

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YARI-RİJİT KİRİŞ-KOLON
BİRLEŞİMLERİNİN EUROCODE 3'E GÖRE HESABI

İnşaat Müh. Devrim YÜKSEL

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

106202

Prof. Selma Polat
Melak

İSTANBUL, 2001

A. Zafer ÖZTÜRK

Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

Doç. Dr. Namık K. ÖZTORUN
Prof.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİ.....	1
1.1 Birleşimin Yay Olarak Modellenmesi	1
1.1.1 Deformasyonlar.....	6
1.2 Birleşimin Çizgisel Kiriş Denklemi ile Modellenmesi.....	8
1.3 Elastik Tasarım.....	10
1.4 Plastik Analiz.....	11
2. KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	13
2.1 Standart Sınıflandırma Sistemi.....	13
2.1.1 Birleşimin taşıma gücü.....	13
2.1.2 Sınıflandırmada yapılan kabuller.....	15
2.1.3 Birleşimin performans kriterleri.....	15
2.1.3.1 Referans uzunluğu kavramı.....	15
2.1.3.2 Taşıma gücü ve duktilite kavramları.....	16
2.1.4 Sınıflandırma sisteminin oluşturulması.....	18
2.1.4.1 Referans uzunluğunun seçimi.....	18
2.1.4.2 Taşıma gücü sınırının seçilmesi.....	19
2.1.4.3 Gerekli duktilite.....	19
2.2 Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode3'e Göre Sınıflandırılması	21
2.2.1 Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması.....	21
2.2.2 Birleşimlerin taşıma güçlerine göre sınıflandırılması.....	24
3. ÇELİK KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNDE MOMENT-DÖNME FONKSİYONLARI.....	28
3.1 Modelleme Fonksiyonları.....	28
3.1.1 Ramberg-Osgood ve Richard-Abbott fonksiyonları.....	28
3.2 Modelleme İşlemleri.....	32
3.2.1 Seçilmiş Noktalar Metodu.....	32
3.2.2 Nonlineer En Küçük Kareler Metodu.....	33

3.3	Tahmin Hatası.....	33
3.4	Fonksiyonların Kıyaslanması.....	34
3.5	Standart Moment-Dönme Fonksiyonu.....	37
4.	YARI-RİJİT KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN HESAP ESASLARI.	43
4.1	İncelenen Birleşim Türleri.....	43
4.2	Hesaplanan Büyüklükler.....	45
4.2.1	Moment taşıma gücü.....	45
4.2.2	Dönme rijitliği.....	46
4.2.3	Dönme kapasitesi.....	46
4.3	Düğüm Noktası Deformasyonunun Modellenmesi.....	47
5.	EUROCODE3'E GÖRE KAYNAKLI YARI-RİJİT KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN HESABI	48
5.1	İlave Gövde Levhaları.....	48
5.2	Çekme Bölgesi Taşıma Gücü.....	49
5.2.1	Ön bilgi.....	49
5.2.2	Nervürsüz kolon başlığında taşıma gücü.....	52
5.2.3	Kiriş başlığını kolona bağlayan kaynak dikişlerinin taşıma gücü.....	53
5.2.4	Nervürsüz kolon gövdesinin çekme tesirinde taşıma gücü.....	54
5.2.5	Nervürlü kolon.....	56
5.3	Basınç Bölgesi Taşıma Gücü.....	56
5.3.1	Nervürsüz kolon gövdesinde ezilme dayanımı.....	56
5.3.2	Nervürsüz kolon gövdesinde burkulma dayanımı.....	57
5.3.3	Nervürlü kolon.....	58
5.4	Kayma Bölgesi Taşıma Gücü.....	58
5.4.1	Ön bilgi.....	58
5.4.2	Nervürsüz kolonda kayma bölgesi taşıma gücü.....	60
5.4.3	Nervürlü kolonda kayma bölgesi taşıma gücü.....	60
5.5	Birleşimin Taşıma Gücü.....	60
5.6	Birleşimin Dönme Rijitliği.....	62
5.7	Birleşimin Dönme Kapasitesi.....	63
6.	EUROCODE3'E GÖRE YARI-RİJİT BULONLU KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN HESABI	66
6.1	Yapılan Kabuller.....	66
6.1.1	Plastik bulon kuvvetleri dağılımı esas alınarak bulonlu bir kiriş-kolon birleşiminde moment taşıma gücünün hesaplanması.....	66
6.2	Eşdeğer T-Uç Bölgesi.....	67
6.3	Çekme Bölgesi Dayanımı.....	71
6.3.1	Nervürsüz kolon başlığı.....	71
6.3.2	Art-levhalarla takviye edilmiş kolon başlığı.....	74
6.3.3	Nervürle rijitlenmiş kolon başlığı.....	74
6.3.4	Alın levhası.....	77
6.3.5	Nervürle rijitlenmemiş kolon gövdesi.....	81
6.3.6	Nervürlü kolon gövdesi.....	81
6.3.7	Bulonların efektif dayanımları.....	81
6.4	Basınç Bölgesinin Dayanımı.....	82

6.4.1	Nervürsüz kolon gövdesi.....	82
6.4.2	Nervürlü kolon gövdesi.....	84
6.5	Kayma Bölgesinin Dayanımı.....	84
6.6	Moment Taşıma Gücü.....	84
6.7	Dönme Rijitliği.....	85
6.8	Dönme Kapasitesi.....	86
7.	SAYISAL UYGULAMA.....	88
7.1	Moment Taşıma Gücü Hesabı.....	88
7.1.1	Çekme bölgesindeki kolon başlığında potansiyel taşıma gücü hesabı.....	88
7.1.2	Çekme bölgesinde giriş ucundaki alın levhasının potansiyel taşıma gücü hesabı.....	91
7.1.2.1	Alın levhasının giriş başlığı üzerinde devam eden kısmının taşıma gücü...	91
7.1.2.2	Alın levhasının giriş başlıkları arasında kalan kısmının taşıma gücü.....	93
7.1.3	Çekme bölgesindeki bulonların efektif dayanımları.....	95
7.1.4	Çekme bölgesindeki kolon gövdesinin taşıma gücü.....	96
7.1.5	Basınç bölgesindeki kolon gövdesinin taşıma gücü.....	96
7.1.6	Kayma bölgesinde nervürsüz kolon gövdesinin taşıma gücü.....	97
7.1.7	En zayıf bölgenin taşıma gücü.....	97
7.1.8	Tasarım moment taşıma gücü.....	98
7.2	Birleşimin Dönme Rijitliği.....	99
7.2.1	Simetrik yüklü birleşimde dönme rijitliği.....	99
7.2.2	Asimetrik yüklü birleşimde dönme rijitliği.....	102
7.3	Birleşimin Dönme Kapasitesi.....	104
7.3.1	Simetrik yüklü birleşim.....	104
7.3.2	Asimetrik yüklü birleşim.....	104
7.4	Birleşimin Sınıflandırılması.....	104
7.4.1	Simetrik yüklü durum.....	104
7.4.2	Asimetrik yüklü durum.....	105
8.	SONUÇLAR.....	107
8.1	Kuşaklı Çerçevesel.....	107
8.2	Kuşaksız Çerçevesel.....	108
	KAYNAKLAR.....	109
	ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGE LİSTESİ

Üst İndisler

A	Enkesit alanı; Sabit
B	Bulon kuvveti; Sabit
C	Kapasite; Sabit; Rijitlik
D	Deformasyon; Sabit
E	Elastisite modülü; Sabit
F	Kuvvet
G	Kayma modülü
I	Atalet momenti
K	Rijitlik oranı
L	Kiriş açıklığı
M	Moment
M	Eğilme momenti
N	Normal kuvvet
R	Dayanım(Taşıma gücü)
R	Reaksiyon kuvveti
S	Eğim; Rijitlik(Kayma, dönme, vb alt indislerle)
V	Kesme kuvveti
a	Kaynak kalınlığı
b	Genişlik
h	Yükseklik
i	Atalet yarıçapı
ℓ (veya l)	Uzunluk; Referans uzunluğu; açıklık
n	Yay katsayısı
nsayısı
q	Yayıllı yük şiddeti; Boyut parametresi
r	Yarıçap
t	Kalınlık
x	Asal eksen
y	Asal eksen
z	Asal eksen
α	Açı; Burkulma eğrilerinde kusurluluk katsayısı; Katsayı
β	Açı; Burkulma katsayısı; Korelasyon katsayısı
γ	Kısmi güvenlik katsayısı
δ	Deformasyon
λ	Narinlik oranı
μ	Ankastrelik momenti; Katsayı
ρ	Eğrilik
σ	Normal gerilme
τ	Kayma(Kesme) gerilmesi
Ø	Dönme
χ	Azaltma katsayısı (Burkulma durumunda)

