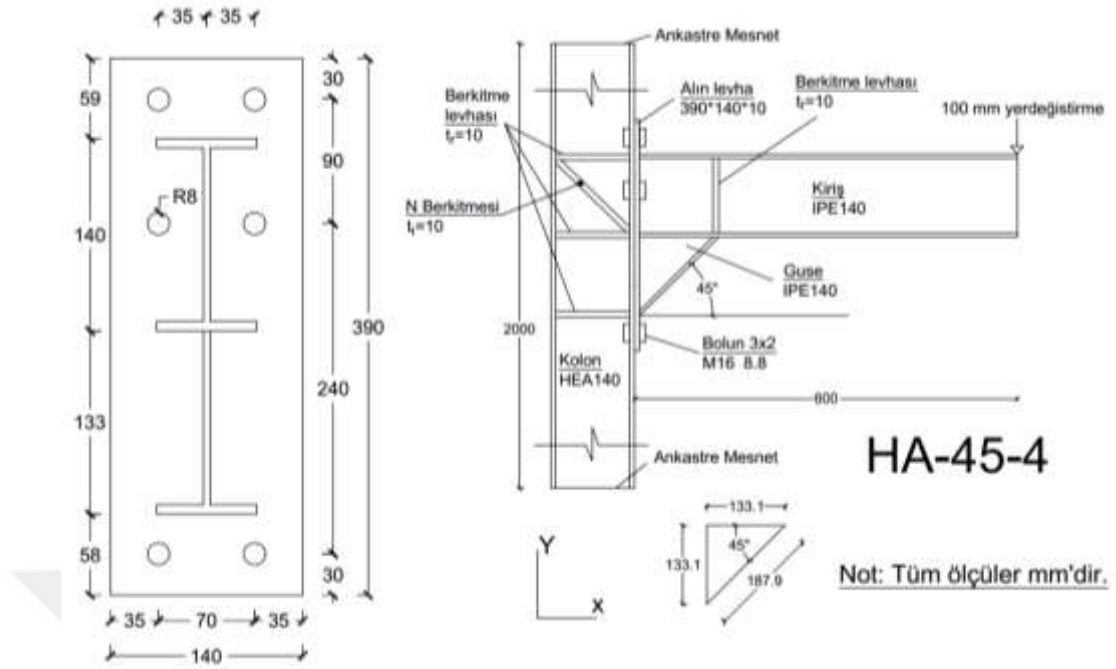


Şekil 4.6. HA-45-3 Modeline Ait Oluşturulmuş Sonlu Eleman Modeli

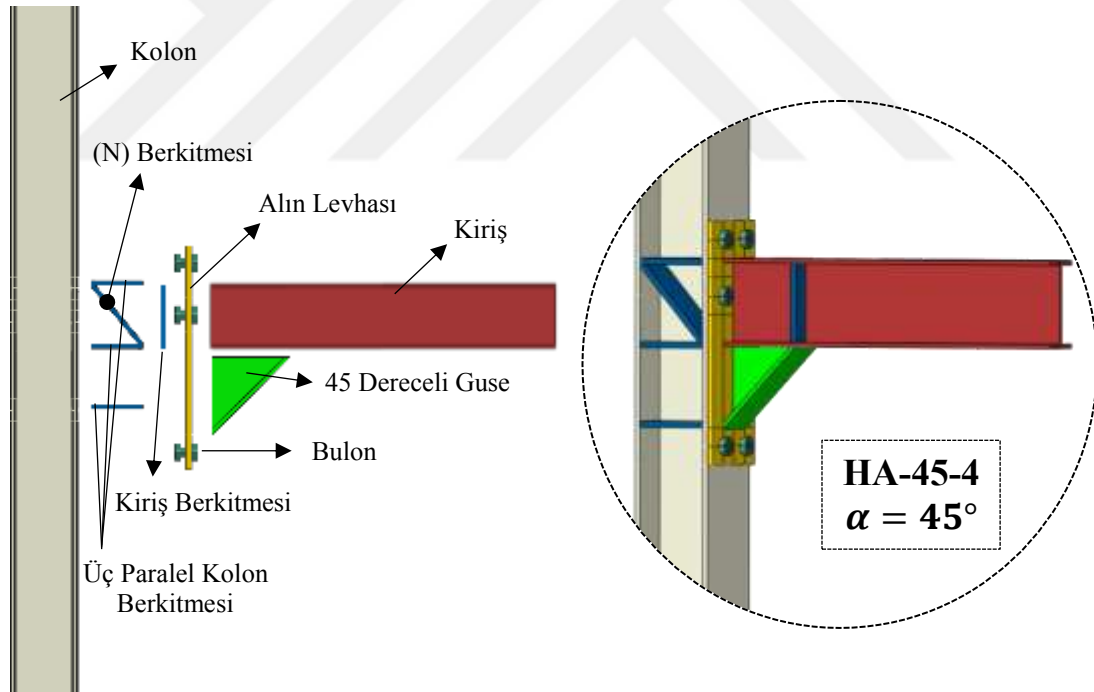
4.1.2.2. Üç paralel ve N berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli (HA-45-4)

Bu modelde SCI ve Eurocode 3 standartlarında önerilen N berkitme tipi kolon gövdesinin her iki tarafında simetrik olarak kullanılmıştır. N berkitmeli birleşim oluşturulurken genellikle diyagonal bir berkitme kolonun iki başlık arasında çapraz bir şekilde yerleştirilerek oluşturulmaktadır (Şekil 4.7.).

Diyagonal gövde berkitmeleri , gövde panelinin kesme dayanımını artırmakta ayrıca çekme ve/veya basınç berkitmeleri olarak işlev göstermektedir. Bir N berkitmesi (kolon gövde boyunca tek bir diyagonal, iki başlıkla bir N harfi oluşturur) genellikle, basınçta çalışacak şekilde yerleştirilir. Bulonlarda oluşacak sorunları önlemek için çekme etkisi gösterecek şekilde yerleştirildiğinde çekmede çalışır. Yatay bir basınç berkitmesi mevcut olmadığı sürece, bir basınç berkitmesi görevi görecektir şekilde tasarlanmalıdır (SCI). Analiz modelleri oluşturulurken tüm parçalar ayrı ayrı modellenmiştir. Bu bölümde sadece örnek olarak 3 modelin detayları anlatılmıştır. Şekil 4.7.'de anlatılan üç paralel ve N berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modelinin (HA-45-3) sonlu eleman model detayları verilmiştir.



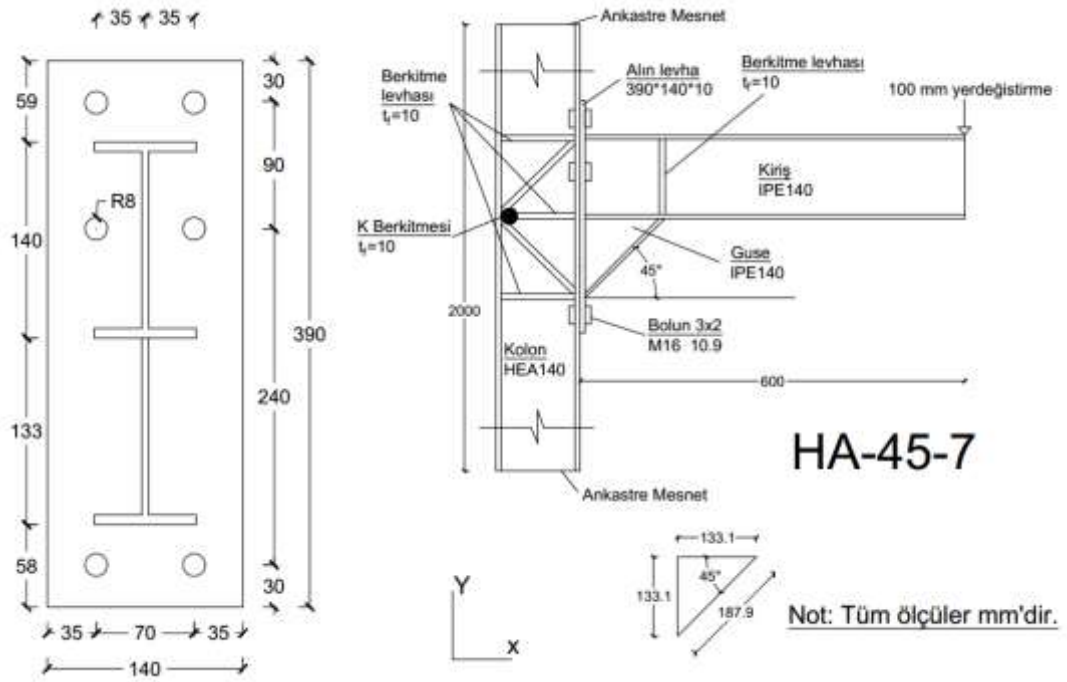
Şekil 4.7. HA-45-4 Modeline Ait Birleşim Bölgesinin Detayları



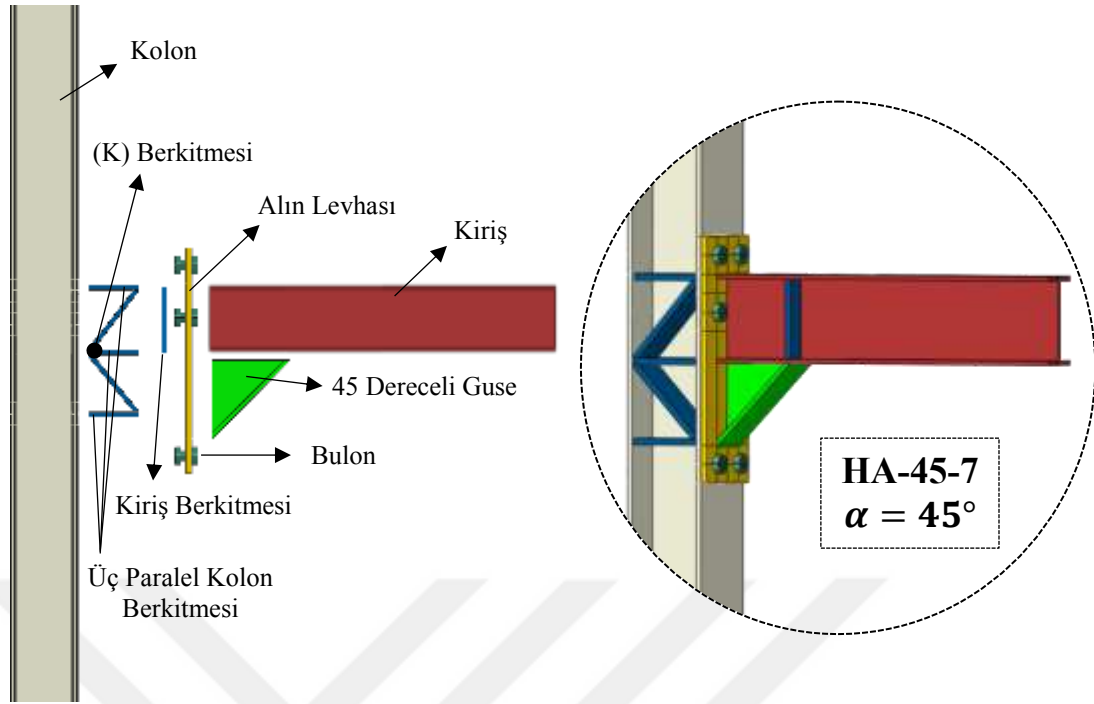
Şekil 4.8. HA-45-4 Modeline Ait Oluşturulmuş Sonlu Eleman Modeli

4.1.2.3. Üç paralel ve K berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli (HA-45-7)

K berkitmeleri genellikle panel bölgesindeki derinliğinin kolon derinliğine göre büyük olduğu durumlarda kullanılmaktadır. SCI ve Eurocode 3 standartlarında guseli birleşimlerin güçlendirilmesi için önerilen berkitme tiplerinden biri K berkitme tipidir. Bir K berkitmesinin alt yarısı, basınç berkitmesi olarak tasarlanmalıdır. Üst yarısı ise çekmede çalışır ve bir çekme berkitmesi olarak tasarlanmalıdır (SCI). K berkitme tipi çalışma kapsamında 3'ü düz 3'ü ise ters K olmak üzere toplamda 6 modelde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında K berkitmeleri genellikle üç paralel berkitme levhasının arasına iki diyagonal berkitmenin yerleştirilerek oluşturulan berkitme tipidir. Şekil 4.9.'da tasarlanan K berkitmeli HA-45-7 analiz modelinin detayları verilmiştir. Şekil 4.10.'da ise üç paralel ve K berkitmeli 45 dereceli guseli birleşim modeli modelinin (HA-45-7) sonlu eleman model detayları verilmiştir.



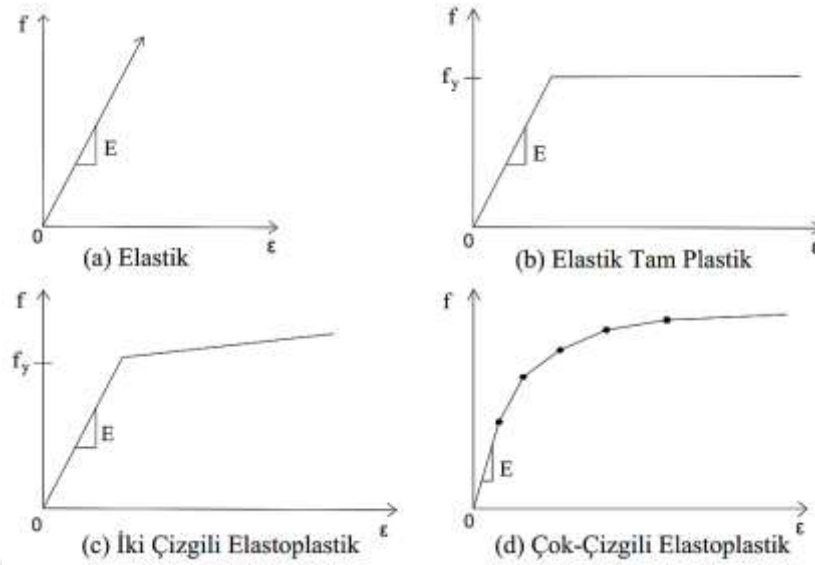
Şekil 4.9. HA-45-7 Modeline Ait Birleşim Bölgesinin Detayları



Şekil 4.10. HA-45-7 Modeline Ait Oluşturulmuş Sonlu Eleman Modeli

4.1.3. Kullanılan malzeme modeli

Abaqus, geniş bir malzeme kitaplığına sahip olması ile birlikte, deneysel veriler kullanılarak herhangi bir malzeme tanımlama yeteneğine sahiptir. Malzeme tanımının veri girişi, Şekil 4.11.'dekine benzer bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi biçimindedir. Bu gerilme-şekil değiştirme eğrileri, malzemenin akma noktasına kadar olan elastik davranışı, f_y 'yi ve sonrasındaki plastik davranışı tanımlar. Bu çalışmada, tüm parçalar için, Şekil 4.11. (d)'ye benzer bir malzeme modeli kullanılmıştır. Kullanılan çelik için farklı akma noktaları ve pekleşme değerleri seçilmiştir.



Şekil 4.11. Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrilerinin Tipik Modelleri, (Ho, 2010) (Marquz, 2014)

Çelik malzemeye ait gerilme-şekil değıştirme eğrisinin girişı Abaqus malzeme modülünde yapılabilmektedir. Abaqus'ta sabit bir birim sistemi olmadığından dolayı tüm girdi ve çıktılar tasarım aşamasından başlayıp modelleme, malzeme tanımlaması, sınır şartları, yükleme, analiz ve veri çıktısına kadar aynı birim sistemi kullanılmalıdır.

Malzemenin elastik aralığı, Young modülü ve Poisson oranı ile Elastiklik sekmesi altında tanımlanır. Malzeme tanımının plastik kısmı, Mekanik sekmesi altındaki Plastisite seçeneğinde girilir. Bu aynı zamanda, kullanıcının, akma noktasının ötesinde, şeklideğiştirme ve pekleşme tipini tanımlayabileceği konumdur. Çalışma kapsamında Abaqus'a nihai malzeme dayanım değerleri tanımlanarak birleşimin bu dayanım ötesindeki değerleri göçme modu olarak kabul edilmiştir (Ruffley 2011).

Laboratuvarda bir gerilme-şekil değıştirme eğrisi elde etmek için, bir malzeme numunesinin standart bir şekilde kesilmesi ve bir makine tarafından belirli bir oranda çekilmesi gerekir. Yük arttıkça numunede önceden tanımlanmış iki nokta arasındaki mesafe değışimi kaydedilir. Ölçülen mesafe (dl) ve orijinal uzunluk (l_0) arasındaki fark, mühendislik birim şekil değıştirmesi olarak adlandırılır. Eşleşen mühendislik gerilmesi uygulanan kuvvet (F), orijinal enkesit alanına (A_0) bölünerek tanımlanır. Malzeme özellikleri plastik bölgede azaltılmış kesit üzerindeki değerlerden

alınmalıdır. Büyük deformasyon durumları için, kesit alanında önemli bir azalma meydana geldiğinden gerçek malzeme deformasyonunu gösteren gerçek gerilme-şekil değiştirme ilişkisi dikkate alınmalıdır (Yussof ve ark., 2020). Bu nedenle liner olmayan sonlu elemanlar analizinde mühendislik gerilme-şekil değiştirme eğrisi yerine gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrileri kullanılmaktadır. Mühendislik gerilme-şekil değiştirme eğrisi 4.1-4.7 arasında verilen bağlantılar yardımıyla gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisine dönüşebilmektedir. Burada, σ_{nom} mühendis gerilmesi, ε_{nom} mühendislik birim şekil değiştirmesi, σ_t gerçek gerilme ve ε_t ise gerçek birim şekil değiştirmeyi ifade etmektedir (Abaqus 2014).