Alt İndisler

a	Akma
b	Burkulma; Kiriş
bas	Basit kiriş
bir	Birleşim
c	Basınç; Kolon; Kapasite
d	Tasarım

eff	Efektif
el	Elastik
f	Başlık
i	Çubuk ucu
j	Çubuk ucu
max	Maksimum
min	Minimum
n	Normal; Yay katsayısı
net	Net
o	İlk; Ankastrelik; Referans
p	Levha; Sabit; Plastik
pl	Plastik
R	Taşıma gücü
t	Çekme; Sabit
u	Azami
V	Kesme kuvveti
v	Kayma
w	Gövde
x	Eksen
y	Akma
y	Eksen



KISALTMA LİSTESİ

EC3 Eurocode 3
AISC American Institute of Steel Construction



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Kiriş ve birleşim modeli(Geschwinder, 1991)..... 1
Şekil 1.2	Kirişte yükleme grupları(Arda ve Uzgider, 1986)..... 2
Şekil 1.3	Düzgün yaytlı yüklü basit kirişte kesit tesirleri..... 2
Şekil 1.4	Basit giriş mesnet noktalarında yay momentleri ve fiktif yüklerden ileri gelen eğilme momenti diyagramları(Geschwinder, 1991)..... 4
Şekil 1.5	Kirişte eğilme momenti diyagramı(Geschwinder, 1991)..... 6
Şekil 1.6	Eğilme momenti katsayıları ve rijitlik oranı(Geschwinder, 1991)..... 6
Şekil 1.7	Eşlenik giriş(Geschwinder, 1991)..... 7
Şekil 1.8	Deformasyonda azalma ve rijitlik oranı(Geschwinder, 1991)..... 8
Şekil 1.9	Çubuğa etkiyen uç kuvvetleri(Çakıroğlu ve Çetmeli, 1991)..... 9
Şekil 1.10	Çizgisel giriş diyagramı(Geschwinder, 1991)..... 10
Şekil 1.11	Moment-dönme-rijitlik diyagramları(Geschwinder, 1991)..... 10
Şekil 1.12	Yarı-rijit bağlı girişte plastik analiz(Geschwinder, 1991)..... 12
Şekil 1.13	Tipik bir moment-eğrilik diyagramı(Arda ve Uzgider, 1986)..... 12
Şekil 2.1	Kirişin rölatif dönmesini esas alan moment-dönme eğrisi(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 14
Şekil 2.2	Birleşimin rölatif dönmesi(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 14
Şekil 2.3	Nonlinear birleşim davranış bölgeleri(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 15
Şekil 2.4	Birleşimin doğrusal moment-dönme ilişkisi(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 16
Şekil 2.5	Tipik yarı-rijit bir birleşimde moment-dönme bağıntısı(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 16
Şekil 2.6	Farklı referans uzunluklarını haiz birleşimlerde (M - Ø) eğrileri(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 17
Şekil 2.7	Taşıma gücü ve düktilite sınırları(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 17
Şekil 2.8	Gerekli düktilite ve birleşimin (M - Ø) eğrisi (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 18
Şekil 2.9	İlk rijitliklerin boyutsuz sınıflandırılması(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 19
Şekil 2.10	Birleşimlerin ilk rijitlik değerlerinin ve taşıma güçlerinin boyutsuz olarak sınıflandırılması(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 20
Şekil 2.11	Boyutsuz sınıflandırma diyagramları(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)..... 21
Şekil 2.12	Kuşaklı çerçevede tavsiye edilen sınıflandırma koşulları(Eurocode 3, 1993)..... 22
Şekil 2.13	Kuşaksız çerçevede tavsiye edilen sınıflandırma koşulları(Eurocode 3, 1993)..... 23
Şekil 2.14	Kiriş-kolon birleşimlerinde moment-dönme karakteristiği esas alınarak yapılmış sınıflandırma örnekleri(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)..... 25
Şekil 2.15	Kiriş-kolon birleşimlerinin EC3'e göre standart sınıflandırılması(Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995)..... 26
Şekil 3.1	Boyutsuz halde Ramberg-Osgood fonksiyonu(Attiogbe ve Morris, 1991)..... 29
Şekil 3.2	Boyutsuz halde Richard-Abbott fonksiyonu(Attiogbe ve Morris, 1991).... 31
Şekil 3.3	Ramberg-Osgood ve Richard-Abbott fonksiyonlarının asimptotları(Attiogbe ve Morris, 1991)..... 31
Şekil 3.4	Moment ve dönme değerlerindeki fazlalıklar(Attiogbe ve Morris, 1991).... 34
Şekil 3.5	Ramberg-Osgood En Küçük Kareler ve Seçilmiş Noktalar ve Kübik B-freze(Attiogbe ve Morris, 1991)..... 35

Şekil 3.6	Richard-Abbott En Küçük Kareler ve Seçilmiş Noktalar Metodu(Attiogbe ve Morris, 1991).....	36
Şekil 3.7a	Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood : Tek gövde köşebentli birleşim(Attiogbe ve Morris, 1991).....	40
Şekil 3.7b	Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood : Çift gövde köşebentli birleşim(Attiogbe ve Morris, 1991).....	40
Şekil 3.7c	Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood eğrileri: Başlık levhali birleşim(Attiogbe ve Morris, 1991).....	41
Şekil 3.7d	Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood eğrileri : Alın levhali birleşim(Attiogbe ve Morris, 1991).....	41
Şekil 3.7e	Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood eğrileri : Üst va alt köşebentli birleşim(Attiogbe ve Morris, 1991).....	42
Şekil 4.1	Kiriş-kolon birleşimlerinin tipleri(Yardımcı, Yorgun ve Arda, 1995).....	43
Şekil 4.2	Kiriş-kolon birleşimleri(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	45
Şekil 4.3	Kiriş-kolon birleşimlerinde kritik bölgeler (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	45
Şekil 4.4	Birleşimin şekil değiştirme birleşenleri(Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).....	47
Şekil 5.1	İlave gövde levhası(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	49
Şekil 5.2	İlave gövde levhasında bulonların konumlandırılması(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	49
Şekil 5.3	Yanal çekmeye maruz kaynaklı birleşimde efektif uzunluk(Eurocode 3, 1993).....	51
Şekil 5.4	Kiriş-kolon birleşim boyutları(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)....	53
Şekil 5.5	Kiriş başlığından aktarılan kuvvetin neden olduğu gerilme dağılımı(Hendrick ve Murray, 1984).....	54
Şekil 5.6	Gövde burkulma dayanımlarında efektif genişlik(Eurocode 3, 1993).....	57
Şekil 5.7	Diyagonal nervürlerle takviye edilmiş kolon gövde panelleri(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	65
Şekil 6.1	T-uç bölgesi boyutları(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	69
Şekil 6.2	T-uç bölgesinde akma şekilleri ve göçme modları(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	70
Şekil 6.3	Birleşim geometrisinin T-uç bölgesinin göçme moduna etkisi(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	71
Şekil 6.4	Nervürsüz kolon başlığında akma çizgileri(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	75
Şekil 6.5	Çekme bölgesinde art-levhasıyla takviye edilmiş kolon başlığı(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	76
Şekil 6.6	Nervürlü kolon başlığında eşdeğer T-uç bölgelerinin efektif uzunlukları(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	79
Şekil 6.7	Alın levhasında eşdeğer T-uç bölgelerinin efektif uzunlukları(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	83
Şekil 7.1	Nervürsüz bulonlu kiriş-kolon birleşimi(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	88
Şekil 7.2	Nervürsüz kolon başlığında çekme bölgesi(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	89
Şekil 7.3	Alın levhasının kiriş başlığı üzerinde devam eden kısmını sembolize eden eşdeğer T-uç bölgesi(ECCS-Technical Committee 8, 1992)	91
Şekil 7.4	Alın levhasının kiriş başlıkları arasında kalan kısmının eşdeğer T-uç bölgesi(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	93

Şekil 7.5	Bulon sıralarının taşıma gücü(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	95
Şekil 7.6	Basınç bölgesindeki kolon başlığı(ECCS-Technical Committee 8, 1992)..	96
Şekil 7.7	Simetrik yüklü durum için birleşim kuvvetleri(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	98
Şekil 7.8	Asimetrik yüklü durum için birleşim kuvvetleri(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	99
Şekil 7.9	Birleşimin sınıflandırılması(ECCS-Technical Committee 8, 1992).....	106



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Kiriş-kolon birleşimlerinde eşdeğer kiriş uzunlukları(Annex Jof Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	18
Çizelge 2.2 Birleşimlerin tasarımında yapılan kabuller(Eurocode 3, 1993).....	27
Çizelge 3.1 Beş tip birleşimde hata tahmini ve fonksiyon parametreleri(Attigbe ve Morris, 1991).....	39
Çizelge 5.1 EC3'e göre çelik malzeme sınıfları(Eurocode 3, 1993).....	50
Çizelge 5.2 EC3'e göre kaynak dikişlerinde korelasyon katsayısı değerleri(Eurocode 3, 1993).....	51
Çizelge 5.3 EC3'e göre enkesitlerin sınıflandırılması(Eurocode 3, 1993).....	52
Çizelge 5.4 EC3'e göre kısmi güvenlik katsayıları(Eurocode 3, 1993).....	57
Çizelge 5.5 EC3'e göre çelik malzemede korelasyon katsayısı değerleri(Eurocode 3, 1993).....	55
Çizelge 5.6 Enkesitlere göre burkulma eğrileri seçimi(Eurocode 3, 1993).....	61
Çizelge 5.7 χ azaltma katsayıları(Eurocode 3, 1993).....	62
Çizelge 6.1 EC3'e göre bulonların tasarım dayanımı(Eurocode 3, 1993).....	73
Çizelge 6.2 EC3'e göre bulon çapını esas alan tasarım yatak dayanımı(Eurocode 3, 1993).....	73
Çizelge 6.3 Nervürle rijitlenmiş kolon başlıklarında α değerleri(Annex Jof Eurocode 3, 1993-1-1:1992).....	78

ÖNSÖZ

Geleneksel hesap metodlarının, çelik kiriş-kolon birleşimlerinin gerçek davranışlarını yansıtmadığı, rijit veya mafsal kabul edilen birleşimlerin aslında yarı-rijit diye adlandırılan bir davranış gösterdiği, yapılan deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Karmaşık numerik analiz uygulamalarının, gelişen teknolojiye paralel olarak, bilgisayarlarda kolaylıkla uygulanabilir hale gelmesi, tasarımcıları, birleşimlerin gerçek davranışlarını esas alan, yapısal modellemelere yönlendirmiştir. Bu yüzden Avrupa ülkelerinde ve Amerika'da şartnamelerin revizyonu yoluna gidilmiş ve konu hakkındaki deneysel ve analitik çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Ancak ne yazık ki, memleketimizde bu konu hakkında yeterli çalışma yapılmamış ve uygulama platformu oluşmamıştır.

Bu tez çalışmasında, yarı-rijit, çelik kiriş-kolon birleşimlerinin Eurocode3'e göre hesabı incelenmiştir. İlk etapta birleşimin gerçek davranışının analitik olarak modellenmesi, davranışı en iyi ifade eden moment-dönme karakteristiğinin tanıtılması ve birleşimlerin sınıflandırılması irdelenmiştir. Sonraki aşamada, birleşimlerin detaylandırılması, rijitlik ve dönme kapasitelerinin hesabı özetlenmiş ve sayısal bir uygulama sunulmuştur. Sonuç bölümünde ise çelik yapıların, yarı-rijit çerçevesendirilmesinin sağlayacağı avantajlar özetlenmiştir.

Çalışmalarım sırasında, ortaya çıkan aksaklıkları hoşgörüle karşılayan, hiçbir konuda desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof.A.Zafer ÖZTÜRK'e , kaynak bulmam konusunda bana çok yardımcı olan hocam sayın Prof.Zekeriya POLAT'a , bilgisayarda karşılaştığım sorunların çözümünde yardımcı olan meslektaşım Arş.Gör.Nuri ÖZHENDEKÇİ'ye ve her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ediyorum.

ÖZET

Çelik kiriş-kolon birleşimleri, yaygın hesap metodlarında, rijit veya mafsallı olarak sınıflandırılırlar. Teorik varsayımları baz alan bu sınıflandırmada, rijit bir düğüm noktasında kesişen eleman eksenleri arasında yerel bir dönme olmadığı düşünülmektedir ve dolayısıyla dıştan etkiyen eğilme momenti elemanlara rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılmaktadır. Mafsallı bir düğüm noktasında ise kolona bağlanan kiriş moment aktarmamakta ve uçlarından dönebilmektedir. Gerçekte ise bir düğüm noktası ne tam rijit, ne de tam mafsaldır ve yarı-rijit diye adlandırılan nonlinear bir davranış gösterir.

Yarı-rijit davranışı esas alan araştırmaların sonuçları yük-deplasman, moment-deplasman veya moment-dönme eğrileri olmak üzere çeşitli biçimlerde verilmiş, fakat birleşim davranışını en iyi moment-dönme eğrilerinin gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla birleşimlerin gerek sınıflandırılması, gerekse taşıma gücü hesapları moment-dönme eğrileri esas alınarak yapılmıştır. Deneysel çalışmaların incelenmesine paralel olarak, moment-dönme fonksiyonlarının türetilmesi konusunda yapılan çalışmalar da incelenmiştir.

Konuyla ilgili temel teorik bilgiler derlenip, özetlendikten sonra, kaynaklı ve bulonlu yarı-rijit birleşimlerin Eurocode3'e göre hesap metodları, geniş kapsamlı olarak tanıtılmış ve bu hesap metodlarını içeren sayısal bir uygulamaya yer verilmiştir. Sonuç bölümünde ise yarı-rijit tasarımın yapı maliyetinde sebep olacağı tasarruflar özetlenmiştir.

Anahtar kelimeler:

- 1-Yarı-rijit
- 2-Birleşim
- 3-Çelik
- 4-Kaynaklı
- 5-Bulonlu

ABSTRACT

According to widespread methods of structural analysis, steel beam-to-column connections are classified as either rigid or pinned. This classification is based on two theoretical assumptions: In a rigid joint, it is assumed that there is not a relative rotation between the axis of the elements forming the connection, thus the external bending moment is distributed between the components with respect to their stiffness ratio. On the other hand, the beam connected to a pinned joint is supposed to not to transfer the bending moment to the column, hence the ends of the beam behave as pins. In practise the actual behaviour of the connection will fall somewhere between these extremes, giving what is generally termed semi-rigid behaviour.

Conclusions of conducted research on the subject have been reported in the terms of load-deformation, moment-deformation or moment-rotation curves, but moment –rotation curves are accepted to be the most appropriate in order to express the connection behaviour. So the classification of connections and calculation of design resistance characteristics are based on moment-rotation curves. In addition to conclusions of the experimental research the derivation of moment-rotation functions is also presented in this study.

After summarizing the basic theoretical knowledge about the subject, the calculation procedures of welded and bolted semi-rigid beam-to-column connections according to Eurocode3 is introduced. Furthermore an example on connection properties is presented. In the end benefits of semi-rigid framing is summarized.