Mühendislik ve gerçek gerilme, birim şekil değiştirme arasındaki ilişkiler:

$$\text{Mühendislik Gerilme: } \sigma_{nom} = \frac{F}{A_0} \quad (4.1)$$

$$\text{Mühendislik Birim şekil değiştirme: } \varepsilon_{nom} = \frac{dl}{l_0} \quad (4.2)$$

$$\text{Gerçek Gerilme: } \sigma_T = \frac{F}{A} \quad (4.3)$$

$$\text{Gerçek Birim şekil değiştirme: } \varepsilon_T = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) \quad (4.4)$$

$$\sigma_T = \sigma_{nom}(l + \varepsilon_{nom}) \quad (4.5)$$

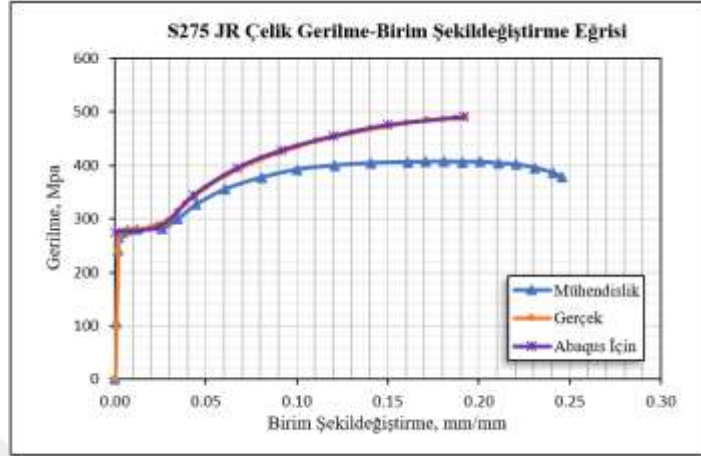
$$\varepsilon_T = \ln(l + \varepsilon_{nom}) \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_T^{pl} = \varepsilon_T - \frac{\sigma_T}{E} = \ln(l + \varepsilon_{nom}) - \frac{\sigma_T}{E} \quad (4.7)$$

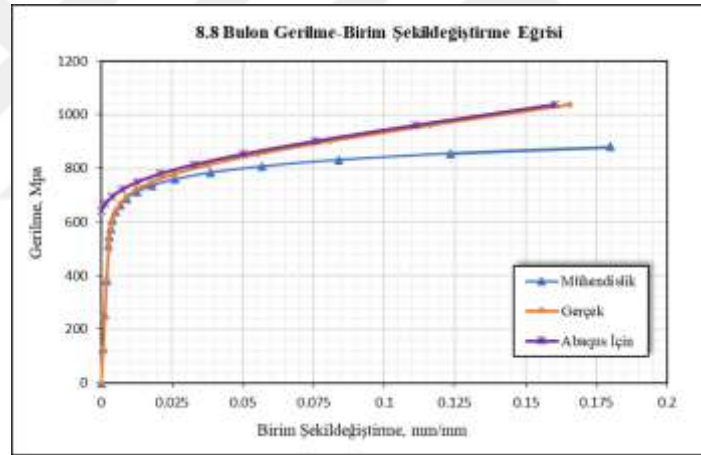
Kullanılan M16 8.8 yüksek mukavemetli bulonlar için elastoplastik bir gerilme-şekil değiştirme ilişkisi tanımlanmıştır (Bull. ark, 2015). Alın Levha, kiriş, guse ve kolon malzemesi için Nasery (2019) çalışmasında doğrulanan ve kullanılan elastoplastik gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılmıştır. (2009).

Şekil 4.12. ve 4.13.'te S275 JR çelik ve 8.8 bulon malzemesinin mühendislik, gerçek ve Abaqus için kullanıla gerilme-şekil değiştirme eğrileri gösterilmektedir. Tüm

bileşenler için elastisite modülü 200 GPa ve Poisson oranı 0.3 olarak alınmıştır. Tüm gerilim-gerinim ilişkileri,



Şekil 4.12. Mühendislik, Gerçek ve Abaqus İçin Kullanılan S275JR Çelik Gerilme- Birim Şekil değıştirme Eğrisi



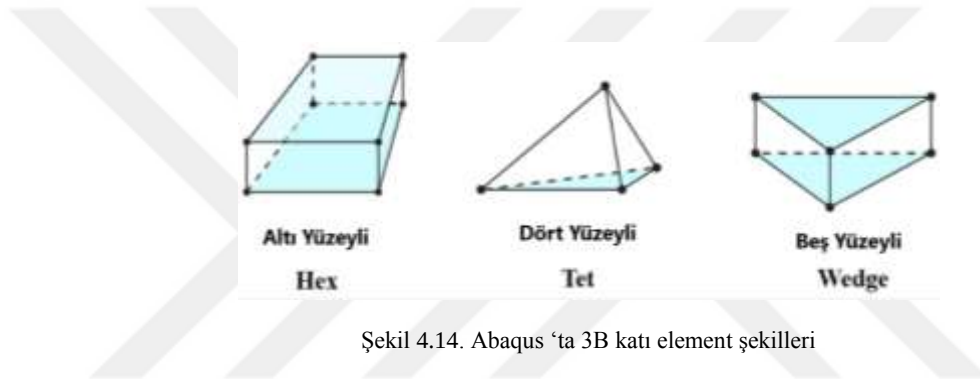
Şekil 4.13. Mühendislik, Gerçek ve Abaqus İçin Kullanılan 8.8 Bulon Gerilme - Birim Şekil değıştirme Eğrisi

4.1.4. Sonlu elemanlar ağ sıklığı ve eleman tipleri

Bölüm 3'te bahsedildiği gibi, oluşturulan modelin sonlu eleman ağ sıklığı (mesh), sonlu eleman modellemesinin en önemli kısımlarından biridir. Seçilen eleman türleri, yoğunluk ve şekilleri düzgün bir biçimde tanımlama yeteneği, yalnızca işin tamamen analiz edilip edilmeyeceğini değil, aynı zamanda sonuçların hızını ve doğruluğunu da belirler.

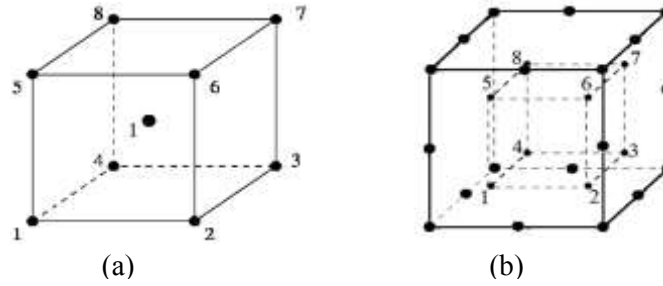
Abaqus 'un güçlü araçlarından biri, eleman kütüphanesinden istenilen eleman tipini seçme olanağını sağlamaktır. Abaqus, katı elemanlar, kabuk elemanlar ve kiriş elemanları gibi çeşitli eleman türlerini kullanıcılara sunmaktadır. Bu çalışmada, tüm analiz modellerinde Ashakul (2004) ve Ruffley (2011) tarafından da önerilen üç boyutlu katı elemanları kullanılmıştır.

Modellerin tamamında doğrusal olmayan geometrik ve malzeme davranışına izin veren altı yüzeyli eleman şekline sahip katı veya sürekli eleman tipi olan C3D8R (birinci dereceden azaltılmış entegrasyon sürekli elemanı) elemanı kullanılmıştır (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Abaqus 'ta 3B katı element şekilleri

İndirgenmiş entegrasyon, sayısal bir entegrasyon türüdür. Bu integral, gauss noktaları olarak bilinen belirli noktalarda hesaplanan belirli rijitlik değerlerin toplamı olarak tanımlanır. Gauss noktalarının sayısı arttıkça sonuçların doğruluğu da artmaktadır. Abaqus'ta iki tür indirgenmiş entegrasyon elemanı vardır. Birincisi, 1 azaltılmış entegrasyon noktasına sahip sekiz düğümlü elemanlar (C3D8R) ve ikincisi ise 2x2x2 olmak üzere toplamda 8 adet azaltılmış entegrasyon noktalarına sahip yirmi düğümlü elemanlar (C3D20R) (Şekil 4.15.).



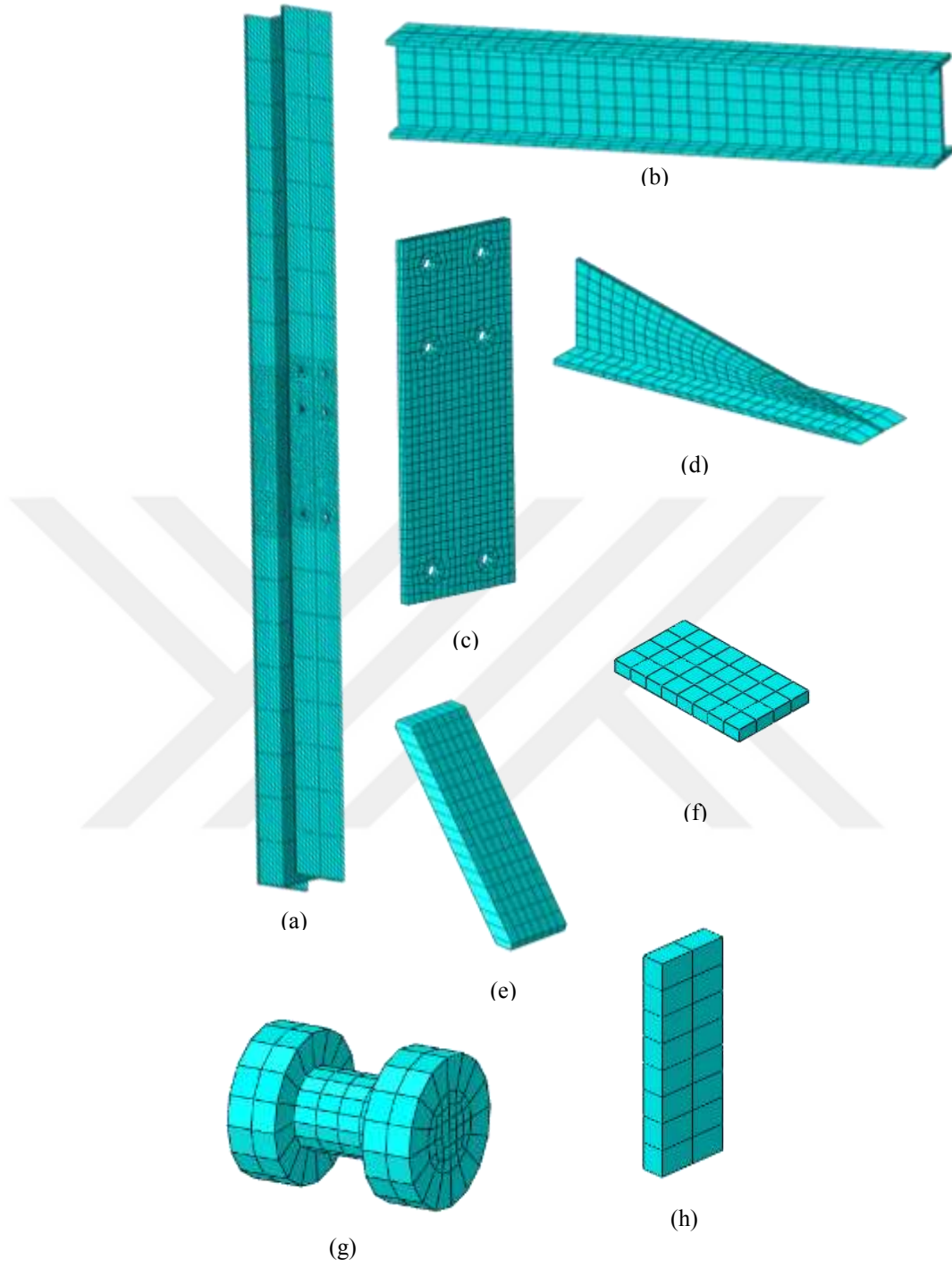
Şekil 4.15. (a) Katı C3D8R Eleman Tipi ve (b) Katı C3D20R Eleman Tipi (ABAQUS 6.14)

Sonuçlar entegrasyon noktasında/noktalarında hesaplanır ve daha sonra şekil fonksiyonları aracılığıyla diğer noktalara enterpolasyon edilir. İndirgenmiş entegrasyonu nedeniyle, C3D8R elemanları hesaplama süresini azaltır ve genellikle yüksek deformasyonların beklendiği simülasyonlar ve darbe analizlerinde kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar ağ sıklığı (mesh) boyutu için yakınsama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu; alın levha ve kolon berkitmeleri için 10mm, bulonlar için 5mm, kiriş ve guse için 20mm, kiriş berkitmesi için 15mm, kolonun birleşim bölgesindeki yerler için 10mm ve kolonun birleşim bölgesi haricinde kalan yerler için 100mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16.).

Temas halindeki tüm parçalar arasındaki normal ve teğetsel temas etkileşimleri tanımlanmıştır. Temas sonrası ayrılmaya izin veren sert temas (hard-contact) özelliği ile normal temas koşulları oluşturulmuştur. Bu sert temas, bağımlı düğümlerin ana yüzeye herhangi bir şekilde girmesine izin vermemektedir. Teğetsel davranış için ise temas yüzeylerine bağlı olarak 0,4'lük bir sürtünme katsayısı tanımlanmıştır (Shi, ve ark. 2007).

Kaynak bölgelerinin modellenmesi için Abaqus 'ta Tie olarak bilinen bir ara eleman tipi kullanılmıştır. Bu eleman, bağlı olan yüzeyler arasındaki hareketi tamamen birbirine aktarabilmektedir.



Şekil 4.16. (a) Kolon, (b) Kiriş, (c) Alın Levha, (d) Guse, (e) Diyagonal Berkitme, (f) Kolon Berkitmesi, (g) M16 Bulon ve (h) Kiriş Berkitmesi sonlu eleman ağ sıklığı ve modelleri (Şekil Ölçeksizdir).

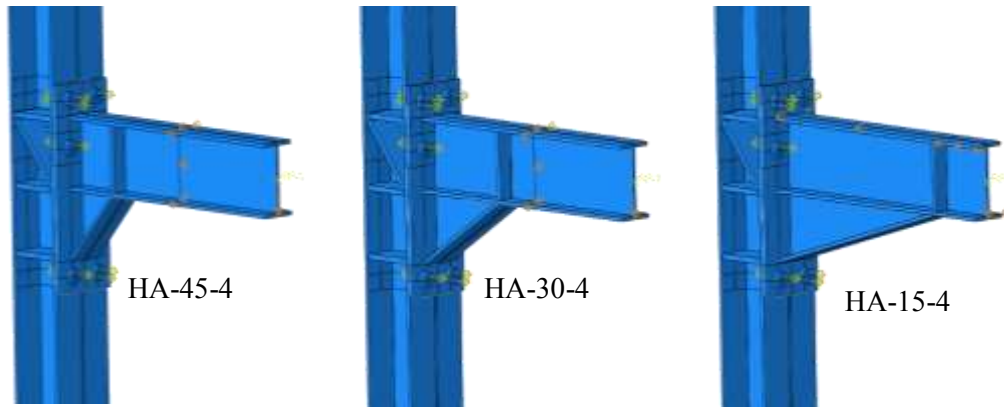
4.1.5. Yükleme koşulları, sınır şartları ve analiz tipi

Yükün uygulanacağı kirişin ucunda bir yükleme platformu tanımlanmıştır. Kinematik bir bağlantı elemanı kullanılarak, kirişin ucundaki tüm düğümler Şekil 4.17.'de gösterildiği gibi tek bir noktaya bağlanmıştır. Yükleme noktasında yerel göçmeye neden olmamak için kinematik bağlantı elemanı yardımıyla kirişin kenarındaki düğüm noktalarının serbestlik dereceleri referans noktasına bağlanmıştır.



Şekil 4.17. Kiriş Ucundaki Kinematik Bir Bağlantı Kısıtlaması

Büyük yer değiştirmelerle herhangi bir düzlem dışı hareketi önlemek için, kirişe, Şekil 4.18.'de gösterildiği gibi yanal çaprazlamayı temsil etmek üzere ikinci bir yer değiştirme sınır koşulu uygulanmıştır.

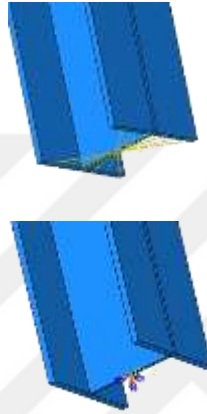


Şekil 4.18. Modellerin Kiriş Kısımındaki Düzlem Dışı Kısıtlama Tipleri

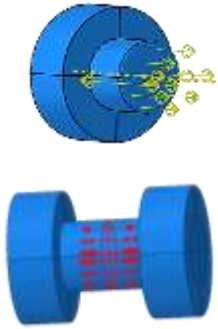
Kolonun her iki ucunda birer tane olmak üzere iki kinematik bağlantı elemanı uygulanmış ve referans noktaları ile sınırlandırılmıştır (Şekil 4.19.). Tüm analizlerde, yükleme kiriş ucuna düşey yönde 100mm yerdeğiştirme verilerek uygulanmıştır. Analiz sonucu hesaplanan mesnet tepkilerin değerleri kolon ucundaki mesnet

bölgelerinden elde edilmiş ve yük-deplasman eğrileri çizilmiştir. Çözümleme sonrası oluşabilecek plastik şekil değiştirmelerden dolayı oluşabilecek geometrik duraysızlığı elde edilebilmek için Abaqus'ta mevcut olan NLGEOM özelliği kullanılmıştır.

Analizin uygulanması ve sonlu eleman modellemesinin çözümü iki yükleme adımından oluşmaktadır. Birinci adımda Şekil 4.20.'de gösterildiği gibi bulonlara uygulanan 88kN öngerme kuvveti dikkate alınarak çözümlenmiştir.



Şekil 4.19. Kolon Ucundaki Ankastre Mesnet

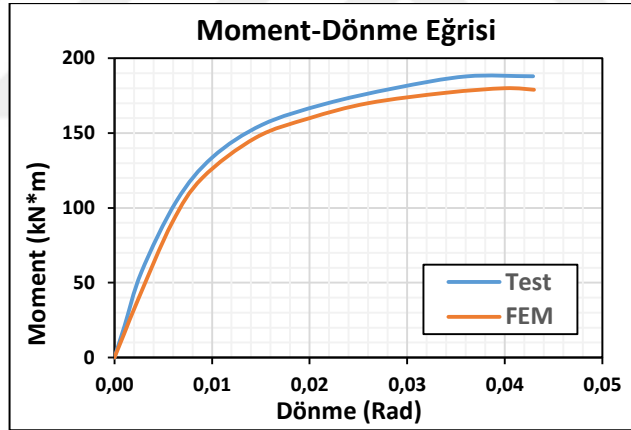


Şekil 4.20. Bulonlara Uygulanan Öngerme Kuvveti

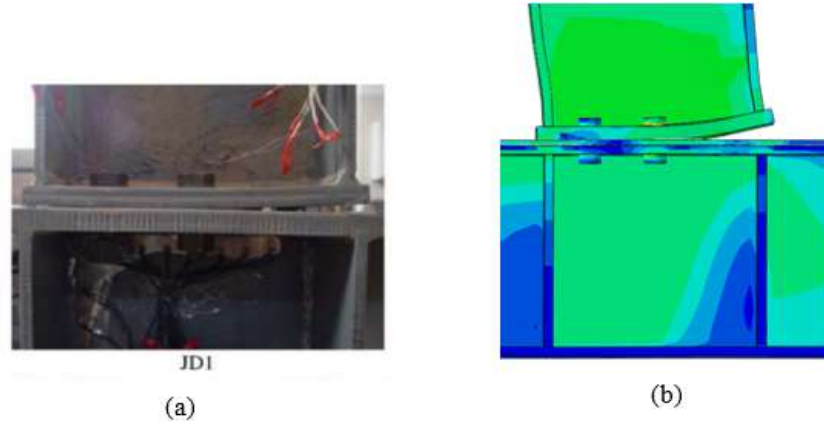
Birinci yük adımı çözüldükten sonra, çözüm datası üzerine birleşim bölgesinin performansını inceleyebilmek için kiriş ucuna uygulanan 100mm düşey yer değiştirme altında çözümlemeler yapılmıştır. Böylece analizlerde hem ön germe kuvveti hem de düşey yer değiştirme yükü dahil edilmiştir.