Keywords:

- 1-Semi-rigid
- 2-Connection
- 3-Steel
- 4-Welded
- 5-Bolted

1. KIRIŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİ

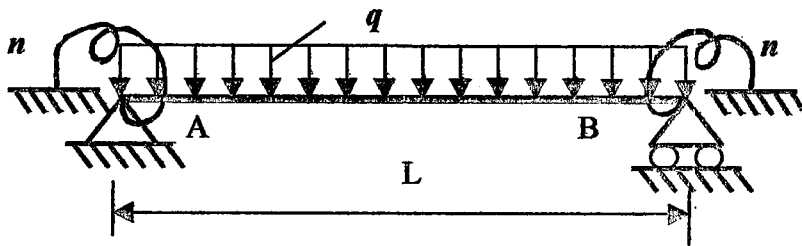
Kiriş-kolon birleşimleri geleneksel olarak rijit veya mafallı olmak üzere sınıflandırılırlar. İdealleştirilmiş varsayımlara dayalı bu sınıflandırmada, rijit bir düğüm noktasında kesişen elemanların eksenleri arasında yerel bir dönme olmadığı düşünülmektedir. Buna bağlı olarak da, dıştan etkiyen eğilme momenti elemanlara rijitlikleriyle orantılı olarak dağılmaktadır. Mafsallı bir düğüm noktasında ise, kolona bağlanan kiriş moment aktarmamakta ve uçlarından dönebilmektedir (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995). Uygulamada ise bir düğüm noktası ne tam rijit, ne de tam mafaldır ve yarı-rijit diye adlandırılan bir davranış gösterir. Yarı-rijit davranışta, kirişten kolona moment aktarılırken yerel dönmeler de oluşmaktadır. Dolayısıyla kiriş ortasındaki moment ve sehim değeri azalmakta, kirişin ucu ile ortasındaki moment dengelemesi sonucunda ise kolona aktarılan moment miktarı küçülmektedir.

1.1 Birleşimin Yay Olarak Modellenmesi

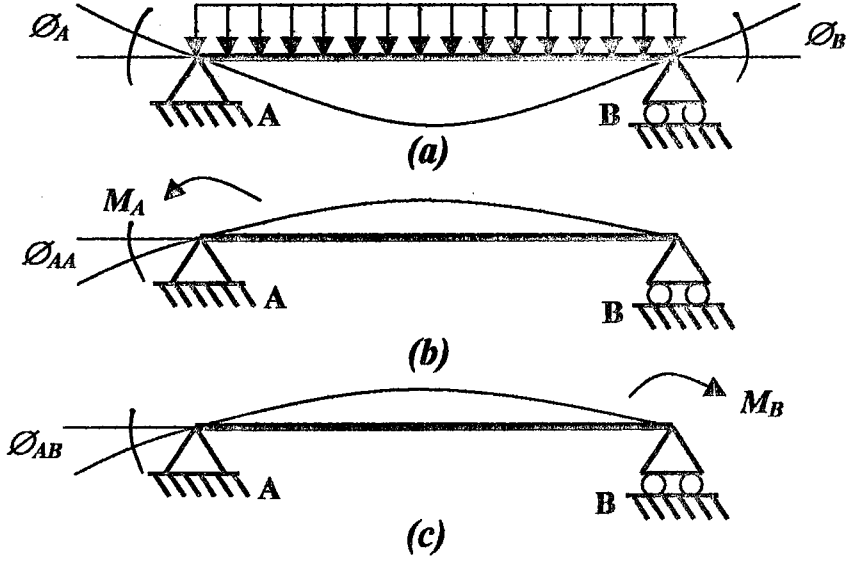
Kiriş-kolon birleşimlerinin davranış özelliklerini irdelemek amacıyla , düzgün yayılı yüklü basit bir kirişi ele alalım. Bu kirişin her iki mesnedine birer adet döner yayın tespit edildiğini farz edelim (Şekil 1.1). Böylece mesnet noktalarında birleşimin tam mafsal, tam rijit ve yarı-rijit davranışlarını matematiksel olarak modelleyelim (Göğüş, 1978). Birleşimdeki dönmeye ϕ_{bir} , yay katsayısına n denirse birleşimdeki moment M_{bir} şöyle olacaktır;

$$M_{bir} = n\phi_{bir} \quad (1.1)$$

Süperpozisyon kanunu gereği, yüklerin sisteme ayrı ayrı tesir etmesiyle meydana gelen gerilme veya şekil değiştirmelerin toplamı, yüklerin aynı anda tesir etmesiyle meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmelerin toplamına eşittir (Göğüş, 1978). Dolayısıyla A noktasındaki dönme üç ayrı yükleme grubunun süperpozisyonu olarak hesaplanabilir (Şekil 1.2). Süperpozisyon kanunu ise, Hooke kanunu ile Birinci Mertebe teorisinin doğal bir sonucudur. Hooke kanunu ve Birinci Mertebe teorisini esas alan bir modelleme kuşkusuz lineer elastik bir



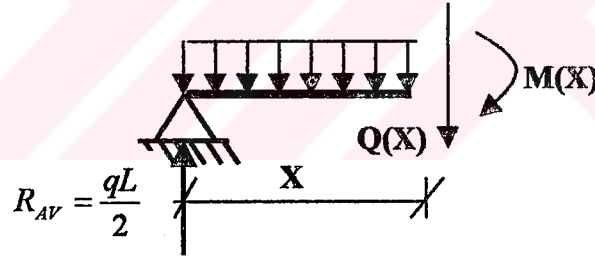
Şekil 1.1 Kiriş ve birleşim modeli (Geschwinder, 1991)



Şekil 1.2 Kirişte yükleme grupları (Geschwinder, 1991)

modelleme olacaktır.

A noktasındaki dönmeyi her bir yükleme grubu için ayrı ayrı hesaplayalım. Düzgün yayılı yüklü basit kirişte (Şekil 1.2a) A noktasının dönmesini integrasyon metodu ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Kadioğlu, Engin ve Bakioğlu, 1992). İntegrasyon metodunda, kirişin, uzama ve kayma rijitliklerinin sonsuz olduğu kabul edilir.



Şekil 1.3 Düzgün yayılı yüklü basit kirişte kesit tesirleri

Kirişin eğilme momenti şöyle olacaktır:

$$M(x) = \frac{qL}{2}x - \frac{qx^2}{2} \quad (1.2)$$

Kirişin elastik eğrisinin ikinci dereceden türevi, moment denkleminin eğilme rijitliğine bölümü ve ters işaretlisi olduğundan;

$$v''(x) = \frac{q}{2EI}(x^2 - xL) \quad (1.3)$$

olur. Sistemin dönme denklemi, kirişin elastik eğrisinin birinci dereceden türevi olduğundan;

$$v'(x) = \int v''(x) dx = \frac{q}{2EI} \left(\frac{x^3}{3} - \frac{x^2}{2} L \right) + C_1 \quad (1.4)$$

dir. Sistemin elastik eğri denklemi şöyle olacaktır:

$$v(x) = \int v'(x) dx = \frac{q}{2EI} \left(\frac{x^4}{12} - \frac{x^3}{6} L \right) + C_1 x + C_2 \quad (1.5)$$

Sınır koşulları dikkate alınırsa integral sabitleri şöyle hesaplanabilir;

$x = 0$ için $v(x) = 0$ olur. Bu durumda $C_2 = 0$ olacaktır.

$x = L$ için $v(x) = 0$ olur. Bu durumda $C_1 = \frac{qL^3}{24EI}$ olacaktır.

İntegral sabitleri bulunduktan sonra sistemin dönme denklemi aşağıdaki tarzda olur:

$$v'(x) = \frac{qx^3}{6EI} - \frac{qx^2L}{4EI} + \frac{qL^3}{24EI} \quad (1.6)$$

dır. A noktasındaki dönme ise aşağıda hesaplanmıştır:

$$\phi_A = v'(A) = v'(x=0) = \frac{qL^3}{24EI} \quad (1.7)$$

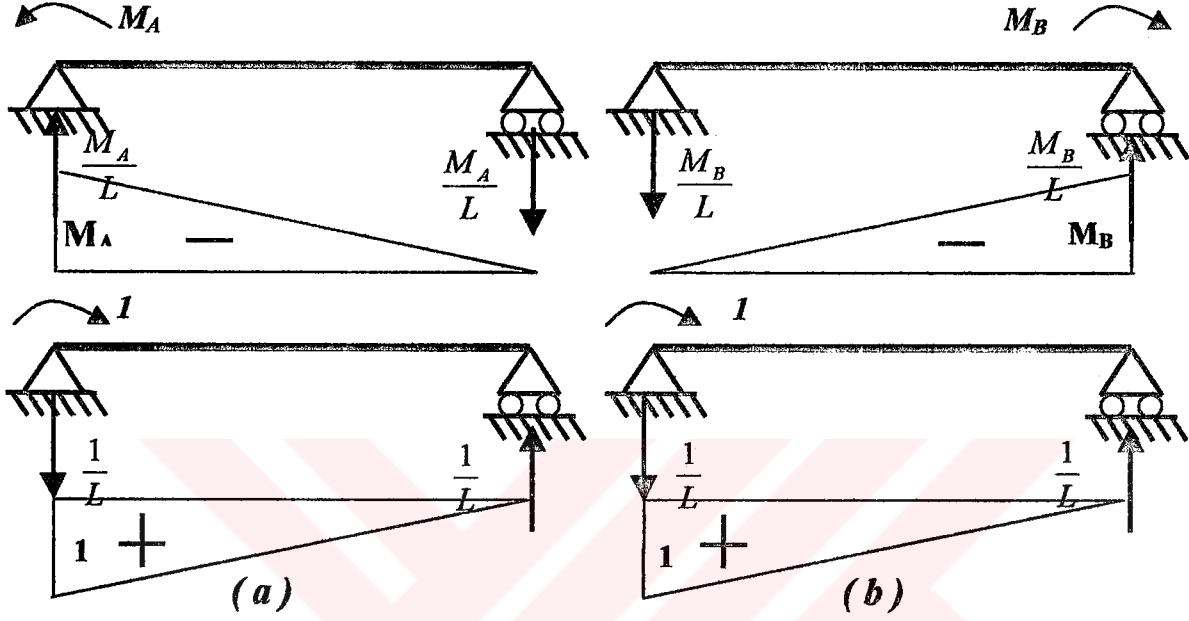
A noktasındaki yayın uygulayacağı momentin sebep olacağı dönme, ϕ_{AA} , virtüel iş teoreminden hesaplanabilir (Şekil 1.2b). Virtüel kuvvetlerle hakiki yer değiştirmelerin yapacağı iş virtüel dış iş olarak adlandırılır ve pasif iş gibi hesaplanır (Göğüş, 1978). ϕ_{AA} , A noktasındaki momentin ve fiktif yükün moment diyagramlarının integral çarpımıyla bulunur (Şekil 1.4a). Bu durumda M_i fiktif yükten ileri gelen moment olarak alınır ;

$$\phi_{AA} = \int \frac{MM_i}{EI} dx = -\frac{M_A L}{3EI} \quad (1.8)$$

olacaktır. B noktasındaki yayın uygulayacağı momentin sebep olacağı dönme, ϕ_{AB} , benzer şekilde virtüel iş teoreminden hesaplanabilir (Şekil 1.2c). ϕ_{AB} , B noktasındaki momentin ve

A noktasındaki fiktif yükün moment diyagramlarının integral çarpımıyla bulunur (Şekil 1.4b).

$$\phi_{AB} = \int \frac{MM_i}{EI} dx = -\frac{M_B L}{6EI} \quad (1.9)$$



Şekil 1.4 Basit kiriş mesnet noktalarında yay momentleri ve fiktif yüklerden ileri gelen eğilme momenti diyagramları (Geschwinder, 1991)

Tüm yüklemeleri göz önünde bulunduracak olursak, A noktasındaki sonuç dönme miktarı şöyle olacaktır:

$$\phi_{sonuç} = \phi_A + \phi_{AA} + \phi_{AB} \quad (1.10)$$

A noktasındaki dönme, aynı zamanda birleşimin dönmesine eşit olduğuna göre, gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$\phi_{bir} = \frac{M_{bir}}{n} = \frac{qL^3}{24EI} - \frac{M_A L}{3EI} - \frac{M_B L}{6EI} \quad (1.11)$$

olur. Sistemin ve yüklemenin simetrik olduğunu, yay momentinin de kiriş uç momentine eşit olduğunu dikkate alacak olursak; $M_{bir} = M_A = M_B$ olacaktır. (1.11) eşitliğinde gerekli sadeleştirmeler yapılırsa, birleşim momenti şöyle olur:

$$M_{bir} = \frac{qL^3 / 24EI}{\frac{1}{n} + \frac{L}{2EI}} \quad (1.12)$$

Birleşim davranışını en güzel biçimde ifade edebilmek için kiriş rijitliği ile yay katsayısı arasındaki orana u denilirse;

$$u = \frac{(EI / L)}{n} \quad (1.13)$$

olur. Buradan,

$$n = \frac{EI}{uL} \quad (1.14)$$

olacaktır. (1.12) eşitliğinde gerekli sadeleştirmeler yapılırsa;

$$M_{bir} = \frac{qL^2 / 12}{2u + 1} \quad (1.15)$$

çıkar. Kiriş eğilme momenti diyagramında (Şekil 1.5) oluşacak maksimum pozitif moment aşağıda verilmiştir:

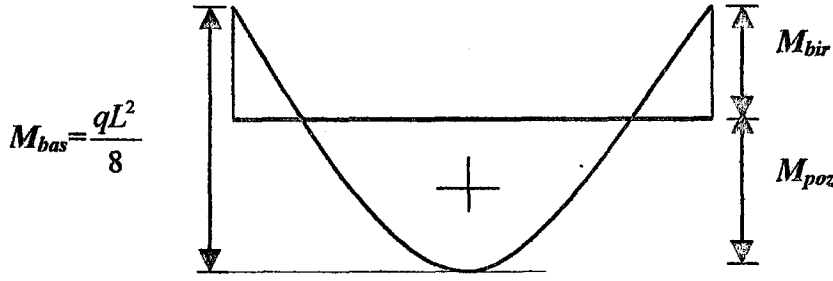
$$M_{poz} = \frac{qL^2}{8} - \frac{qL^2 / 12}{2u + 1} \quad (1.16)$$

Bu denklemde gerekli sadeleştirmeler yapılırsa, aşağıdaki ifade elde edilir:

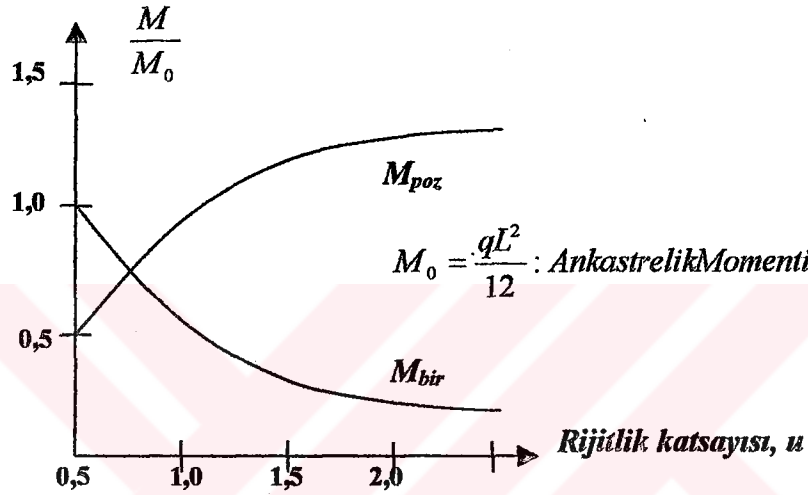
$$M_{poz} = \frac{6u + 1}{4u + 2} \frac{qL^2}{12} \quad (1.17)$$

(1.15) ve (1.17) denklemleri ile hem birleşim momenti, hem de kirişte oluşan maksimum pozitif moment, ankastrelik momentinin ($qL^2 / 12$) belli bir katsayı ile çarpımı tarzında ifade edilmiştir. Eğer bu katsayılar, yay katsayısının bir fonksiyonu olarak nitelenirse kirişin davranışı belirlenebilir (Şekil 1.6) (Geschwinder, 1991).

Kiriş rijitliğinin artışıyla birleşimin mafsala yaklaşacağı, azalışıyla ise ters orantılı olarak birleşimin daha rijit davranacağı aşikardır.



Şekil 1.5 Kirişte eğilme momenti diyagramı (Geschwinder, 1991)



Şekil 1.6 Eğilme momenti katsayıları ve rijitlik oranı (Geschwinder, 1991)

1.1.1 Deformasyonlar

Kirişin orta noktasının çökmesini Mohr Metodu ile hesaplayalım. Şekil 1.7'de hakiki yüklerle yüklenmiş kiriş ve eşlenik kiriş görülmektedir. Kirişin üstündeki M/EI diyagramı basit kiriş etkisini, altındaki ise birleşim momenti etkisini göstermektedir.