4.1.6. Doğrulama çalışması

Çalışma kapsamında kullanılan malzeme modeli ve sonlu eleman tipinin kontrol edilmesi amacıyla bir doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunun için Shi ve ark., 2007 tarafından yapılan JD1 laboratuvar numunesi tekrar modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle Abaqus programında analiz edilmiştir. Shi ve ark., 2007 çalışmasında kolon kiriş birleşim bölgesindeki alın levhası ve berkitmelerinin birleşim bölgesindeki moment-dönme davranışına etkilerini irdelemiştir. Doğrulama çalışması kapsamında yapılan analiz sonucunda elde edilen moment-dönme eğrisi Şekil 4.21.'de verilmiştir. Shi ve ark., 2007 tarafından yapılan -deneysel çalışma ile doğrulama çalışması arasında %5'lık bir farkın olduğu ve bu değer de kabul edilebilir bir yakınsaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Doğrulama çalışması kapsamında yapılan analiz sonucu gözlenen birleşim bölgesi davranışı ile deneysel çalışma sonucu gözlenen birleşim bölgesi davranışının benzerliği Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Kolon Kiriş Bölgesinde Meydan gelen Dönme Mukayesesi



Şekil 4.22. (a) JDI Laboratuvar Numunesi ve (b) SEY'yle Analiz Edilen Model

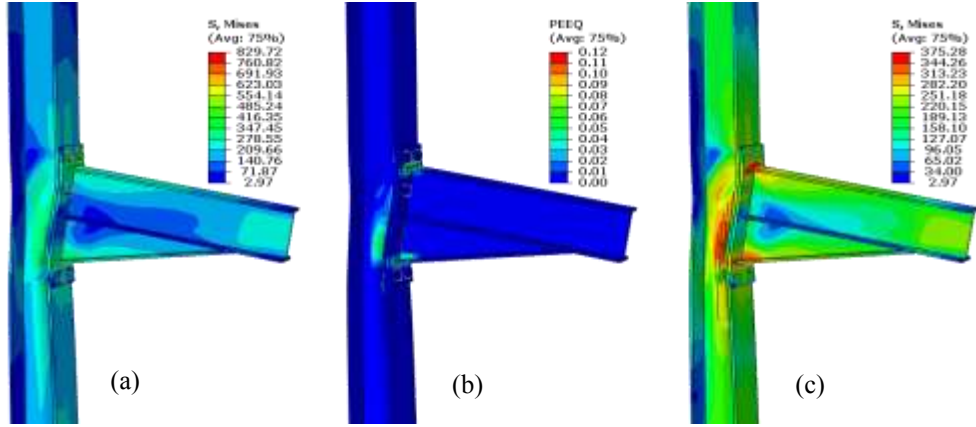
4.2. Bulgular ve İrdellemeler

Çalışmanın bu bölümünde sonlu elemanlar yöntemine dayalı Abaqus programında yapılan modellerin analizleri sonucu elde edilen Von Mises gerilmeleri, plastik şekil değiştirmeleri ve yük deplasman-eğrileri incelenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi çalışma kapsamında toplamda 21 adet sonlu eleman modeli analiz edilmiştir. Verilerinin çok fazla olmasından dolayı analiz sonuçlarının anlaşılabilir olması için modellerin karşılaştırması yapılırken guse açısı ve berkitme etkinliğine dayalı farklı gruplarda karşılaştırması yapılarak incelenmiştir.

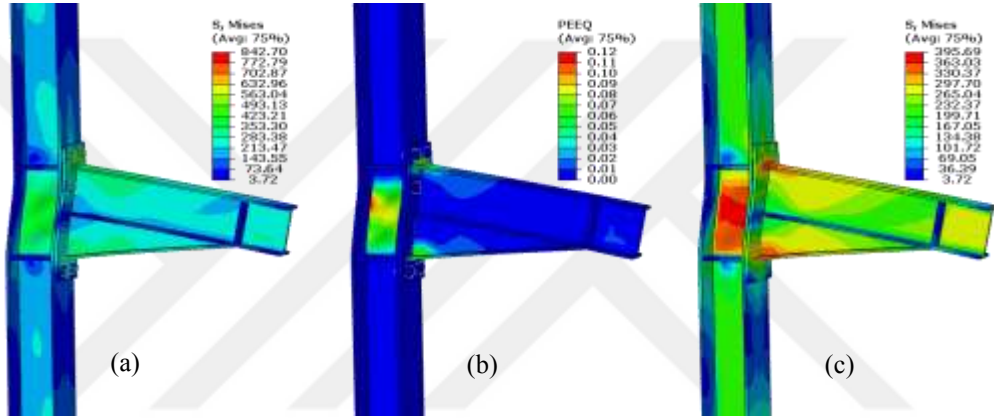
4.2.1. 15 dereceli guse açısına sahip modellerin berkitme etkinliğinin incelenmesi

Yapılan analizler sonucu, 15 dereceli guseli birleşimlerdeki berkitme levhalarının farklı yerleşim şekilleri için Von Mises gerilme dağılımları, plastik şekil değiştirme ve birleşim yük taşıma kapasiteleri elde edilmiştir.

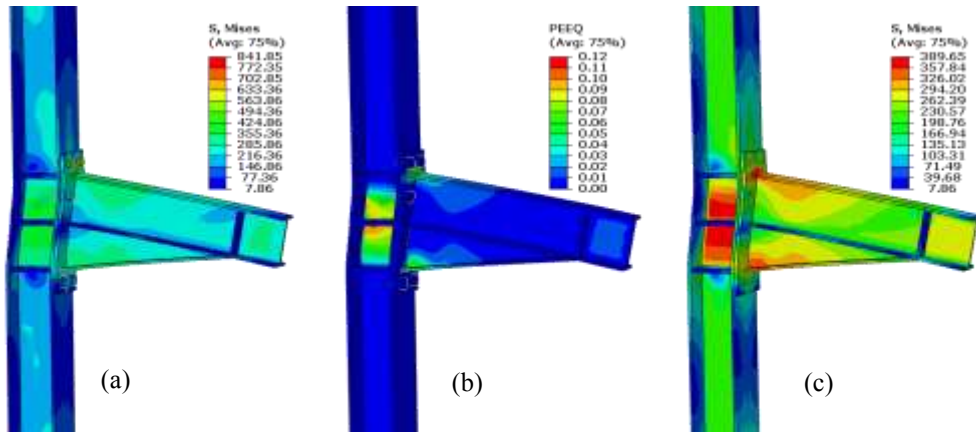
15 dereceli guse açısına ve farklı berkitme tiplerine sahip modellerin, kiriş uç noktasının 100 mm düşey deplasman yapması durumunda hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.22. - 4.28.'de verilmiştir.



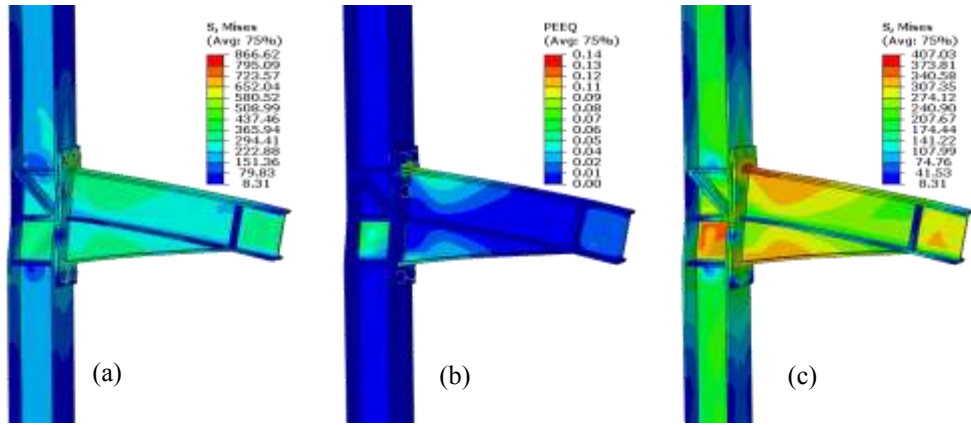
Şekil 4.23. HA-15-1 Modelinde Oluşan (a), (c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değiştirme



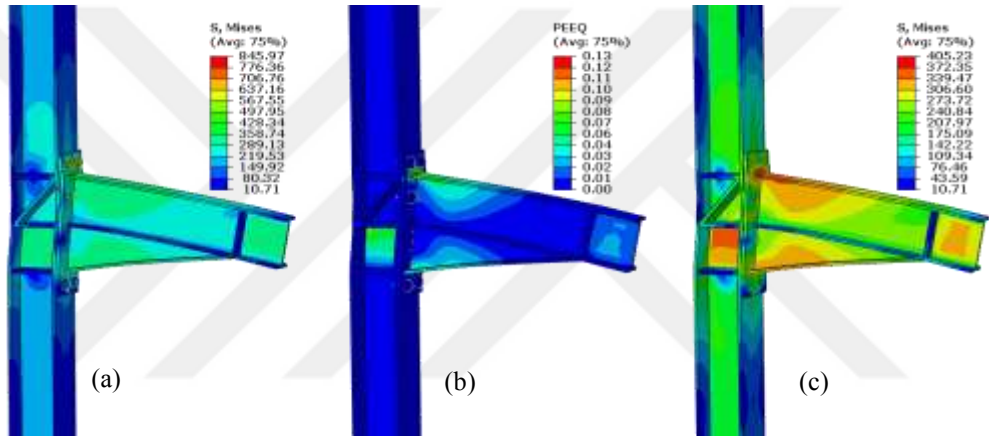
Şekil 4.24. HA-15-2 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değiştirme



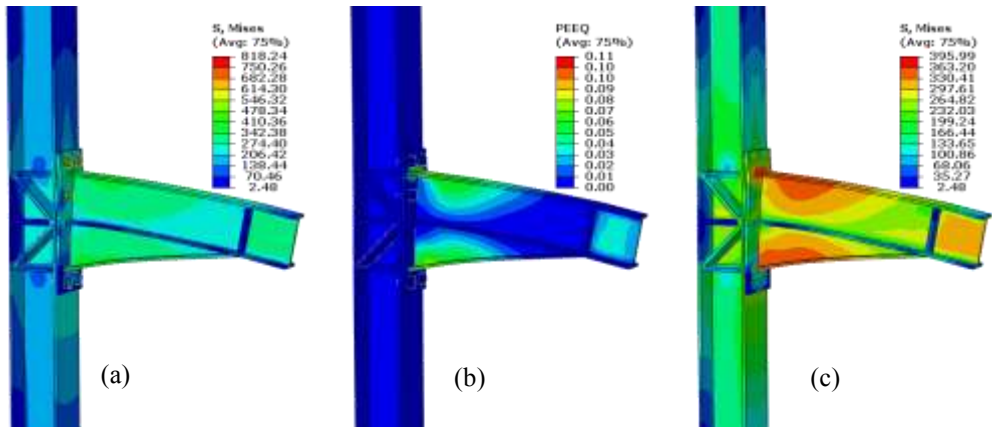
Şekil 4.25. HA-15-3 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değiştirme



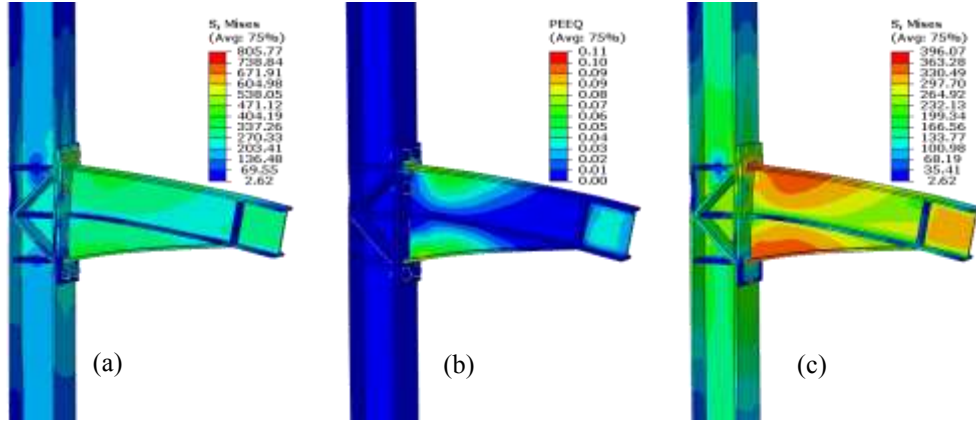
Şekil 4.26. HA-15-4 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



Şekil 4.27. HA-15-5 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



Şekil 4.28. HA-15-6 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



Şekil 4.29. HA-15-7 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme

Şekil 4.23. gösterildiği gibi 100mm düşey yerdeğiştirme yüklemesi sonucu HA-15-1 berkitmesiz modelinin alın levha, kolon başlık ve kolon panel bölgesinde eğilmeler ve burkulma meydana gelmiştir. Alın levha eğilmesi ve kolonun gövdesindeki burkulma HA-15-2 çift paralel berkitmeli modelinde daha az görünürken, kolonun başlığındaki eğilme HA-15-1 modelindekinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, birleşimin panel bölgesi berkitmelerle güçlenmesinden ve daha güçlü davranmasında kaynaklandığı düşünülmektedir. HA-15-3 üç paralel berkitmeli modelin HA-15-2 modeline benzer bir davranış sergilerken, HA-15-3 modelindeki panel bölgesine eklenen bir tane fazla berkitme levhanın, HA-15-2 modeline göre, panel bölgesinin guse derinliğindeki burkulmayı önlenmiştir. HA-15-4 üç paralel ve N berkitmeli modelinde ise N berkitmenin eklenmesinden dolayı HA-15-2 ve HA-15-3 modellerindeki alın levha ve kolon başlık eğilmesi azalırken, guse derinliğindeki burkulma da oluşmuştur. HA-15-5 üç paralel ters N berkitmeli modelinde ise alın levha ve kolon başlık eğilmesi yeniden oluşurken, panel bölgesindeki burkulma sorunun ortadan kalkmıştır. Görüldüğü gibi HA-15-6 üç paralel ve ters K berkitmeli modelinde söz konusu olan panel bölgesindeki kolon gövdesinin ve başlığında oluşan eğilme ve burkulma birleşimin performansını etkilemeyecek kadar küçüktür. Ayrıca alın levhasındaki eğilme büyük oranda önlenmiştir. HA-15-7 üç paralel ve K berkitmeli modeli HA-15-6 modeline benzer bir davranış sergilerken, panel bölgesindeki kolon başlığının burkulmasının yeniden meydana gelmesi gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi, kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda bütün 15 dereceli guseli modellerde plastik şekil değiştirme birleşim bölgesinde ve kolon başlığının alın levhaya kaynaklandığı yerde meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise birleşim bölgesi

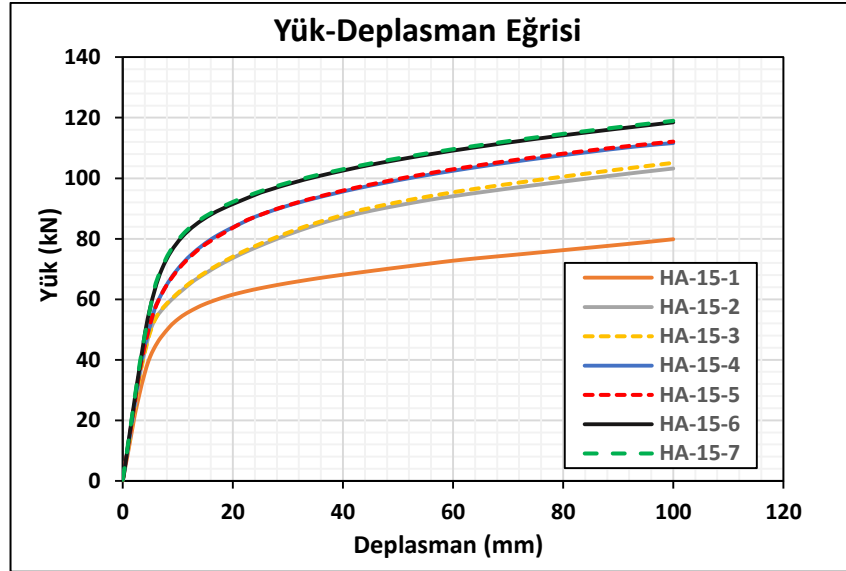
daha çok zorlandığı ve guseli kesitin daha fazla yük almasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi, 15 dereceli guse açısına sahip modellerde berkitmelerin sayısı arttıkça başka bir deyişle, panel bölgesi güçlendirildikçe gusenin daha fazla yük aldığı dolayısıyla birleşimin taşıma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Tablo 4.4.'te 15 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları sunulmuştur.

Tablo 4.4.'te görüldüğü gibi HA-15-4 üç paralel ve N berkitmeli modelindeki gerilme değerleri diğer modellere göre daha yüksek olduğu için, 15 dereceli modeller arasında en çok yük alan model olarak tanımlanabilir.

Tablo 4.4. 15 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-1	HA-15-2	HA-15-3	HA-15-4	HA-15-5	HA-15-6	HA-15-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	375,28	395,69	389,65	407,03	405,23	395,99	396,07
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,11	0,11
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	829,72	842,7	841,85	866,62	845,97	818,24	805,77
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,08	0,08	0,1	0,09	0,07	0,06
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	375,28	369,17	368,63	379,2	374,4	362,91	361,05
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,11	0,11

Şekil 4.30.'da görüldüğü gibi tüm berkitmeli guseli birleşimler referans olarak tanınan HA-15-1 berkitmesiz guseli birleşime göre daha iyi davranış ve daha yüksek yük taşıma kapasitesi sergilemiştir. Elde edilen verilere göre HA-15-2 ve HA-15-3, HA-15-4 ve HA-15-5, HA-15-6 ve HA-15-7 modelleri kendi aralarında benzer bir davranış sergilerken, referans olarak tanınan berkitmesiz modelle karşılaştırıldıklarında, yaklaşık olarak HA-15-2 ve HA-15-3 modelleri %27, HA-15-4 ve HA-15-5 modelleri %39 ve HA-15-5 ve HA-15-7 modelleri %49 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

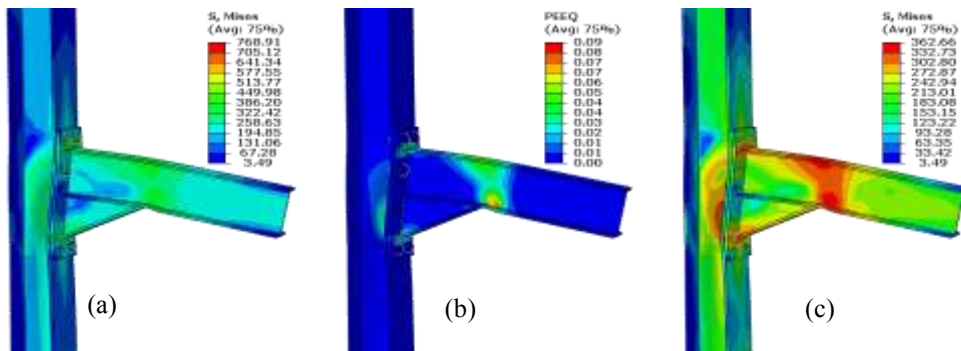


Şekil 4.30. 15 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

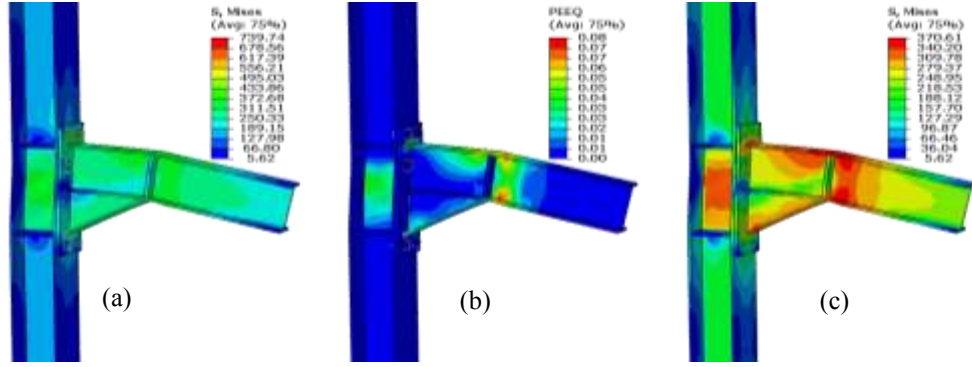
4.2.2. 30 dereceli guse açısına sahip modellerin berkitme etkinliğinin incelenmesi

Yapılan analizler sonucu, 30 dereceli guseli birleşimlerdeki berkitme levhalarının farklı yerleşim şekilleri için Von Mises gerilme dağılımı, plastik şekil değiştirme ve birleşim yük taşıma kapasiteleri elde edilmiştir.