Mohr sisteminde M/EI yayılı yükü etkisi altında hesaplanan eğilme momenti ve kesme kuvveti gerçek sistemdeki çökme ve dönme değerlerini verir. Gerçek sistemin eksen boyutları ile Mohr sisteminin eksen boyutları aynıdır (Kadioğlu, Engin ve Bakioglu, 1992).

Eşlenik yüklü sistemde öncelikle mesnet reaksiyon kuvveti R_A 'yı hesaplayalım;

$$R_A = \frac{M_{bas}L}{3EI} - \frac{M_{bir}L}{2EI} \quad (1.18)$$

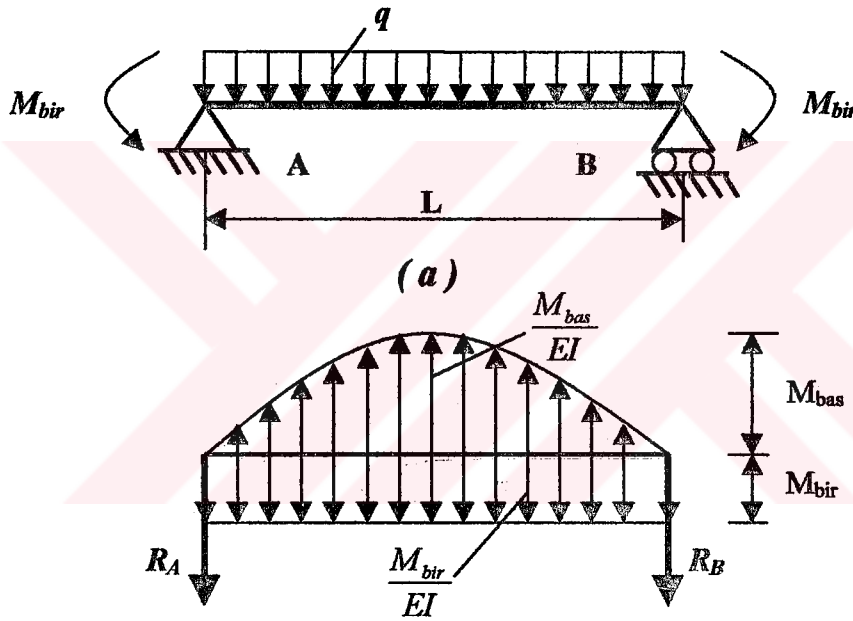
olur. Açıklık ortasındaki çökme miktarı aşağıdaki gibi olacaktır:

$$D = \frac{5M_{bas}L^2}{48EI} - \frac{M_{bir}L^2}{8EI} \quad (1.19)$$

(1.19) Denklemindeki ilk terim düzgün yayılı yüklü basit kiriş deformasyonunu, ikinci terim ise uç momentlerinin tesiriyle oluşan deformasyonu gösterir. Bu deformasyonları sırasıyla D_{bas} ve D_{-M} ile gösterelim. Eğer (1.15) denklemi (1.19)'da yerine konursa ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa;

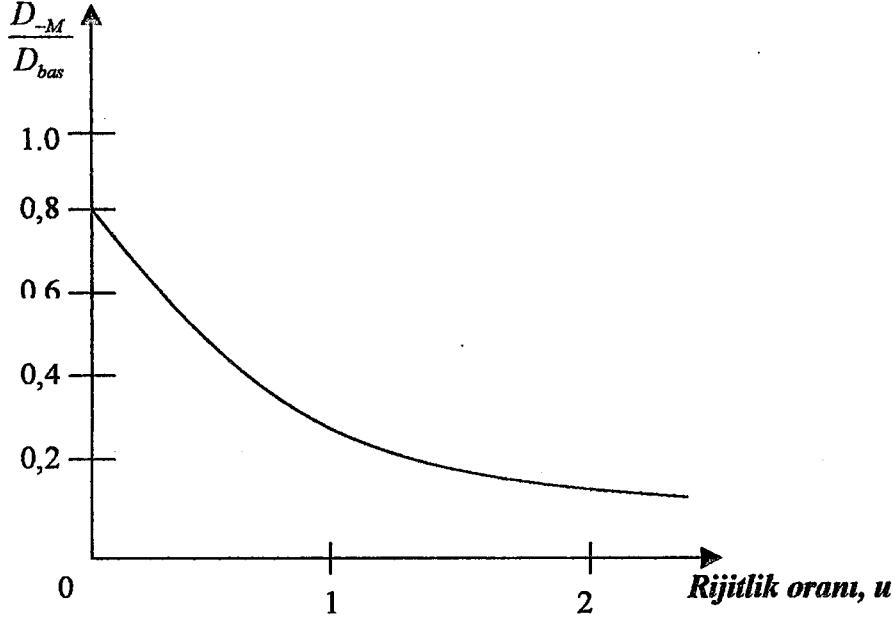
$$\frac{D_{-M}}{D_{bas}} = \frac{4}{5(2u + 1)} \quad (1.20)$$

olur (Geschwinder, 1991).



Şekil 1.7 Eşlenik kiriş (Geschwinder, 1991)

Deformasyon oranı, rijitlik oranının bir fonksiyonu olarak ele alınabilir (Şekil 1.8). Birleşimin rijit olması durumunda, $u = 0$, deformasyon basit kiriş deformasyonunun %80'i kadar azalır. Rijitlik oranının artan değerleri için, deformasyon oranındaki azalma da küçülecektir (Geschwinder, 1991).



Şekil 1.8 Deformasyonda azalma ve rijürlük oranı (Geschwinder, 1991)

1.2 Birleşimin Çizgisel Kiriş Denklemi ile Modellenmesi

Yarı-rijit çelik kiriş-kolon birleşimlerinin modellenmesi amacıyla kullanılan diğler bir metod çizgisel kiriş denklemidir.

Çubuğun i, j uçlarındaki $\varnothing_i, \varnothing_j$ dönmeleri ile yüklerden meydana gelen M_{ij}, M_{ji} uç momentleri birim yer değıştirme sabitleri de kullanılarak süperpozisyon ile elde edilen;

$$M_{ij} = m_{i\varnothing_i}\varnothing_i + m_{i\varnothing_j}\varnothing_j + \mu_{ij} \quad (1.21)$$

$$M_{ji} = m_{j\varnothing_i}\varnothing_i + m_{j\varnothing_j}\varnothing_j + \mu_{ji} \quad (1.22)$$

formülleri ile bulunur (Çakıroğlu ve Çetmeli, 1991). Bu denklemleri Şekil 1.9'da görülen çubuk için düzenlersek;

$$M_{ij} = \mu_{ij} + \frac{4EI}{L} \varnothing_i + \frac{2EI}{L} \varnothing_j \quad (1.23)$$

$$M_{ji} = \mu_{ji} + \frac{2EI}{L} \varnothing_i + \frac{4EI}{L} \varnothing_j \quad (1.24)$$

olur. Bu denklemlerde gerekli düzenlemeleri yaparsak;

$$\frac{6EI}{L} \varnothing_i = 2 (M_{ij} - \mu_{ij}) - (M_{ji} - \mu_{ji}) \quad (1.25)$$

$$\frac{6EI}{L} \varnothing_j = - (M_{ij} - \mu_{ij}) + 2 (M_{ji} - \mu_{ji}) \quad (1.26)$$

olacaktır. (1.25) ve (1.26) denklemlerini taraf tarafa çıkarırsak;

$$\frac{6EI}{L} (\varnothing_i - \varnothing_j) = 3 (M_{ij} - M_{ji}) - 3 (\mu_{ij} - \mu_{ji}) \quad (1.27)$$