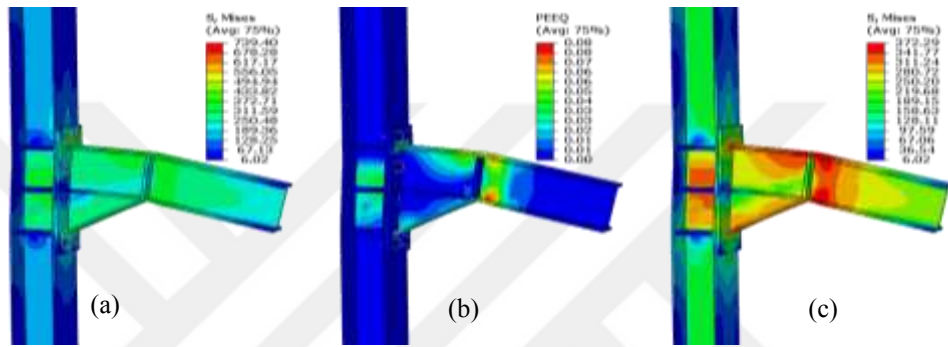
30 dereceli guse açısına ve farklı berkitme tiplerine sahip modellerin, kiriş uç noktasının 100 mm düşey deplasman yapması durumunda hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.31. - 4.37.'de verilmiştir.



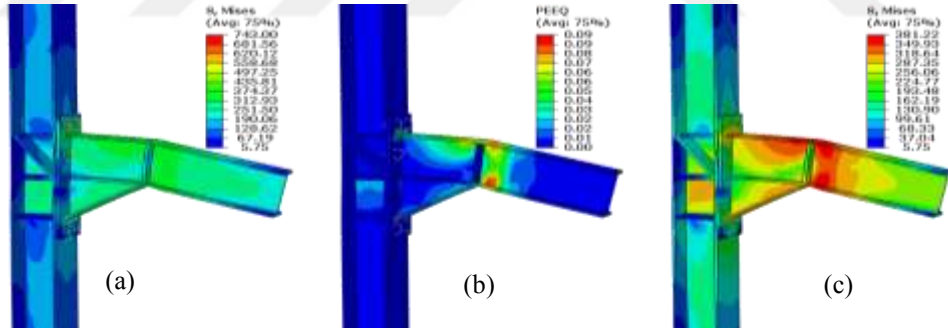
Şekil 4.31. HA-30-1 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değiştirme



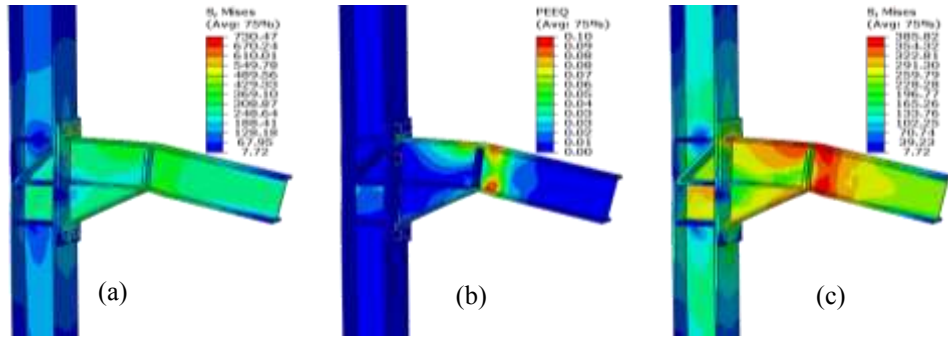
Şekil 4.32. HA-30-2 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değişirme



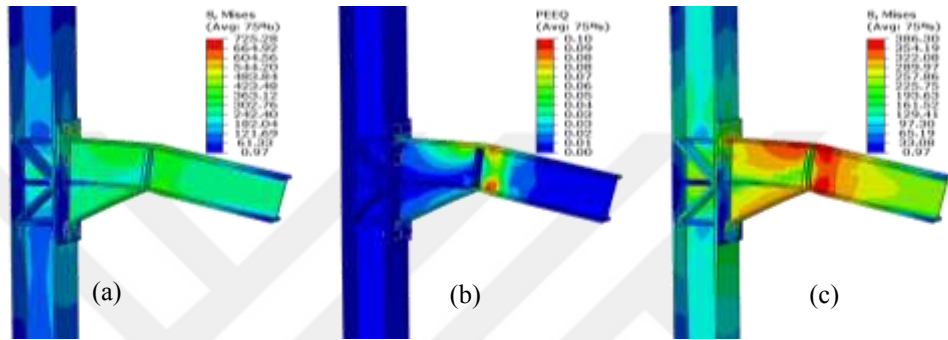
Şekil 4.33. HA-30-3 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değişirme



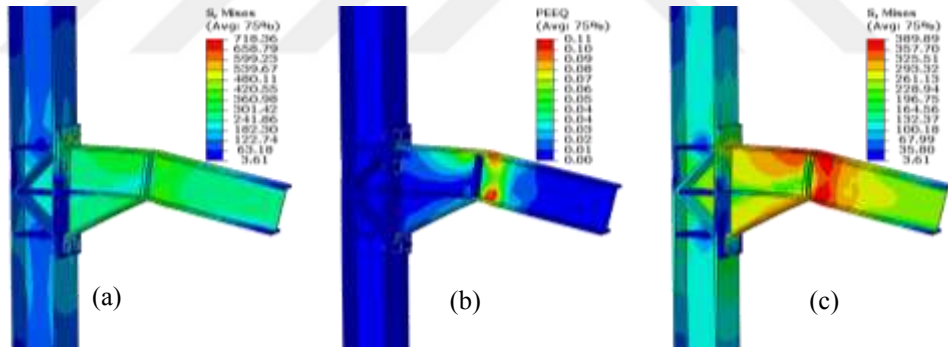
Şekil 4.34. HA-30-4 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değişirme



Şekil 4.35. HA-30-5 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değişirme



Şekil 4.36. HA-30-6 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değişirme



Şekil 4.37. HA-30-7 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekil değişirme

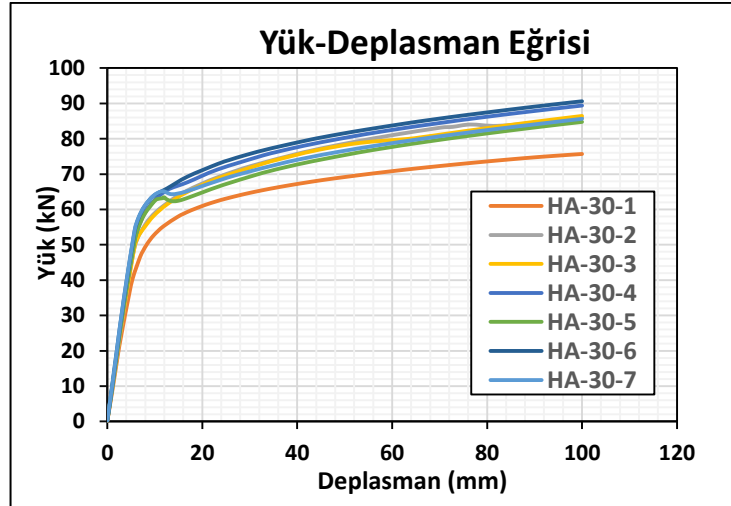
Şekil 4.31. – 4.37.’den görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-30-1 berkitmesiz modelinde alın levha, kolon başlık ve panel bölgesi uzunluğu kadar kolon gövdesinde eğilmeler ve büyük miktarda burkulma meydana gelmiştir. Alın levha eğilmesi ve kolonun gövdesindeki burkulma HA-30-2 çift paralel berkitmeli modelinde daha az görünürken, kolonun başlığındaki eğilme HA-30-1 modelindekinden daha büyük olarak gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise birleşimin panel bölgesi berkitmelerle güçlendirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. HA-30-3 üç paralel berkitmeli modelin HA-30-2 modeline benzer bir davranış sergilerken,

HA-30-3 modelindeki panel bölgesinde eklenen bir tane fazla berkitme levhanın, HA-30-2 modeline göre, panel bölgesinin kiriş derinliğindeki burkulmayı önleyerek, gerilme dağılımına sebep olduğu görülmüştür. HA-30-4 üç paralel ve N berkitmeli modelinde ise N berkitmenin eklenmesinden dolayı HA-30-2 ve HA-30-3 modellerindeki alın levha ve kolon başlık eğilmesi azalırken, guse derinliğindeki panel bölgesi boyunca burkulma oluşmuştur. HA-30-5 üç paralel ters N berkitmeli modelinde ise alın levha eğilmesi azalırken, panel bölgesindeki kiriş derinliği kolon başlığında ve gusenin birleştiği kolon gövdesinde burkulmalar gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi HA-30-6 üç paralel ve ters K berkitmeli modelinde söz konusu olan panel bölgesindeki kolon gövdesinin ve başlığının eğilmesi ve burkulması küçük olduğundan berkitmenin etkisi net bir şekilde görülmüştür. Ayrıca alın levha eğilmesini büyük oranda önlenmiştir. HA-30-7 üç paralel ve K berkitmeli modeli HA-30-6 modeline benzer bir davranış sergilerken, panel bölgesindeki kiriş derinliğinde kolon başlığının burkulması gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi, kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda bütün 30 dereceli guseli modellerde plastik mafsallık guse uzunluğunun dışında kirişte meydana gelmiştir. Tablo 4.5.'te 30 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.5.'te gösterildiği gibi 30 dereceli guse açısına sahip modellerde berkitme sayısı arttıkça veya başka bir ifadeyle, panel bölgesi güçlendirildikçe, alın levhalarda oluşan gerilmelerin düştüğü ve daha az zorlandığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5. 30 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-30-1	HA-30-2	HA-30-3	HA-30-4	HA-30-5	HA-30-6	HA-30-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	362,66	370,61	372,29	381,22	385,82	386,3	389,89
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,09	0,08	0,08	0,09	0,1	0,1	0,11
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	768,91	739,74	739,4	743	730,47	725,28	718,36
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	337,17	322,17	321,8	320,54	316,03	311,23	314,72
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03



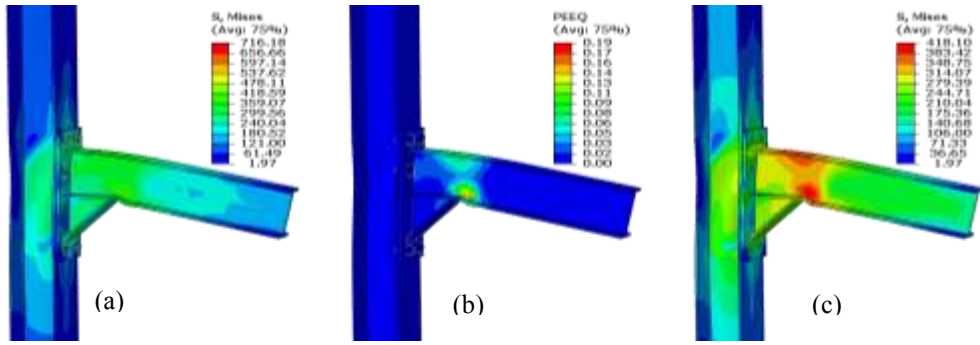
Şekil 4.38. 30 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

Şekil 4.38.'den görüldüğü gibi tüm berkitmeli guseli birleşimler referans olarak tanımlanan HA-30-1 berkitmesiz guseli birleşime göre daha iyi davranış ve daha yüksek yük taşıma kapasitesi sergilemiştir. Elde edilen verilere göre HA-30-2 ve HA-30-3, HA-30-4 ve HA-30-5, HA-30-6 ve HA-30-7 modelleri kendi aralarında benzer bir davranış sergilerken, referans olarak belirlenen berkitmesiz modelle karşılaştırıldıklarında, yaklaşık olarak HA-30-2 ve HA-30-3 modelleri %12, HA-30-4 ve HA-30-6 modelleri %16-18 aralığında, HA-30-5 ve HA-30-7 modelleri ise %10-12 aralığında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

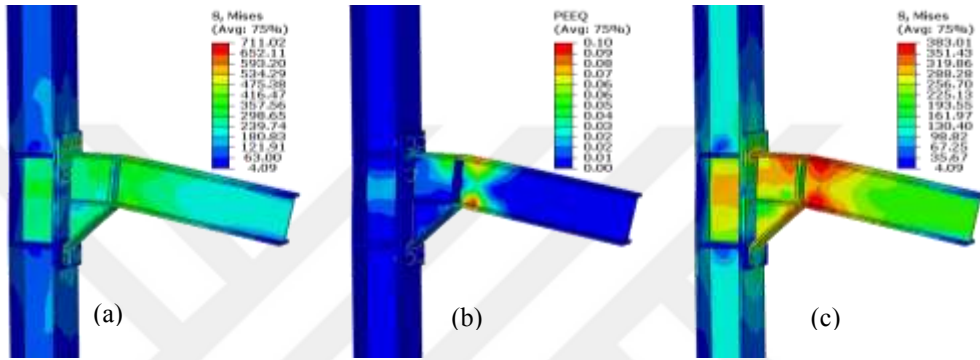
4.2.3. 45 dereceli guse açısına sahip modellerin berkitme etkinliğinin incelenmesi

Yapılan analizler sonucu, 45 dereceli guseli birleşimlerdeki berkitme levhalarının farklı yerleşim şekilleri için Von Mises gerilme dağılımı, plastik şekil değiştirme ve birleşim yük taşıma kapasiteleri elde edilmiştir.

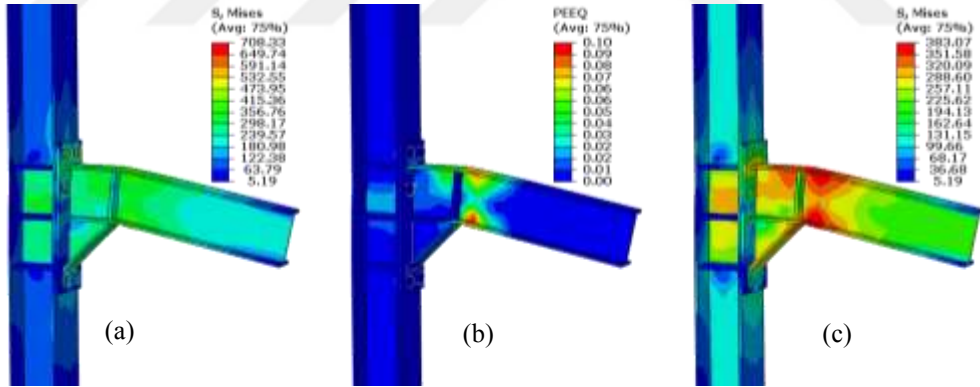
45 dereceli guse açısına ve farklı berkitme tiplerine sahip modellerin, kiriş uç noktasının 100 mm düşey deplasman yapması durumunda hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.39. - 4.45. 'te verilmiştir.



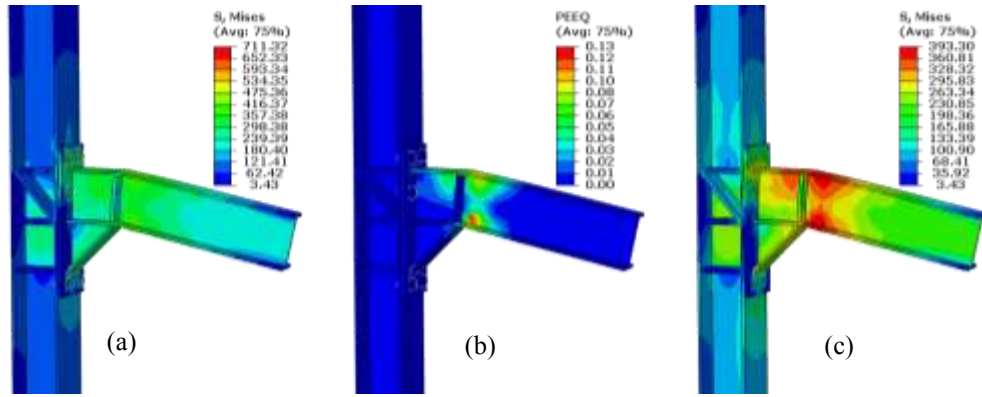
Şekil 4.39. HA-45-1 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



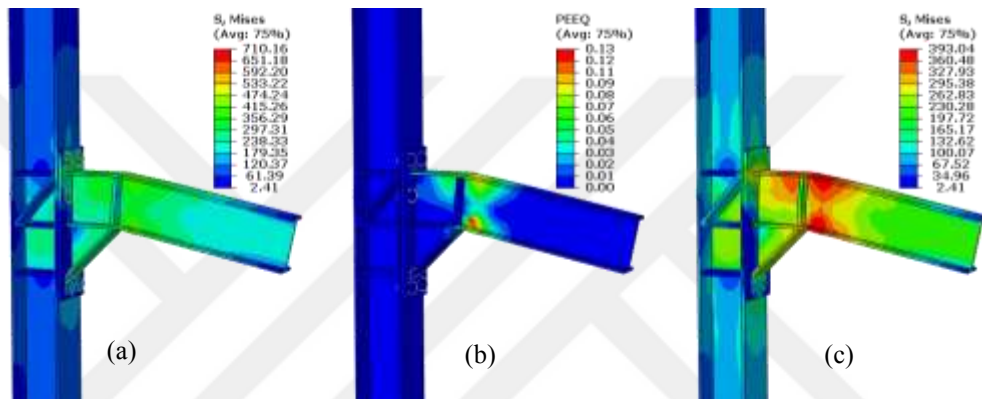
Şekil 4.40. HA-45-2 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



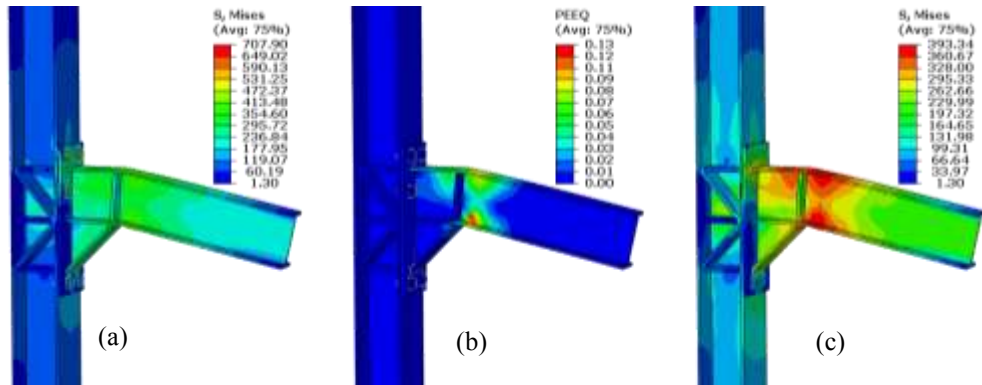
Şekil 4.41. HA-45-3 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



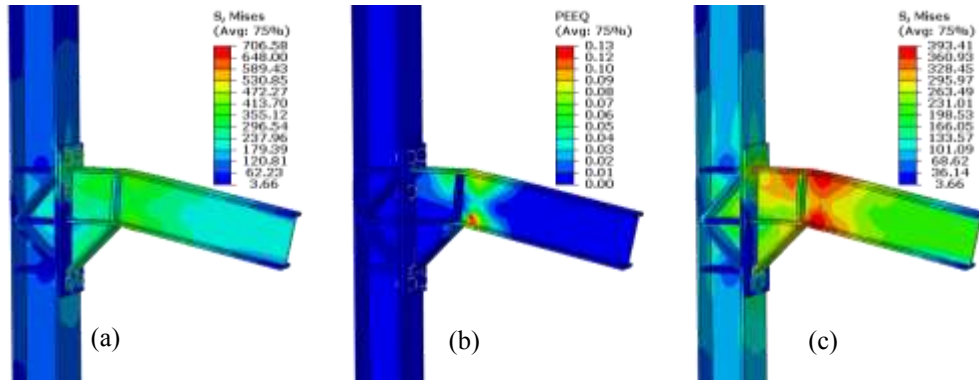
Şekil 4.42. HA-45-4 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



Şekil 4.43. HA-45-5 Modelinde Oluşan (a),(c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



Şekil 4.44. HA-45-6 Modelinde Oluşan (a), (c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme



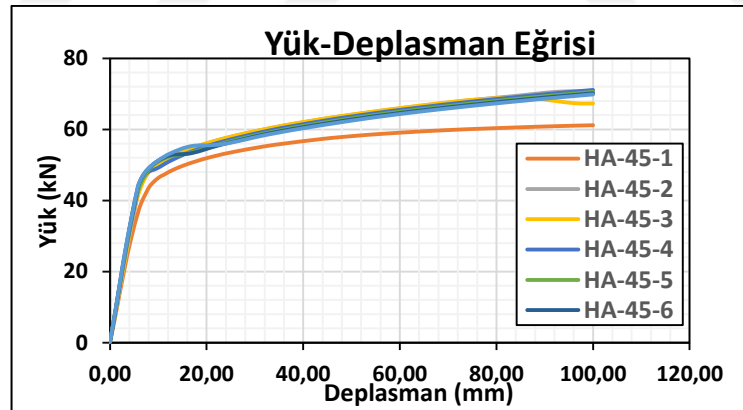
Şekil 4.45. HA-45-7 Modelinde Oluşan (a), (c) Gerilme Dağılımı (MPa) ve (b) Plastik Şekildeğiştirme

Şekil 4.39. – 4.45. 'ten görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-45-1 berkitmesiz modelinde alın levha ve kolon başlığında eğilmeler, panel bölgesi uzunluğu kadar kolon gövdesinde burkulma meydana gelmiştir. Alın levhasında ve kolon başlığında eğilme meydana gelirken panel bölgesindeki kolon gövdesinde burkulma meydana gelmiştir. HA-45-2 çift paralel berkitmeli modelinde eğilme ve burkulma değerleri daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi ise birleşimin panel bölgesinin berkitmelerle güçlendirilmesinden ve daha güçlü davranmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. HA-45-3 üç paralel berkitmeli modelin HA-45-2 modeline benzer bir davranış sergilerken, HA-45-3 modelindeki panel bölgesine eklenen fazla bir berkitme levhası, HA-45-2 modeline göre, panel bölgesinde bulunan kirişteki burkulmayı önleyerek, gerilmenin daha geniş bir alana dağılmasına sebebiyet vermiştir. HA-45-4 üç paralel ve N berkitmeli modelinde ise N berkitmenin eklenmesinden dolayı HA-45-2 ve HA-45-3 modellerindeki alın levha ve kolon başlığındaki eğilmeler azalırken, HA-45-3 modelinde oluşan panel bölgesindeki burkulmanın oluşmaması gözlemlenmiştir. HA-30-5 üç paralel ters N berkitmeli modelinde ise HA-15-4 modeline benzer bir davranış göstermektedir. Görüldüğü gibi HA-45-6 üç paralel ve ters K berkitmeli modelinde söz konusu olan panel bölgesindeki kolon gövdesinin ve başlığının eğilmesi ve burkulması dikkate alınmayacak kadar küçük olduğu ve alın levhasındaki eğilmenin büyük oranda önlendiği görülmüştür. Ayrıca K berkitmesinin panel bölgesindeki gerilmelerin dağılmasına sebep olduğu görülmüştür. HA-15-7 üç paralel ve K berkitmeli model HA-45-6 modeline benzer bir davranış sergilerken, panel bölgesindeki kirişin birleştiği kolon başlığının burkulması gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi, kiriş uç noktasının 100

mm deplasman yapması durumunda bütün 45 dereceli guseli modellerde plastik mafsallı guse uzunluğunun dışında kirişte meydana gelmiştir. Bu da depreme dayanıklı yapı tasarım ilkesine göre istenen bir performans düzeyidir. Tablo 4.6.'da 30 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları sunulmuştur. Tablo 4.6.'dan görüldüğü gibi 45 dereceli guse açısına sahip modellerde berkitme sayısı arttıkça veya başka bir ifadeyle panel bölgesi güçlendirildikçe, alın levhalarındaki oluşan gerilmelerin düştüğü ve alın levhasının daha az zorlandığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.6. 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-45-1	HA-45-2	HA-45-3	HA-45-4	HA-45-5	HA-45-6	HA-45-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	418,1	383,01	383,07	393,3	393,04	393,34	393,41
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,19	0,10	0,1	0,13	0,13	0,13	0,13
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	716,18	711,02	708,33	711,32	710,16	707,9	706,58
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	305,12	302,86	299,93	303,37	304,94	302,34	303,01
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02



Şekil 4.46. 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

Şekil 4.46.'den görüldüğü gibi tüm berkitmeli guseli birleşimler referans olarak belirlenen HA-45-1 berkitmesiz guseli birleşime göre daha iyi davranış ve daha yüksek yük taşıma kapasitesi sergilemiştir. Elde edilen verilere göre HA-45-2, HA-45-3, HA-45-4 ve HA-45-5, HA-45-6, HA-45-7 modelleri kendi aralarında benzer bir davranış sergilerken, referans olarak belirlenen berkitmesiz modelle karşılaştırıldıklarında, tüm

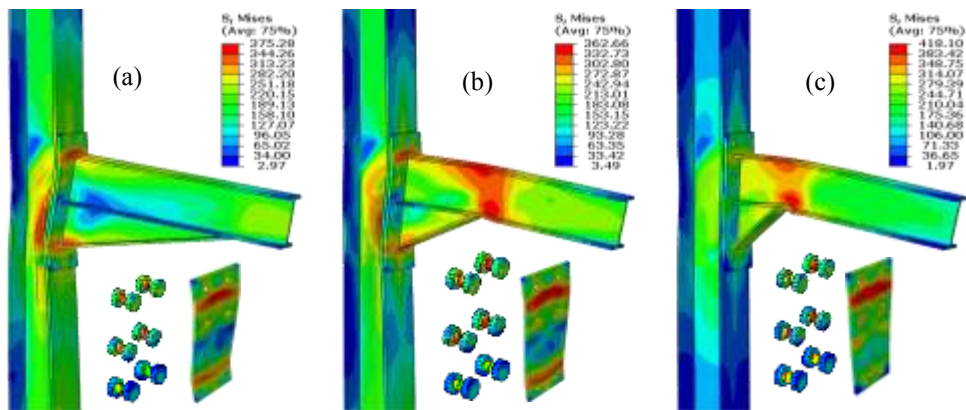
modeller yaklaşık olarak %10 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu hesaplanmıştır.

4.2.4. Guseli birleşimlerdeki guse açısının etkisinin incelenmesi

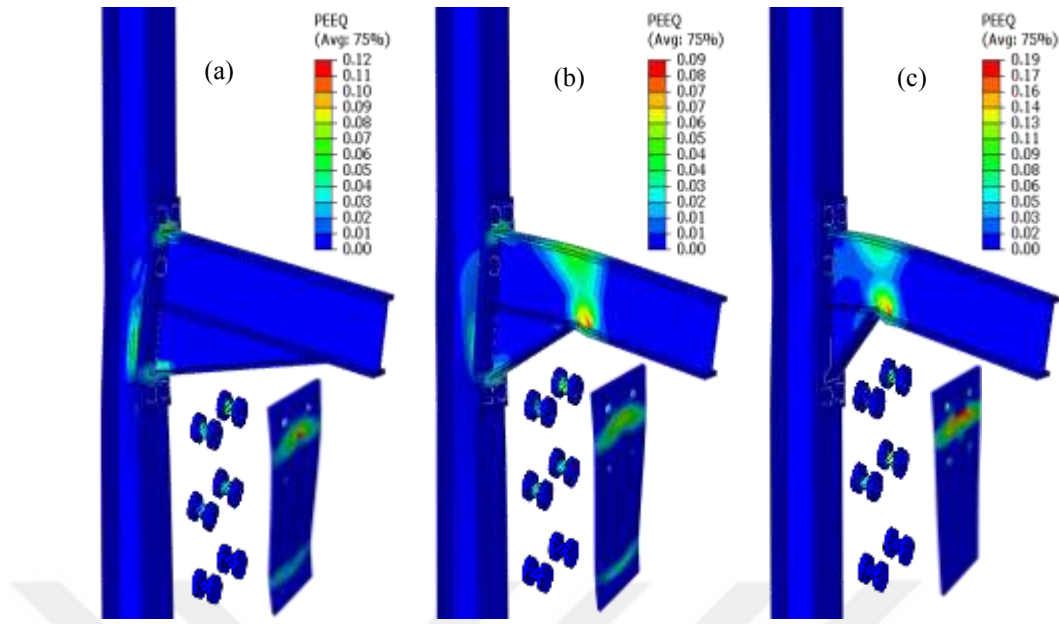
Çalışma kapsamında birleşim bölgesinin performansı incelerken guse açısı ve farklı berkitme yerleşim şekilleri incelenmiştir. Bu bölümde 15, 30 ve 45 dereceli guseli birleşimlerde 6 farklı berkitme tipinin birleşim davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan analizlerden farklı berkitme tipine sahip birleşimlerin Von Mises gerilme dağılımları, plastik şekil değiştirmeleri ve yük deplasman eğrileri elde edildikten sonra karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

4.2.4.1. Berkitmesiz birleşimler

Berkitmesiz modeller veya referans modeller olarak belirlenen 15, 30 ve 45 dereceli guseli birleşim modelleri 100 mm düşey yerdeğiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.47. ve Şekil 4.48.'de verilmiştir.



Şekil 4.47. (a) HA-15-1, (b) HA-30-1, (C) HA-45-1 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



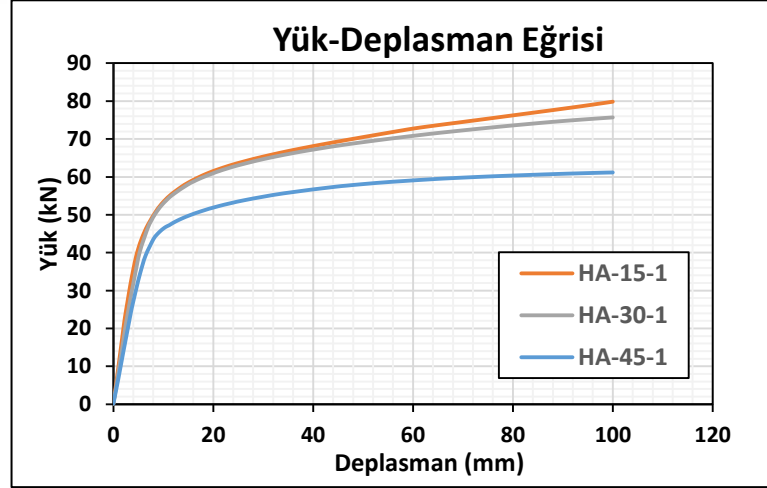
Şekil 4.48. (a) HA-15-1, (b) HA-30-1, (C) HA-45-1 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

Şekil 4.47. ve 4.48.'den görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-1, HA-30-1 ve HA-45-1 referans olarak tanımlanan berkitmesiz modellerinde guse açısı azaldıkça birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı görülmektedir. HA-15-1 ve HA-30-1 modellerinde alın levha ve panel bölgesinde eğilme ve burkulmalar meydana gelirken, bu eğilme ve burkulma HA-45-1 modelinde daha az görülmektedir. Bu bakımdan guse açısı azaldıkça, birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı gözlemlenmiştir. HA-15-1 modelinde gerilmelerin kiriş başlığının alın levhaya kaynaklandığı yerde daha fazla olduğundan dolayı, kopmanın söz konusu bölgede meydana gelebileceği söylenebilir. Diğer bir yandan HA-30-1 ve HA-45-1 modellerinde gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmıştır. Bu modellerde kopmanın birleşim bölgesinin dışında meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır. HA-15-1 modelinde plastik mafsallık birleşim bölgesinde meydana gelirken, HA-30-1 ve HA-45-1 modellerinde birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmiştir. Tablo 4.7.'de 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.7. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-1	HA-30-1	HA-45-1
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	375,28	362,66	418,1
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,09	0,19
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	829,72	768,91	716,18
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,04	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	375,28	337,17	305,12
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,07	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	335,78	320,54	324,14
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,06	0,03	0,03

Tablo 4.7.'deki veriler incelendiğinde HA-15-1, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levhası, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekildeğiştirme miktarları HA-30-1 ve HA-45-1 modellerine göre daha yüksek olduğu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı sonucuna varılmıştır.

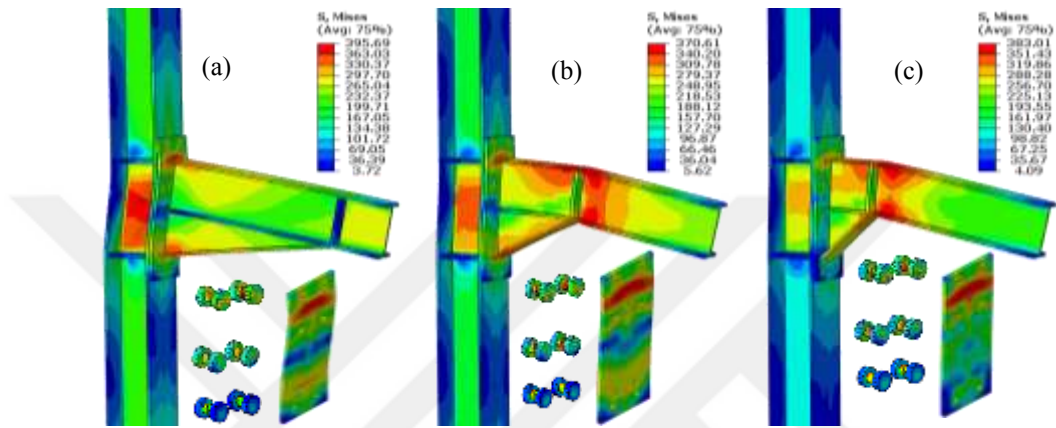


Şekil 4.49. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

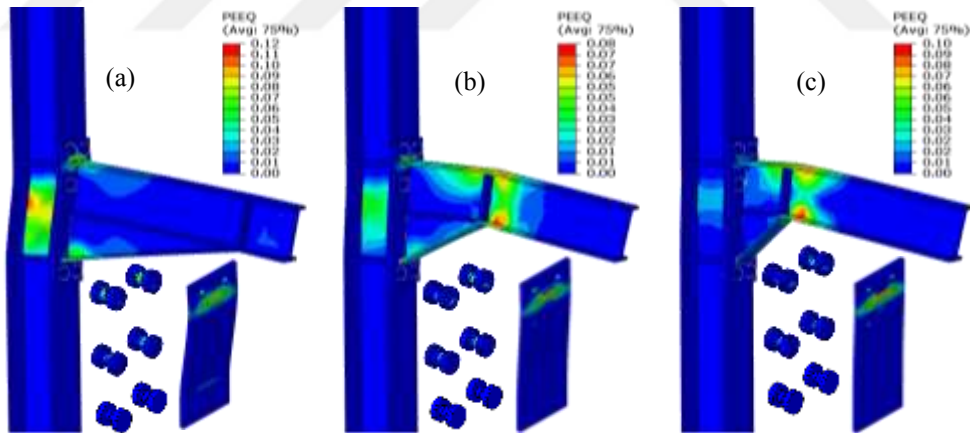
Şekil 4.49.'den görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre HA-15-1 ve HA-30-1 modelleri kendi aralarında benzer bir davranış sergilerken, HA-45-1 modeliyle karşılaştırıldıklarında, yaklaşık olarak %20 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

4.2.4.2. Çift paralel berkitmeli birleşimler

15, 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip ve çift paralel berkitmeli olarak tasarlanan modeller 100 mm düşey yerdeğiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.50. ve Şekil 4.51.'de verilmiştir.



Şekil 4.50. (a) HA-15-2, (b) HA-30-2, (C) HA-45-2 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil 4.51. (a) HA-15-2, (b) HA-30-2, (C) HA-45-2 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

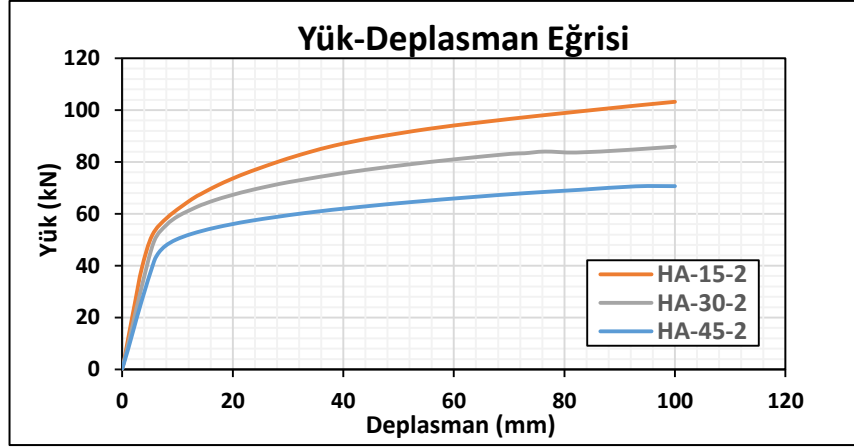
Şekil 4.50. ve 4.51.'den görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-2, HA-30-2, HA-45-2 sırasıyla 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip çift paralel berkitmeli modellerinde, guse açısı azaldıkça birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı görülmektedir. HA-15-2 ve HA-30-2 modellerinde alın levha ve panel bölgesinde eğilme ve burkulmalar meydana gelmiştir. Meydana gelen eğilme ve burkulma HA-45-2 modelinde daha az görülmektedir. Bunun nedeni ise panel

bölgesindeki bekitmelerin ve 15 dereceli gusenin daha fazla yük aldığından, dolayısıyla panel bölgesinin daha fazla zorlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan guse açısı azalmasından dolayı, birleşim bölgesini daha fazla zorlandığı ortaya çıkmıştır. HA-15-1 modelinde gerilmelerin kolon panel bölgesinde daha fazla olduğundan göçme söz konusu bölgede meydana gelmiştir. Diğer bir yandan HA-30-2 ve HA-45-2 modellerinde gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmış olup göçme modlarının birleşim bölgesi dışında olduğu gözlemlenmiştir. HA-15-2 modelinde plastik mafsallık panel bölgesindeki kolon gövdesinde, birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana gelirken, HA-30-2 ve HA-45-2 modellerinde birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmiştir. Tablo 4.8.'de 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.8. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-2	HA-30-2	HA-45-2
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	395,69	370,61	383,01
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,08	0,10
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	842,7	739,74	711,02
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	369,17	322,17	302,86
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,05	0,03
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	360,58	319,43	304,32
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,07	0,03	0,02

Tablo 4.8.'deki veriler incelendiğinde HA-15-2, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levha, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekil değiştirme miktarının HA-30-2 ve HA-45-2 modellerine göre daha yüksek olduğunu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı sonucuna varılmıştır.