çıkar. Aşağıdaki eşitlikler geçerli olduğuna göre;

$$M_{ij} = - M_{ji} \quad (1.28)$$

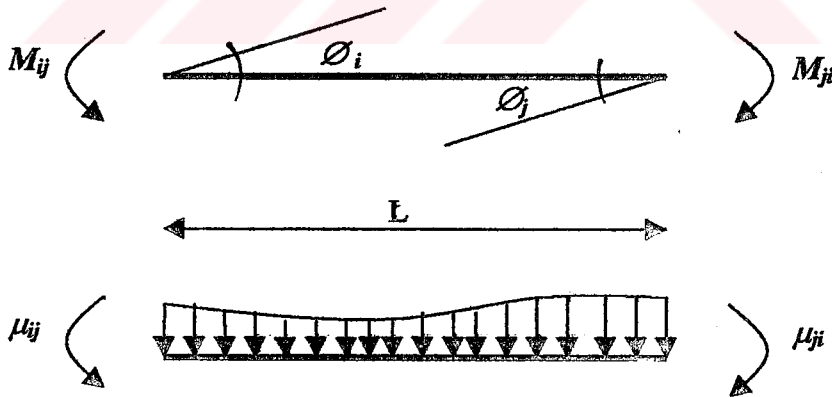
$$\mu_{ij} = - \mu_{ji} \quad (1.29)$$

$$\varnothing_i = - \varnothing_j \quad (1.30)$$

(1.27) denklemini yeniden düzenlersek;

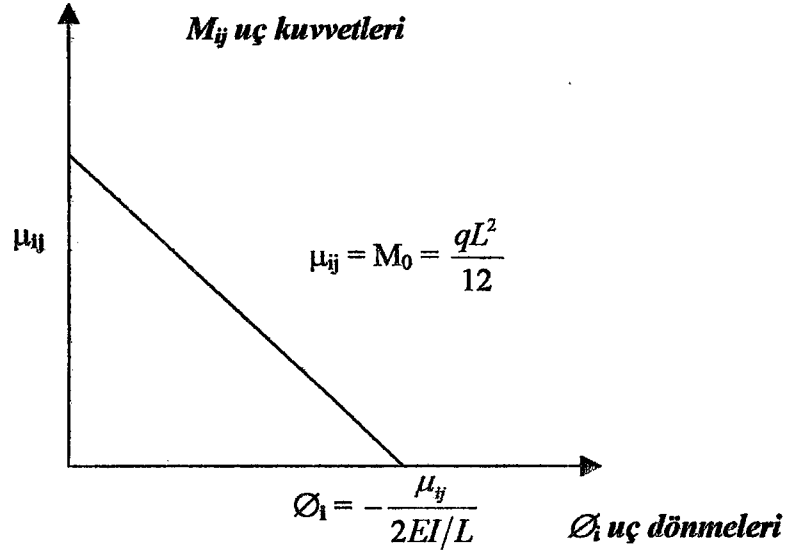
$$\frac{2EI}{L} \varnothing_i = M_{ij} - \mu_{ij} \quad (1.31)$$

elde edilir.



Şekil 1.9 Çubuğa etkiyen uç kuvvetleri (Çakıroğlu ve Çetmeli, 1991)

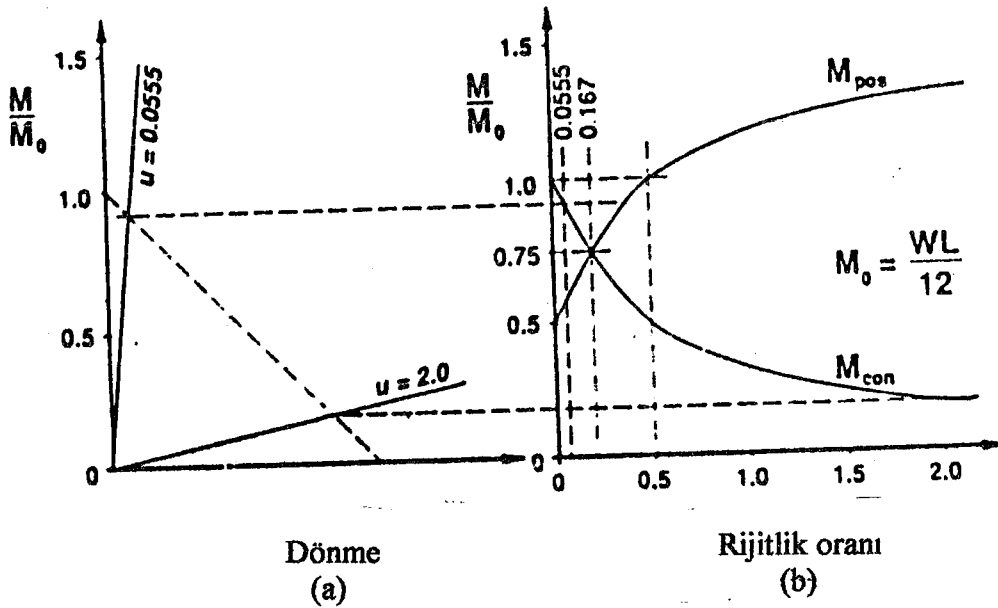
(1.31) eşitliğinden anlaşılacağı üzere $\varnothing_i = 0$ olması tam ankastrelik şartıdır ve bu durumda $M_{ij} = \mu_{ij}$ olur. $M_{ij} = 0$ olması tam mafsallık şartıdır ve bu durumda $\varnothing_i = - \mu_{ij} / (2EI/L)$ olur (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Çizgisel kiriş diyagramı (Geschwinder, 1991)

1.3 Elastik Tasarım

Ankastrelik uç momentinin %20'sinden azını aktaran birleşimler mafsallı, %90'ından fazlasını aktaran birleşimler ise rijit olarak adlandırılır. Mafsallı birleşimlerde rijitlik oranı 2'den büyük, rijit birleşimlerde ise 0,0555'den küçüktür (Şekil 1.11). Bu iki ekstrem değer arasındaki rijitlik oranına sahip birleşimler yarı-rijittir. Kiriş uçlarındaki ve açıklık ortasındaki eğilme momenti değerlerini eşit kılan rijitlik değeri ise 0,167'dir. Basit kiriş için rijitlik oranı sonsuz, iki ucundan ankastre bağlı kiriş için rijitlik oranı sıfırdır (Geschwinder, 1991).



Şekil 1.11 Moment-dönme-rijitlik diyagramları (Geschwinder, 1991)

Burada ekstrem durumlara tekabül eden rijitlik oranı değerleri, lineer elastik bir modelleme sonucunda elde edilmiş ve deneysel çalışmalarla desteklenmemiştir, bu açıdan şartnamelerde yer almamaktadır.

1.4 Plastik Analiz

İki ucundan yarı-rijit olarak bağlanmış bir kiriş için elastik analiz gibi plastik analiz de uygulanabilir (Şekil 1.12). Plastik analizde en önemli nokta, birleşimin, bir yandan belli bir miktar dönerken, bir yandan da plastik moment oluşturabilir nitelikte olmasıdır (Geschwinder, 1991). Plastik teori esas alınarak, kesit davranışı incelenecek olursa; M_a akma momentine ulaşıldıktan sonra, momentteki küçük artımlar, eğrilikte oldukça büyük artımlara neden olmaktadır (Şekil 1.13). Kesit momenti M_p plastikleşme momentine ulaştıktan sonra, artık momentte herhangi bir artım söz konusu değildir. Buna karşılık sabit M_p momentinde, eğrilik değerinde sınırsız artımlar olabilir (Arda ve Uzgider, 1986). Bu durum kirişin ve birleşimin mevcut yükleme etkisinde, plastik moment kapasitelerinin, plastikleşme momenti değerlerinden küçük olmasını gerektirir. Kirişin plastik moment kapasitesi M_p' , birleşimin plastik moment kapasitesine M_{pbir}' denirse,