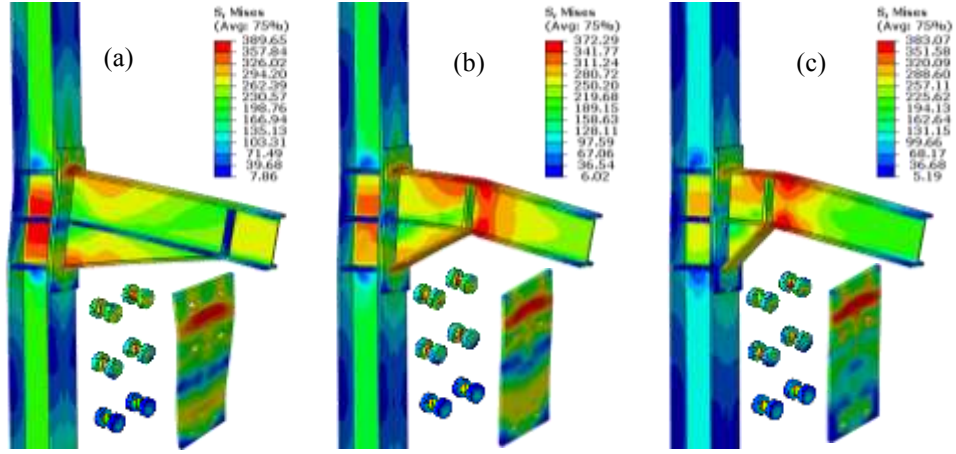


Şekil 4.52. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

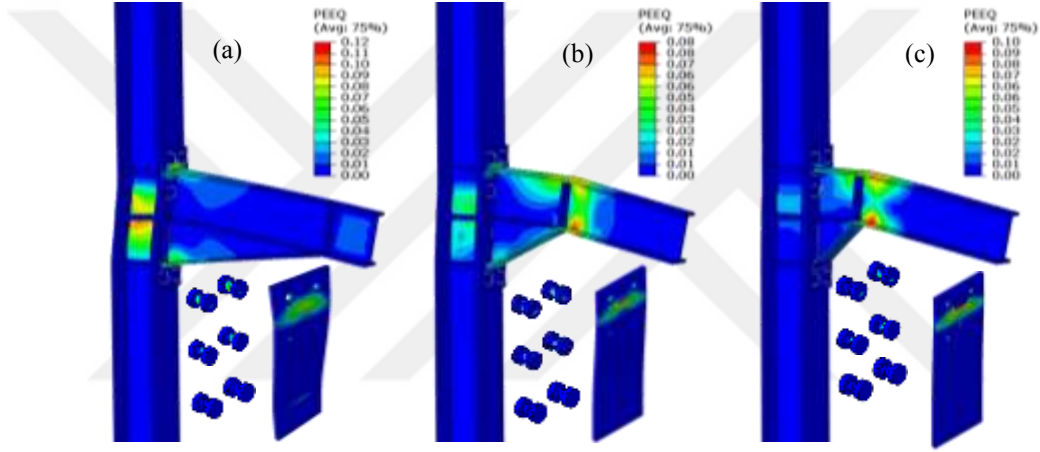
Şekil 4.52.'den görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip olan çift paralel berkitmeli modeller arasında, HA-15-2 en yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. HA-15-2 modeli HA-30-2 ve HA-45-2 modelleriyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %13 ve %28 oranında daha yüksek bir yük taşıma kapasitesine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

4.2.4.3. Üç paralel berkitmeli birleşimler

15, 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip ve üç paralel berkitmeli olarak tasarlanan modeller 100 mm düşey yer değiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.53. ve Şekil 4.54.'de verilmiştir.



Şekil 4.53. (a) HA-15-3, (b) HA-30-3, (C) HA-45-3 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil 4.54. (a) HA-15-3, (b) HA-30-3, (C) HA-45-3 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

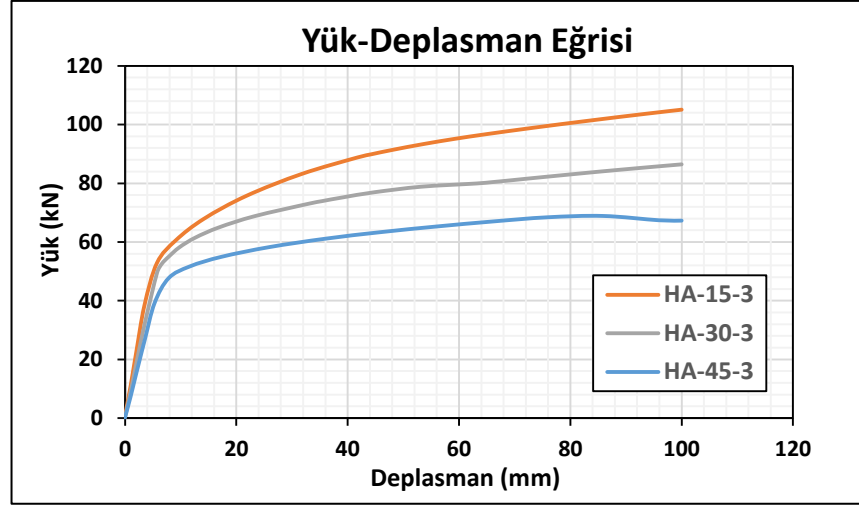
Şekil 4.53. ve 4.54.'ten görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-3, HA-30-3 ve HA-45-3 sırasıyla 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel berkitmeli modellerinde, guse açısı azaldıkça birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı görünmektedir. Alın levha ve panel bölgesindeki eğilme ve burkulma HA-45-3 modelinde daha az meydana gelirken, bu eğilme ve burkulmalar HA-15-3 ve HA-30-3 modellerinde daha büyük hesaplanmıştır. Bunun nedeni ise panel bölgesinde yerleştirilen bekitmelerin 15 ve 30 dereceli gusenin daha fazla yük aldığından panel bölgesi daha fazla zorlanmıştır. Bu bakımdan guse açısı azalmasından dolayı, birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı kararına varılmıştır. HA-15-3 modelinde gerilmelerin kolon panel bölgesinde daha fazla olduğundan dolayı, göçme birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. HA-30-3 ve HA-45-3 modellerinde ise gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla, bu modellerde göçme modları

birleşim bölgesi dışında meydana gelmiştir. HA-15-3 modelinde plastik mafsal panel bölgesindeki kolon gövdesinde, birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana gelirken, HA-30-3 ve HA-45-3 modellerinde birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmiştir. Tablo 4.9.'da 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.9. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-3	HA-30-3	HA-45-3
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	389,65	372,29	383,07
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,08	0,1
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	841,85	739,4	708,33
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	368,63	321,8	299,93
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,05	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	357,75	318,9	303,55
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,07	0,03	0,02

Tablo 4.9.'daki veriler incelendiğinde HA-15-3, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levha, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekil değiştirme miktarının HA-30-3 ve HA-45-3 modellerine göre daha yüksek olduğu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı gözlemlenmiştir.

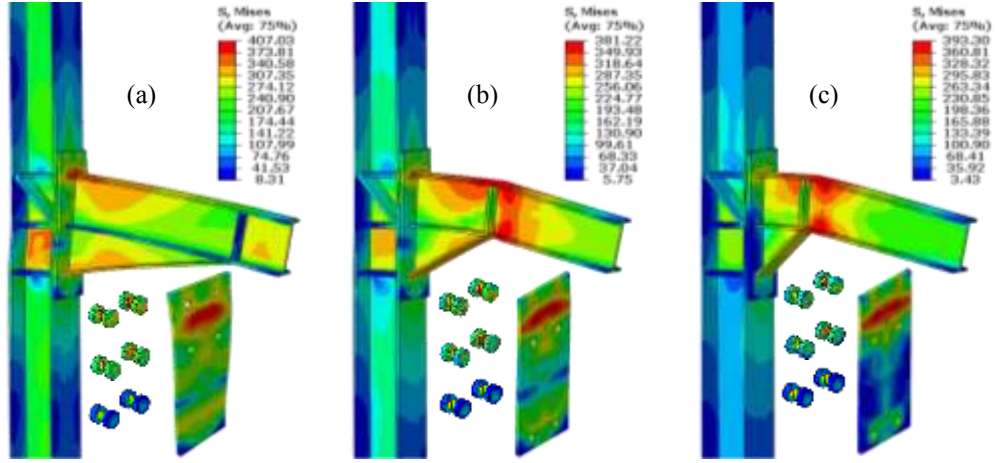


Şekil 4.55. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

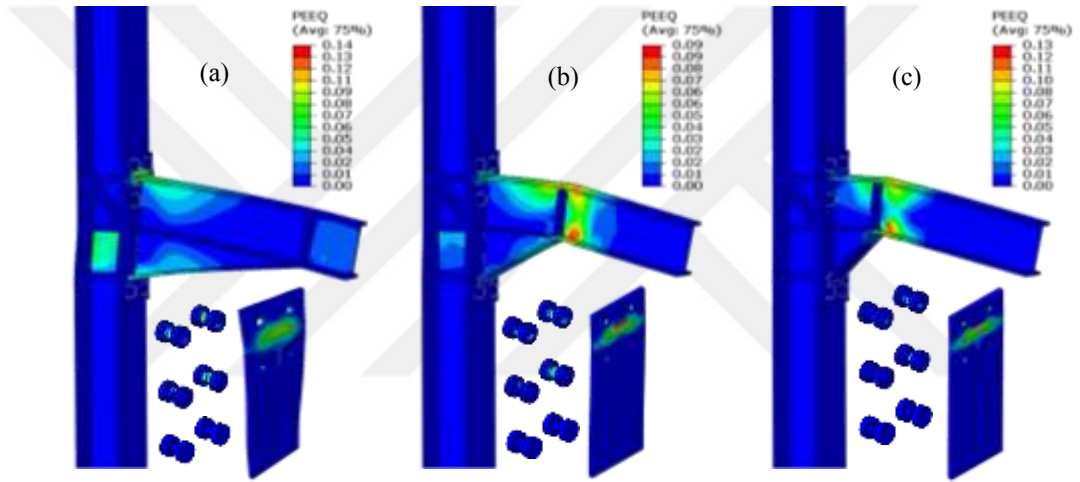
Şekil 4.55.'ten görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip olan üç paralel berkitmeli modeller arasında, HA-15-3 modeli en yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Ayrıca bu modelin HA-30-3 ve HA-45-3 modelleriyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %21 ve %42 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.4.4. Üç paralel ve N berkitmeli birleşimler

15, 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip ve üç paralel ve N berkitmeli olarak tasarlanan modeller 100 mm düşey yer değiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.56. ve Şekil 4.57.'de verilmiştir.



Şekil 4.56. (a) HA-15-4, (b) HA-30-4, (C) HA-45-4 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil 4.57. (a) HA-15-4, (b) HA-30-4, (C) HA-45-4 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

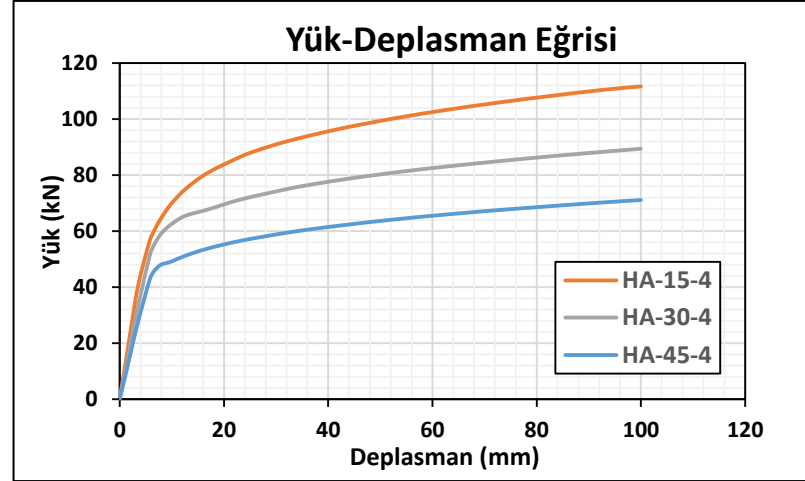
Şekil 4.56. ve 4.57.'den görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-4, HA-30-4, HA-45-4 sırasıyla 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel ve N berkitmeli modellerinde, guse açısı azaldıkça birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı görülmektedir. Alın levha ve panel bölgesindeki eğilme ve burkulmalar HA-45-4 ve HA-30-4 modellerinde daha az meydana gelirken, bu eğilme ve burkulma HA-15-4 modelinde daha büyük hesaplanmıştır. Bunun nedeni ise panel bölgesinde yerleştirilen N ve paralel bekitmelerin ve 15 dereceli guse kesitinin daha fazla yük aldığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan guse açısı azalmasında ve panel bölgesinin berkitmelerle güçlendirilmesinde dolayı, birleşim bölgesini daha fazla zorlandığı kararına varılmıştır. HA-15-3 modelinde gerilmelerin kaynak ve kolon panel bölgesinde daha fazla yoğunlaştığından dolayı, göçmeyi o

bölgede meydana gelebileceği söylenebilir. Diğer bir yandan HA-30-4 ve HA-45-4 modellerinde gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmasında dolayı, bu modellerde göçme modlarının birleşim bölgesi dışında meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır. HA-15-4 modelinde plastik mafsallık panel bölgesindeki kolon gövdesinde, birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana gelmiştir. HA-30-4 ve HA-45-4 modellerinde ise birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmesi gözlemlenmiştir. Tablo 4.10.'da 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.10. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-4	HA-30-4	HA-45-4
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	407,03	381,22	393,3
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,14	0,09	0,13
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	866,62	743	711,32
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,1	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	379,2	320,54	303,37
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,14	0,05	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	341,71	316,67	306,41
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,05	0,03	0,02

Tablo 4.10.'daki veriler incelendiğinde HA-15-4, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levha, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekil değiştirme miktarının HA-30-4 ve HA-45-4 modellerine göre daha yüksek olduğu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı gözlemlenmiştir.

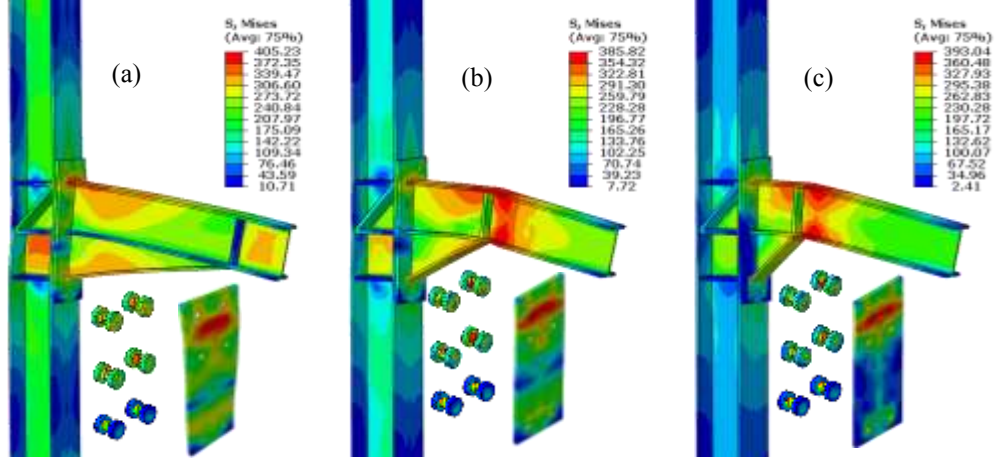


Şekil 4.58. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

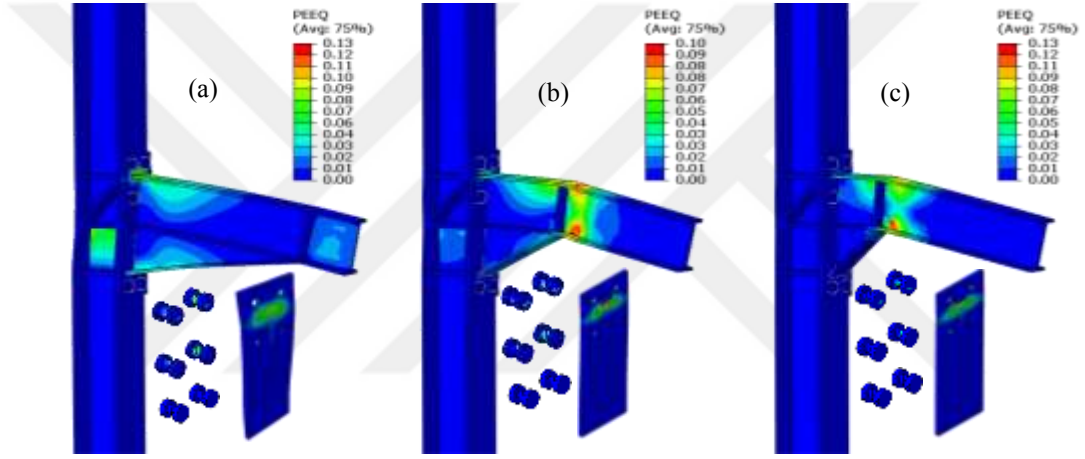
Şekil 4.58.'den görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip olan üç paralel berkitmeli modeller arasında, HA-15-4 modeli en yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Ayrıca bu modelin HA-30-4 ve HA-45-4 modelleriyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %25 ve %54 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.4.5. Üç paralel ve ters N berkitmeli birleşimler

15, 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip ve üç paralel ve ters N berkitmeli olarak tasarlanan modeller 100 mm düşey yerdeğiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.59. ve Şekil 4.60.'da verilmiştir.



Şekil 4.59. (a) HA-15-5, (b) HA-30-5, (C) HA-45-5 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil 4.60. (a) HA-15-5, (b) HA-30-5, (C) HA-45-5 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

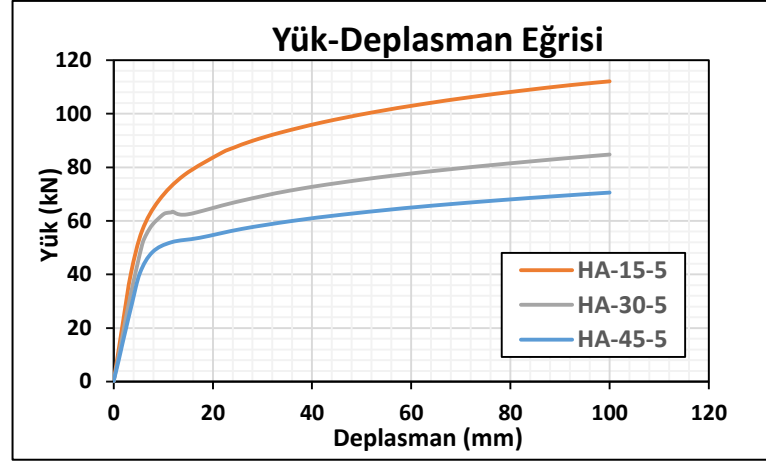
Şekil 4.59. ve 4.60.'ten görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-5, HA-30-5, HA-45-5 sırasıyla 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel ve ters N berkitmeli modellerinde, guse açısı azaldıkça birleşim bölgesinin daha fazla zorlandığı görülmektedir. Alın levha ve panel bölgesindeki eğilme ve burkulmalar HA-45-5 ve HA-30-5 modellerinde daha az meydana gelirken, bu eğilme ve burkulma HA-15-5 modelinde daha büyük hesaplanmıştır. Bunun nedeni ise panel bölgesinde yerleştirilen ters N ve paralel bekitmelerin ve 15 dereceli guse kesitinin daha fazla yük aldığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan guse açısı azalmasında ve panel bölgesinin berkitmelerle güçlendirilmesinde dolayı, birleşim bölgesini daha fazla zorlandığı kararına varılmıştır. HA-15-4 modelinde gerilmelerin kaynak ve kolon panel bölgesinde daha fazla yoğunlaştığından dolayı, göçmeyi o bölgede meydana gelebileceği söylenebilir. Diğer bir yandan HA-30-5 ve

HA-45-5 modellerinde gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmasında dolayı, bu modellerde göçme modlarının birleşim bölgesi dışında meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır. HA-15-5 modelinde plastik mafsallık, panel bölgesindeki kolon gövdesinde, birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana gelmiştir. HA-30-5 ve HA-45-5 modellerinde ise plastik mafsallık, birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmesi gözlemlenmiştir. Tablo 4.11.'de 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel ve ters N berkitmeli modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.11. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-5	HA-30-5	HA-45-5
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	405,23	385,82	393,04
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,13	0,1	0,13
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	845,97	730,47	710,16
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,09	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	374,4	316,03	304,94
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,13	0,04	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	343	318,18	306,01
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,05	0,03	0,02

Tablo 4.11.'deki veriler incelendiğinde HA-15-5, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levha, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekildeğiştirme miktarının HA-30-5 ve HA-45-5 modellerine göre daha yüksek olduğu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı gözlemlenmiştir.

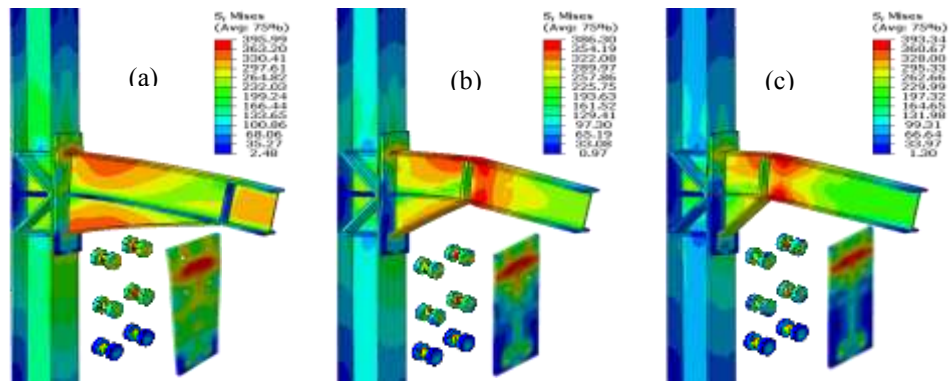


Şekil 4.61. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

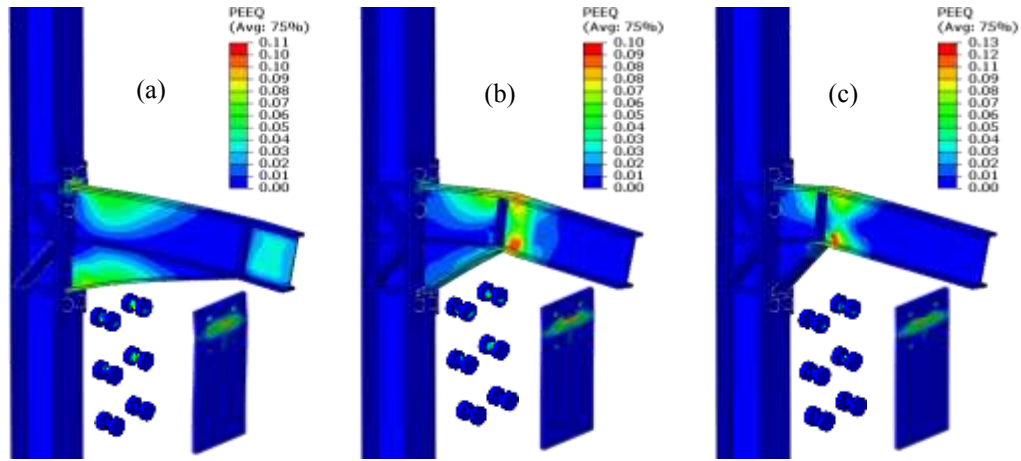
Şekil 4.61.'den görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip olan üç paralel berkitmeli modeller arasında, HA-15-5 modeli en yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Ayrıca bu modelin HA-30-5 ve HA-45-5 modelleriyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %20 ve %55 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.4.6. Üç paralel ve ters K berkitmeli birleşimler

15, 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip ve ters K berkitmeli olarak tasarlanan modeller 100 mm düşey yerdeğiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.62. ve Şekil 4.63.'de verilmiştir.



Şekil 4.62. (a) HA-15-6, (b) HA-30-6, (c) HA-45-6 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil 4.63. (a) HA-15-6, (b) HA-30-6, (C) HA-45-6 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

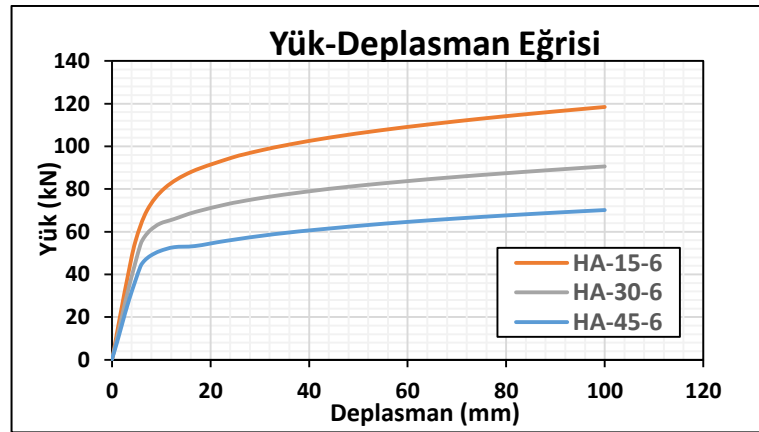
Şekil 4.62. ve 4.63.'ten görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-6, HA-30-6, HA-45-6 sırasıyla 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel ve ters K berkitmeli modellerinde, guse açısı azaldıkça birleşim bölgesinin, özellikle 15 dereceli guse kesitinin başlığının daha fazla zorlandığı görülmektedir. Alın levha ve panel bölgesindeki eğilme ve burkulmalar HA-45-6 ve HA-30-6 modellerinde daha az meydana gelmiştir. HA-15-6 modelinde ise panel bölgesindeki burkulma berkitmeler tarafında önlenirken, panel bölgesinin zorlanmasından dolayı alın levha ve kolon başlığında eğilmeler meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise panel bölgesinde yerleştirilen ters K ve paralel bekitmelerin ve 15 dereceli guse kesitinin daha fazla yük aldığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan guse açısı azalmasında ve panel bölgesinin berkitmelerle güçlendirilmesinde dolayı, birleşim bölgesini daha fazla zorlandığı kararına varılmıştır. HA-15-6 modelinde gerilmelerin kaynak, kolon ve guse başlıklarında daha fazla yoğunlaştığından dolayı, göçmeyi o bölgelerde meydana gelebileceği söylenebilir. Diğer bir yandan HA-30-6 ve HA-45-6 modellerinde gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmasında dolayı, bu modellerde göçme modlarının birleşim bölgesi dışında meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır. HA-15-6 modelinde plastik mafsallık, panel bölgesindeki kolon gövdesinde, birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana gelmiştir. HA-30-6 ve HA-45-6 modellerinde ise plastik mafsallık, birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmesi gözlemlenmiştir. Tablo 4.12.'de 15,30 ve 45 dereceli guse

açısına sahip üç paralel ve ters K berkitmeli modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.12. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-6	HA-30-6	HA-45-6
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	395,99	386,3	393,34
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,11	0,1	0,13
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	818,24	725,28	707,9
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,07	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	362,91	311,23	302,34
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,11	0,04	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	365,54	324,67	307,46
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,03	0,02

Tablo 4.12.'deki veriler incelendiğinde HA-15-6, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levha, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekil değiştirme miktarının HA-30-6 ve HA-45-6 modellerine göre daha yüksek olduğu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı gözlemlenmiştir.



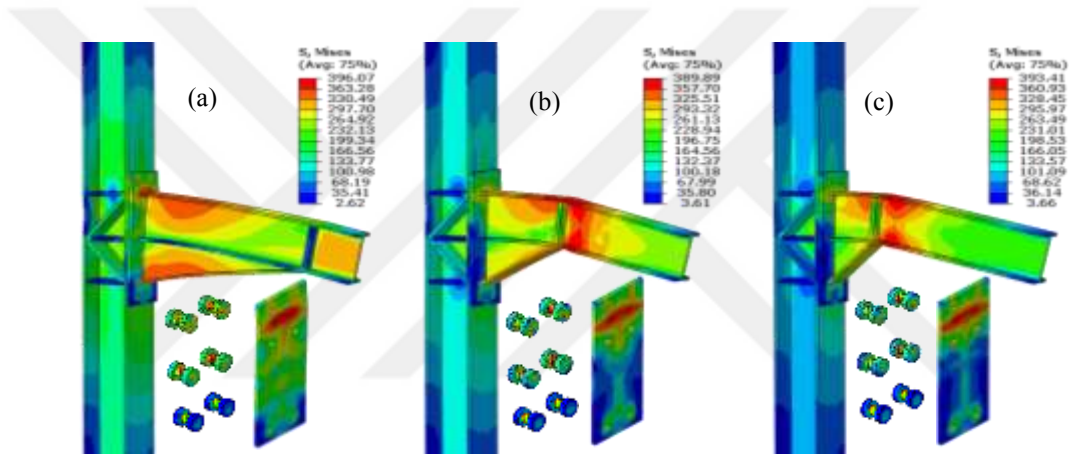
Şekil 4.64. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

Şekil 4.64.'ten görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip olan üç paralel berkitmeli modeller arasında, HA-15-6 modeli en yüksek yük taşıma

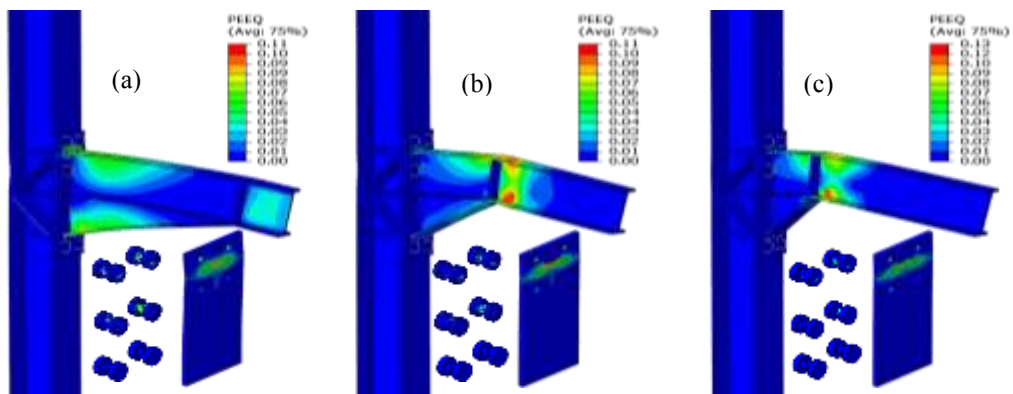
kapasitesine ulaşmıştır. Ayrıca bu modelin HA-30-6 ve HA-45-6 modelleriyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %29 ve %67 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.4.7. Üç paralel ve K berkitmeli birleşim

15, 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip, üç paralel ve K berkitmeli olarak tasarlanan modeller 100 mm düşey yerdeğiştirme yüklemesi durumunda analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu, hesaplanan Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değiştirmeleri Şekil 4.56. ve Şekil 4.57.'de verilmiştir.



Şekil 4.65. (a) HA-15-7, (b) HA-30-7, (C) HA-45-7 Modellerinde Oluşan Gerilme Dağılımı (MPa)



Şekil 4.66. (a) HA-15-7, (b) HA-30-7, (C) HA-45-7 Modellerinde Oluşan Plastik Şekildeğiştirme

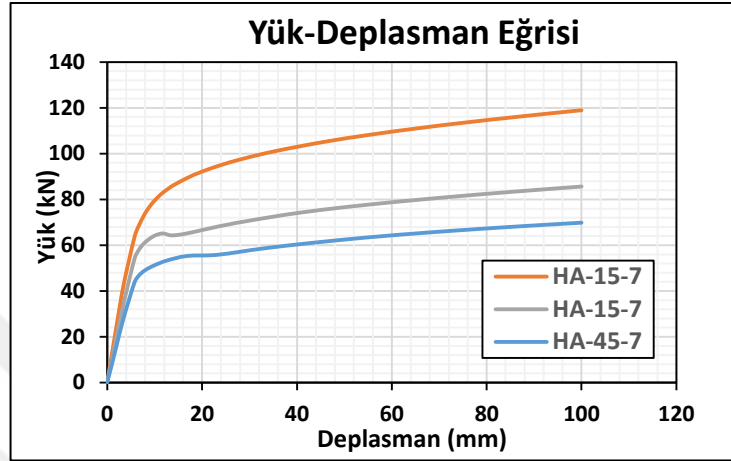
Şekil 4.65. ve 4.66.'den görüldüğü gibi kiriş uç noktasının 100 mm deplasman yapması durumunda, HA-15-7, HA-30-7, HA-45-7 sırasıyla 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel ve K berkitmeli modellerinde, guse açısı azaldıkça birleşim

bölgesinin, özellikle 15 dereceli guse kesitinin başlığının daha fazla zorlandığı görülmektedir. Alın levha ve panel bölgesinde eğilme ve burkulmalar HA-45-6 ve HA-30-6 modellerinde daha az meydana gelmiştir. Berkitmesiz modellerde 15 derece elemanında eğilme ve burkulma daha fazla oluşmuştur. Ancak üç paralel ve K berkitmeli modelinde (HA-15-6) ise panel bölgesindeki burkulma berkitmeler tarafında önlenmiştir. Panel bölgesindeki aşırı zorlanmadan dolayı alın levha ve kolon başlığında eğilmeler meydana gelmiş. Bunun nedeni ise panel bölgesinde yerleştirilen K ve paralel bekitlemelerin ve 15 dereceli guse kesitinin daha fazla yük aldığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan guse açısı azalmasında ve panel bölgesinin berkitmelerle güçlendirildiğinde, birleşim bölgesi daha fazla yük almaya başlar ve daha fazla zorlanmaktadır. HA-15-7 modelinde gerilmelerin kaynak, kolon ve guse başlıklarında daha fazla yoğunlaştığı, dolayısıyla göçmenin söz konusu bölgelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Diğer bir yandan HA-30-7 ve HA-45-7 modellerinde gerilmelerin birleşim bölgesi dışında daha fazla yoğunlaşmasında dolayı, bu modellerde göçme modları birleşim bölgesi dışında meydana gelmiştir. HA-15-7 modelinde plastik mafsallarda ise, panel bölgesindeki kolon gövdesinde ve birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana gelmiştir. HA-30-7 ve HA-45-7 modellerinde plastik mafsallarda birleşim bölgesinin dışında guse uzunluğu kadar birleşimden uzakta, kirişte meydana gelmiştir. Tablo 4.12.'de 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip üç paralel ve K berkitmeli modellerin analiz sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.13. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

Model		HA-15-7	HA-30-7	HA-45-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	396,07	389,89	393,41
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,11	0,11	0,13
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	805,77	718,36	706,58
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,06	0,01	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	361,05	314,72	303,01
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,11	0,03	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	366,32	321,07	307,24
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,03	0,02

Tablo 4.13.'teki veriler incelendiğinde HA-15-7, 15 dereceli guse açısına sahip birleşimin alın levha, guse ve bulanlarındaki oluşan gerilme ve plastik şekildeğiştirme değerlerinin HA-30-7 ve HA-45-7 modellerine göre daha yüksek olduğu ve bundan dolayı daha fazla zorlandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.67. 15,30 ve 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Yük-Deplasman Eğrileri

Şekil 4.67.'den görüldüğü gibi guse açısı azaldıkça birleşimin taşıma kapasitesi artmaktadır. Elde edilen verilere göre 15,30 ve 45 dereceli guse açısına sahip olan üç paralel ve K berkitmeli modeller arasında, HA-15-7 modeli en yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Üç paralel ve K berkitmeli modelin (HA-15-7), HA-30-7 ve HA-45-7 modelleriyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %22 ve %68 oranında daha yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşıldığı hesaplanmıştır.

4.3. Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında oluşturulan ve sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilen 15,30 ve 45 dereceli guseli kolon-kiriş birleşimlerin farklı berkitme tiplerine sahip toplamda 21 adet analiz mdeli statik yük etkisi altında çözümlenmiştir. Statik yük olarak tüm modellerde kiriş uç noktasına 100 mm düşey deplasman verilerek Abaqus program yardımıyla çözümlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan, bulon, guse ve alın levhalarındaki maksimum Von Mises gerilme dağılımları ve plastik şekil değıştirme miktarları Tablo 4.14., 4.15. ve 4.16.'da verilmiştir.

Tablo 4.14. 15 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

	Model	HA-15-1	HA-15-2	HA-15-3	HA-15-4	HA-15-5	HA-15-6	HA-15-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	375,28	395,69	389,65	407,03	405,23	395,99	396,07
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,11	0,11
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	829,72	842,7	841,85	866,62	845,97	818,24	805,77
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,08	0,08	0,08	0,1	0,09	0,07	0,06
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	375,28	369,17	368,63	379,2	374,4	362,91	361,05
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,11	0,11
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	335,78	360,58	357,75	341,71	343	365,54	366,32
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,06	0,07	0,07	0,05	0,05	0,08	0,08

Tablo 4.15. 30 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

	Model	HA-30-1	HA-30-2	HA-30-3	HA-30-4	HA-30-5	HA-30-6	HA-30-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	362,66	370,61	372,29	381,22	385,82	386,3	389,89
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,09	0,08	0,08	0,09	0,1	0,1	0,11
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	768,91	739,74	739,4	743	730,47	725,28	718,36
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	337,17	322,17	321,8	320,54	316,03	311,23	314,72
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	320,54	319,43	318,9	316,67	318,18	324,67	321,07
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 4.16. 45 Dereceli Guse Açısına Sahip Modellerin Analiz Sonuçları

	Model	HA-45-1	HA-45-2	HA-45-3	HA-45-4	HA-45-5	HA-45-6	HA-45-7
Birleşim	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	418,1	383,01	383,07	393,3	393,04	393,34	393,41
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,19	0,10	0,1	0,13	0,13	0,13	0,13
Bolun	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	716,18	711,02	708,33	711,32	710,16	707,9	706,58
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Alın Levha	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	305,12	302,86	299,93	303,37	304,94	302,34	303,01
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Guse	Max. Von Mises Gerilemesi (MPa)	324,14	304,32	303,55	306,41	306,01	307,46	307,24
	Max. Plastik Şekildeğiştirmeler	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Guseli kolon-kiriş birleşimlerinin monotonik dikey yük etkisi altında davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi ile parametrik olarak incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, üç farklı guse açısıyla yedi farklı berkitmeye sahip kolon-kiriş birleşim tipi incelenmiştir. Modellerdeki temel farklılıklar; birleşimin moment kapasitesi ve kolon panel bölgesindeki kesme kuvvetlerine karşı oldukça etkili olan guse ve berkitme olarak adlandırdığımız ilave güçlendiricilerdir. Toplamda 21 farklı sonlu eleman modelinin oluşturulduğu bu çalışmada 15, 30 ve 45 dereceli üç farklı guse açısı esas alınarak her bir model için SCI/BCSA, 1995 standardında önerilen kolon panel bölgesini güçlendirecek düz ve diyagonal yedi farklı berkitme tipi incelenmiştir. Sonlu eleman modelleri üzerinde yapılan analiz sonucunda; yük-deplasman eğrisi, taşıma kapasitesi, alın levha eğilmesi, Von Mises gerilme dağılımı ve plastik mafsallın oluşum yeri gibi birleşim değerlendirme indeksleri incelenmiştir. Bu parametrik çalışmadan elde edilen önemli gözlemler ve bazı öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Guseli kolon-kiriş birleşimlerinde guse açısı azaldıkça, guse kesitinin büyük bir miktarda yük almasından dolayı, birleşimin taşıma gücü artmaktadır. Ancak bu durumda birleşim bölgesinde oluşan gerilmelerin daha fazla olması nedeniyle kopma modları ve plastik şekil değiştirmelerin birleşim bölgesine yakın bir yerde meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Guse açısı 45 dereceden 15 dereceye azaltıldığında guseli kesitin (kiriş ve guse kesiti birlikte) ciddi bir şekilde güçlendiği ve daha fazla yük aldığı gözlenmiştir. Bu duruma bağlı olarak alın levhası büyük bir miktarda deforme olmakta ve akma dayanımına ulaşmaktadır. Analizler neticesinde göçmenin alın levhasında meydana geldiği görülmüştür. Bu durumu önlemek için 30 derece altındaki guse açısına sahip guseli birleşimlerde alın levhaların daha kalın seçilmesi önerilmektedir.

- 15, 30 ve 45 derece guse açısına sahip guseli birleşimler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, 15 dereceli guse açısına sahip model, 30 ve 45 dereceli guseli modellerden sırasıyla %22 ve %48 oranında daha fazla yük taşıma kapasitesi göstermiştir.
- Bu çalışma kapsamında incelenen 30 ve 45 dereceli guse açısına sahip guseli birleşimlerde, plastik mafsalin birleşim bölgesinden guse uzunluğu kadar uzak bir yerde kırıšte meydana geldiği gözlenirken, 15 dereceli guse açısına sahip guseli birleşimlerde ise, birleşim bölgesinde alın levha veya kaynak kısımlarında meydana geldiği görülmüştür. Dolayısıyla incelenen modellerde 15 dereceli guse açısının yönetmenliklerdeki koşulları sağlamadığı bulunmuştur.
- 30 ve 45 dereceli guse açıları için, her ikisi de yönetmeliklerdeki koşulları sağlarken, 30 dereceli guse açısı 45 dereceli guseye oranla yaklaşık olarak %22 oranında daha fazla yük almasından ve birleşimin taşıma gücünü daha fazla artmasından dolayı incelenen 15,30 ve 45 dereceli guse açıları arasında en uygun açı olarak tanımlanmıştır.
- Guse açısı azaldıkça, guse kesitinin daha fazla yük almasından dolayı panel bölgesi ve alın levhasında, burkulma ve eğilmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla guseli birleşimlerde kolon için seçilen profillerin kırış kesitinden daha büyük olmaları tavsiye edilir.
- 15 dereceli guse açısına sahip modellerde birleşim bölgesinin daha fazla yük almasından dolayı, bulonlardaki en büyük zorlanma ve plastik şekildeğıştirmeler 15 dereceli guse açısında meydana gelmiştir. Dolayısıyla düşük açılı guseli birleşimlerde daha büyük bulonların kullanılması tavsiye edilir.
- Alın levhasında meydana gelen eğilme ve panel bölgesinde meydana gelen burkulmalar, panel bölgesine eklenen berkitme levhalarının büyük miktarda önlediği görülmüştür.
- Guseli birleşimlerde panel bölgesini güçlendirmek ve o bölgedeki burkulmaları önlemek için incelenen 6 farklı berkitme tipi arasında, üç paralel ve K berkitmeli birleşim tipi 15,30 ve 45 dereceli berkitmesiz guseli birleşim

modeliyle karşılaştırıldığında, sırasıyla %50,%12 ve %10 daha fazla yük taşıma kapasitesine ulaştığı için, en uygun berkitme tipi olarak belirlenmiştir.

Özet olarak, bu çalışma kapsamında Steel Construction Institute (SCI) ve Eurocode 3'ün önerileri göz önüne alınarak, farklı açılar ve farklı berkitme tiplerine sahip olan guseli birleşimler incelenmiş ve guseli birleşimler için kullanabilen en uygun açının 30 veya 45 derece arasında olmasının dayanım ve davranış açısından uygun olacağı kararına varılmıştır. Buna ek olarak guseli birleşimlerin taşıma kapasiteleri, berkitme levhaların olup olmadığı, berkitme levhalarının tipi ve kalınlıkları, bulon sayısı boyutu, alın levha kalınlığı ve boyutu, kiriş ve kolon boyutu gibi birleşimin geometrik özelliklerine de bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Gelecekteki çalışmalar için; bu çalışmada dikkate alınan değişkenlerin yanı sıra, guseli birleşimlerdeki guse derinliğinin birleşimin taşıma kapasitesi ve kolon başlığı davranışı üzerindeki etkisi, alt ve üst guseli birleşimlerdeki berkitme etkisi, guseli birleşimlerdeki guse geometrisinin etkisi vb. gibi çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Abaqus, V. (2014). 6.14 Documentation. Dassault Systemes Simulia Corporation, 651(6.2).
- Aggarwal, A. K., & Coates, R. C. (1986). Moment-rotation characteristics of bolted beam-column connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 6(4), 303-318.
- AISC Committee. (2016). Specification for structural steel buildings (ANSI/AISC 360-16). American Institute of Steel Construction, Chicago-Illinois.
- Asada, H., Tanaka, T., Yamada, S., & Matoba, H. (2014). Proposal for seismic retrofit of beam-to-column connection by the addition of H-section haunches to beams using bolt connection. *International Journal of Steel Structures*, 14(4), 865-871.
- Asada, H., Tanaka, T., Yamada, S., & Matoba, H. (2014). Proposal for seismic retrofit of beam-to-column connection by the addition of H-section haunches to beams using bolt connection. *International Journal of Steel Structures*, 14(4), 865-871.
- Ashakul, A. (2004). Finite element analysis of single plate shear connections (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Bickford, J. H. (2007). Introduction to the design and behavior of bolted joints: non-gasketed joints. CRC press.
- Bishay-Girges, N. W. (2020). Improved Steel Beam-Column Connections in Industrial Structures. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(1), 5126-5131.
- Bruneau, M., Eng, P., Uang, C. M., & Rafael Sabelli, S. E. (2011). Ductile design of steel structures. McGraw-Hill Education.
- Bull, L., Palmiere, E. J., Thackray, R. P., Burgess, I. W., & Davison, B. (2015). Tensile behaviour of galvanised grade 8.8 bolt assemblies in fire. *Journal of Structural Fire Engineering*.
- Burdekin, F. M., & Kuntiyawichai, K. (2002). Elastic plastic FE analyses of sub models of connections in steel framed moment resisting buildings under earthquake loading. *Welding in the World*, 46(3), 3-11.

- Chen, C. C., Lin, C. C., & Tsai, C. L. (2004). Evaluation of reinforced connections between steel beams and box columns. *Engineering structures*, 26(13), 1889-1904.
- Chen, W. F. (2011). *Semi-rigid connections handbook*. J. Ross Publishing.
- Chi, B., Uang, C. M., & Chen, A. (2006). Seismic rehabilitation of pre-Northridge steel moment connections: A case study. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(8), 783-792.
- Chi, W. M., Deierlein, G. G., & Ingraffea, A. R. (1997). Finite element fracture mechanics investigation of welded beam-column connections. SAC Joint Venture.
- Chi, W. M., El-Tawil, S., Deierlein, G. G., & Abel, J. F. (1998). Inelastic analyses of a 17-story steel framed building damaged during Northridge. *Engineering Structures*, 20(4-6), 481-495.
- Cobb, F. (2020). *Structural engineer's pocket book*. CRC Press.
- Davison, B., & Owens, G. W. (Eds.). (2012). *Steel designers' manual*. John Wiley & Sons, 883.
- EN 14399-3 (2005) *Structural bolting assemblies – System HR. Hexagon bolt and nut assemblies*.
- EN 14399-4 (2005) *Structural bolting assemblies – System HR. Hexagon bolt and nut assemblies*.
- EN, B. S. (2005). 1-8, *Eurocode 3: design of steel structures, part 1.8: design of joints*. British Standards Institution.
- Federal Emergency Management Agency, SAC Joint Venture, "Interim Guidelines Advisory No.2 Supplement to FEMA-267 Interim Guidelines: Evaluation, Repair, Modification and Design of Welded Steel Moment Frame Structures", Report No. SAC-99-01, June 1999.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Recommended seismic evaluation and upgrade criteria for existing welded steel moment-frame buildings*. FEMA.
- FEMA-355D, 2000, *State of the Art Report on Connection Performance*, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Gross, J. L., Engelhardt, M. D., Uang, C. M., Kasai, K., & Iwankiw, N. (2001). *Modification of existing welded steel moment frame connections for seismic resistance*.
- Hamburger, R. O., & Malley, J. O. (2009). *Seismic design of steel special moment frames*. NIST GCR, 09-917.

- Hashemi, B. H., & Jazany, R. A. (2012). Study of connection detailing on SMRF seismic behavior for unequal beam depths. *Journal of constructional steel research*, 68(1), 150-164.
- HEONG, N. Y. (2005). Design of composite haunch beams and connections for long span applications, Master's thesis.
- HEONG, N. Y. (2005). Design of composite haunch beams and connections for long span applications.
- Ismail, R. E. S., Fahmy, A. S., Khalifa, A. M., & Mohamed, Y. M. (2016). Numerical study on ultimate behaviour of bolted end-plate steel connections. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13, 1-22.
- Jakab, D., Stratan, A., & Dubina, D. (2019). Numerical testing of steel beam-to-column bolted extended end-plate connection with haunches. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 29, p. 02008). EDP Sciences.
- Jaspart, J. P. (2000). General report: session on connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 55(1-3), 69-89.
- Jiang, L. Y., Liu, G. J., & Sun, X. D. (2012). Mechanic Behavior Analysis of Connection with Haunch under Single and Cyclic Load. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 105, pp. 848-852). Trans Tech Publications Ltd.
- Joannides, F., & Weller, A. (2002). *Structural steel design to BS 5950: Part 1*. Thomas Telford.
- Jones, S. W., Kirby, P. A., & Nethercort, D. A. (1983). The analysis of frames with semi-rigid connections—a state-of-the-art report. *Journal of Constructional Steel Research*, 3(2), 2-13.
- Jones, S. W., Kirby, P. A., & Nethercot, D. A. (1983). Closure to “Columns with Semirigid Joints” by Stephen W. Jones, Patrick A. Kirby, and David A. Nethercot (February, 1982). *Journal of Structural Engineering*, 109(4), 1069-1069.
- Lai, J. W., Wang, S., Schoettler, M., & Mahin, S. (2015). Seismic performance assessment of a tall building having Pre-Northridge moment-resisting connections. In *Proceedings, 2nd Conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures* (pp. 10-12).
- Lawson, R. M., & Rackham, J. (1989). *Design of haunched composite beams*. The steel Construction Institute.
- Lawson, R. M., & Rackham, J. (1989). *Design of haunched composite beams*. The steel Construction Institute.
- Lee, C. H. (2002). Seismic design of rib-reinforced steel moment connections based on equivalent strut model. *Journal of Structural Engineering*, 128(9), 1121-1129.

- Lee, C. H., & Uang, C. M. (2001). Analytical modeling and seismic design of steel moment connections with welded straight haunch. *Journal of Structural engineering*, 127(9), 1028-1035.
- Liu, Y. J., & Wang, Y. (2014). The study on mechanical property for Welded haunch-reinforced Seismic connections of Steel Frame. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 501, pp. 485-494). Trans Tech Publications Ltd.
- Malley, J. O., Carter, C. J., & Saunders, C. M. (2000). Seismic design guidelines and Provisions for steel-framed buildings: FEMA 267/267A and 1997 AISC Seismic Provisions. *Earthquake spectra*, 16(1), 179-203.
- Marquez, A. C. (2014). Finite element analysis of welds attaching short doubler plates in steel moment resisting frames (Doctoral dissertation).
- Miller, D. K. (1998). Lessons learned from the Northridge earthquake. *Engineering structures*, 20(4-6), 249-260.
- Mohammad, S., Yahya, N., Abd Rahman, A. B., & Saad, S. (2006) Economic Aspects of The Use Of Partial And Full Strength Joints On Multi-Storey Unbraced Steel Frames.
- Mohammadi, S. G. (2017). Investigation of nonlinear behavior of rigid welded beam to double-I built-up column connection under cyclic loading with Hunch connection using Finite Element Method (FEM). Lorestan University.
- Nasery, M. M., Hüsem, M., Okur, F. Y., & Altunişik, A. C. (2020). Damage effect on experimental modal parameters of haunch strengthened concrete-encased composite column-beam connections. *International Journal of Damage Mechanics*, 29(2), 297-334.
- Nethercot, D. A., & Zandonini, R. (1989). *Structural Connections. Stability And Strength. Chapter 2. Methods Of Prediction Of Joint Behaviour: Beam-To-Column Connections*. Publication of: Jason Consultants SA.
- Ng, Y. H., Shanmugam, N. E., & Liew, J. R. (2012). Experimental studies on composite haunch beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 75, 160-168.
- Oltman, J. A. (2007). Modeling of Slip and Bearing Interactions in Bolted Connections Subjected to Cyclic Loading (Doctoral dissertation, University of Cincinnati).
- Owens, G. (2000). State of the art report: basic problems, design concepts and codification of steel and composite structures: Standards drafting: is there an opportunity for industry to improve value to its customers? General Report. *Journal of Constructional Steel Research*, 55(1-3), 7-27.
- Purkiss, J. (2017). *Structural Design of Steelwork to EN 1993 and EN 1994*. CRC Press. book

- Ravichandran, G. (2020). *Finite Element Analysis of Weld Thermal Cycles Using ANSYS*. CRC Press.
- Ruffley, D. J. (2011). *A finite element approach for modeling bolted top-and-seat angle components and moment connections* (Doctoral dissertation, University of Cincinnati).
- Saberi, H., Saberi, V., Kheyroddin, A., & Gerami, M. (2019). Seismic behavior of frames with bolted end plate connections rehabilitated by welded haunches under near-and far-fault earthquakes. *International Journal of Steel Structures*, 19(2), 672-691.
- SAC Joint Venture, Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council, & California Universities for Research in Earthquake Engineering (CUREe). (1995). *Interim guidelines: evaluation, repair, modification and design of steel moment frames* (Vol. 95, No. 3). SAC Joint Venture.
- SAC Joint Venture. Guidelines Development Committee, SAC Joint Venture, United States. Federal Emergency Management Agency, Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council, & California Universities for Research in Earthquake Engineering. (2000). *Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-frame Buildings* (Vol. 351). Federal Emergency Management Agency.
- Schroeder, J. M. (2012). *Moment-Rotation Curves for Shear Tab Connections Using Finite Element Modeling and Experimental Data* (Doctoral dissertation, University of Cincinnati).
- (SCI 060) Lawson, R. M., & Rackham, J. (1989). *Design of haunched composite beams*. The steel Construction Institute.
- (SCI/BCSA) BCSA British Constructional Steelwork Association. (1995). *Joints in Steel Construction: Moment Connections*. SCI Steel Construction Institute.
- Shi, Y., Shi, G., & Wang, Y. (2007). Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(9), 1279-1293.
- Specification, A. I. S. C. (2005). *Specification for structural steel buildings*. ANSI/AISC, 36010.
- Stratan, A., Maris, C., Dubina, D., & Neagu, C. (2017). 01.29: Experimental prequalification of bolted extended end plate beam to column connections with haunches. *ce/papers*, 1(2-3), 414-423.
- Systèmes, D. (2014). *Abaqus 6.14—Abaqus Analysis User's Guide*. Dassault Systèmes: Vélizy-Villacoublay, France.

- Taranath, B. S. (2016). Structural analysis and design of tall buildings: Steel and composite construction. CRC press.
- Taşpınar, M. S. (2019). Çelik birleşimlerde çeşitli deformasyon mekanizmalarının analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Uang, C. M., Bondad, D., & Lee, C. H. (1998). Cyclic performance of haunch repaired steel moment connections: experimental testing and analytical modeling. *Engineering Structures*, 20(4-6), 552-561.
- Vayas, I., Ermopoulos, J., & Ioannidis, G. (2019). Design of steel structures to eurocodes. Cham: Springer International Publishing.320-321
- Wang, S. (2017). Enhancing seismic performance of tall buildings by optimal design of supplemental energy-dissipation devices (Doctoral dissertation, UC Berkeley).
- Yılmaz, O., & Bekiroğlu, S. (2016). ALIN LEVHALI BULONLU KOLON KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE PANEL BÖLGESİ GÜÇLENDİRMESİNİN ETKİSİ. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2).
- Yu, Q. S. K., Uang, C. M., & Gross, J. (2000). Seismic rehabilitation design of steel moment connection with welded haunch. *Journal of Structural Engineering*, 126(1), 69-78.
- Yussof, M. M., Silalahi, J. H., Kamarudin, M. K., Chen, P. S., & Parke, G. A. (2020). Numerical Evaluation of Dynamic Responses of Steel Frame Structures with Different Types of Haunch Connection Under Blast Load. *Applied Sciences*, 10(5), 1815.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mohammad Saber SADID

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	Kabul Polytechnic University / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2018
Lise	Aydin Faryab Özel Lisesi	2014

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2018-2019	German Agency for International Cooperation (GIZ)	Stajyer

YABANCI DİL

Özbekçe, Farsça, İngilizce, Türkçe, Peştuca

ESERLER

1. Sadid M. S., Yaman, Z. , Nasery, M. M., Ağcakoca E.,(2021, Aralık) Guse Geometresinin Çelik Yapılarda Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesindeki Etkisi , 8. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Güven Plus Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
2. Sadid M. S., Nasery, M. M., Yaman, Z. , Ağcakoca E.,(2021, Aralık) Çelik Guseli Birleşimlerde Berkitme Yerleşim Şeklinin Dayanım ve Davranışa Etkisi, 8. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Güven Plus Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

HOBİLER

Satranç Oynamak, Okumak, Araştırmak