$$M_{bas} = M_p' + M_{pbir}' \quad (1.32)$$

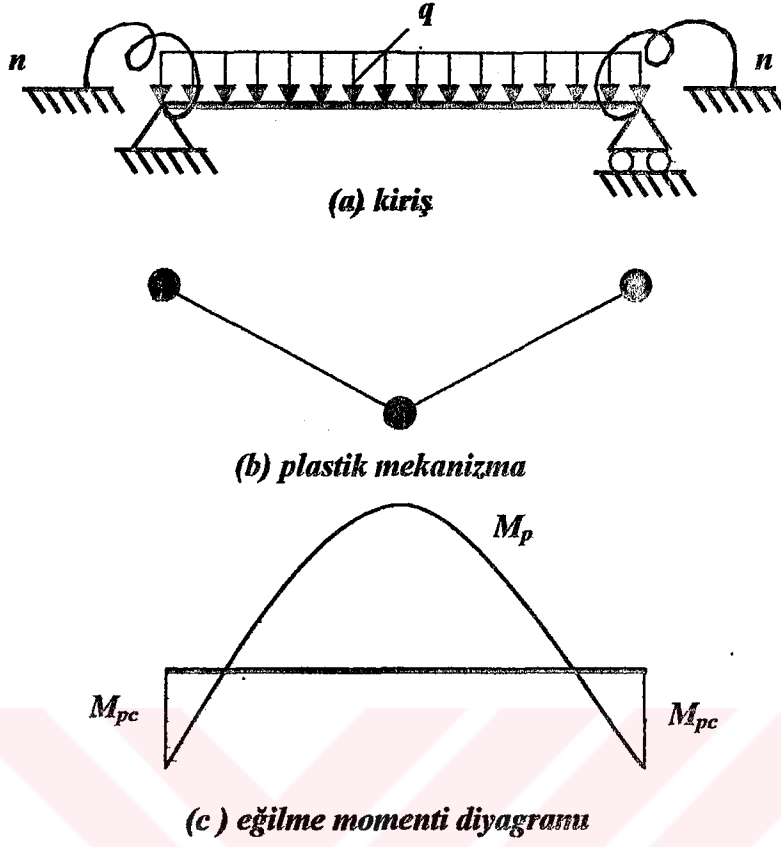
olur (Şekil 1.13). Burada M_{bas} basit kirişin açıklık ortasında oluşan moment değeridir. Eğer birleşimin taşıma gücü, kirişin taşıma gücünün belli bir oranı kabul edilirse,

$$M_{pbir}' = \alpha M_p' \quad (1.33)$$

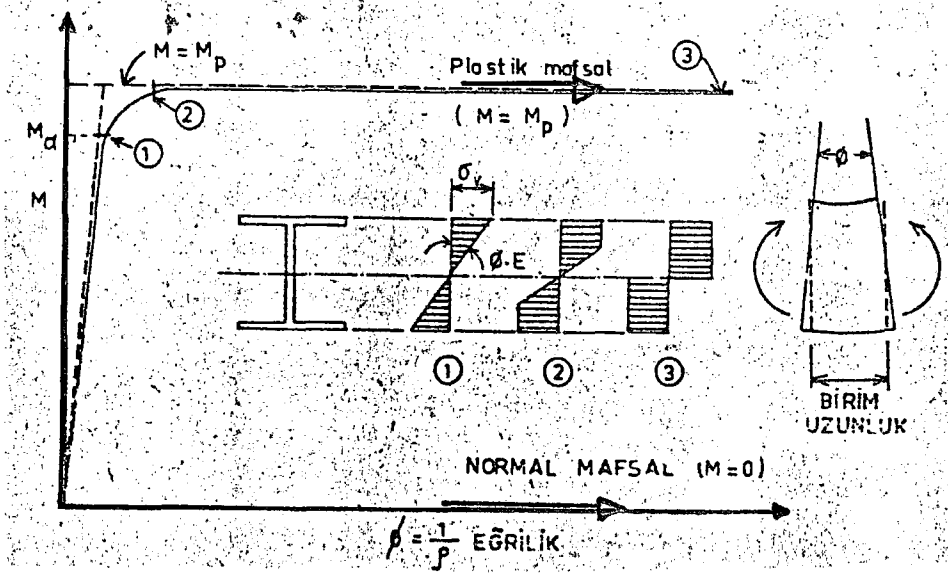
olaktır. Bu durumda $\alpha = 0$ için birleşim mafsaldır ve $\alpha = 1, 0$ için birleşim ve kiriş, dönmeden bağımsız olarak, aynı taşıma gücüne sahiptir. (1.33) denklemini, (1.32) denkleminde yerine koyar ve sadeleştirirsek;

$$M_p' = M_{bas} / (1 + \alpha) \quad (1.34)$$

olur. Böylece kirişin mevcut yükü taşıması için gerekli plastik moment kapasitesini belirlemiş oluruz. En ekonomik kiriş tasarımı, birleşimin, kirişin plastik moment taşıma gücüne dayanabilmesi durumunda ortaya çıkar ($\alpha = 1$). Bu yüzden plastik analizle tasarım, sadece birleşimin bu momenti oluşturabilir olmasını gerektirir. Birleşimin gerçek moment-dönme özelliği analiz açısından önem taşımaz (Geschwinder, 1991).



Şekil 1.12 Yarı-rijit bağlı kirişte plastik analiz (Geschwinder, 1991)



Şekil 1.13 Tipik bir moment-eğrilik diyagramı (Arda ve Uzgider, 1986)

2. KIRIŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Kiriş-kolon birleşimlerinin gerçek davranışlarını incelemek için yaklaşık elli yıldır gerek deneysel , gerekse teorik çalışmalar sürdürülmektedir, ancak birleşimlerin yarı-rijit davranışlarını esas alan pratik uygulamalar son on yıldır yaygınlaşmıştır. Pratiğe yönelik uygulamaların bu kadar gecikmiş olmasının nedenlerinden en önemlisi, giriş-kolon birleşimlerinin, konstrüksiyonun tüm davranış parametrelerini dikkate alan bir yaklaşımla sınıflandırılabilmesinin çok güç olmasıdır. Bu durum, pek çok birleşim tipinin ve buna bağlı olarak da fazla sayıda değişkenin mevcut olmasının doğal bir sonucudur.

Bu bölümde, ilk etapta, çelik giriş-kolon birleşimlerinin davranışlarıyla ilgili pek çok çalışma sonuçlarını (Bjorhovde, Kishi, Chen, Brozetti, Colson 1986-1990) özetler nitelikte, şatnamelerce (AISC, Eurocode 3) de kabul görmüş standart bir sınıflandırma sistemi sunulacak, ardından Eurocode 3'e göre birleşimlerin sınıflandırılması irdelenecektir.

2. 1 Standart Sınıflandırma Sistemi

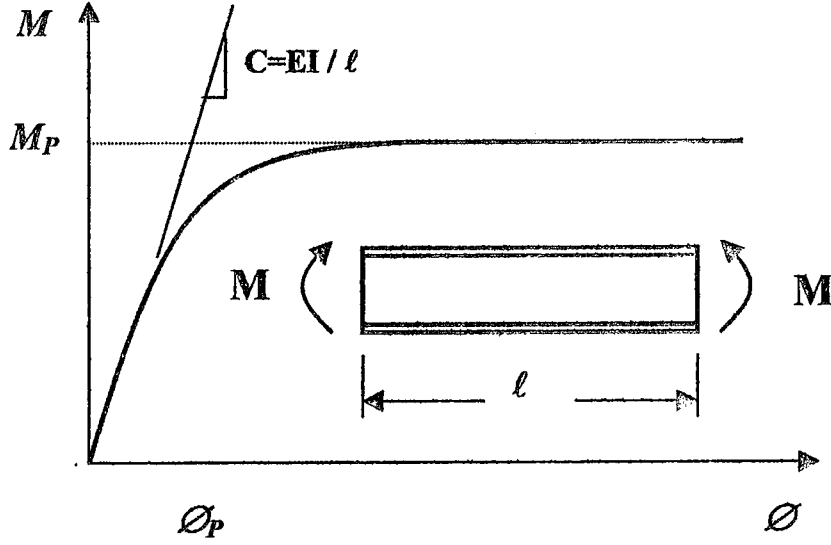
2. 1. 1 Birleşimin taşıma gücü

Sınıflandırmada en büyük problem, hem kullanılabilirlik limit durumu, hem de taşıma gücü limit durumu için gerekli kriterlerin türetilmesidir. Kullanılabilirlik limit durumu için deformasyonlar ve birleşimin rijitliğine bağlı diğer parametreler etkinken, taşıma gücü limit durumu için bilhassa deprem kuşağında inşa edilen yapılarda, dönme kapasitesi, düktilite ve enerji yutma parametreleri önem kazanır(Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990).

Sınıflandırma esnasında yalnızca birleşim dikkate alınacaktır. Birleşim, giriş ve kolonu mekanik olarak bağlayan birleşenler ve giriş ucu ile kolon yüzü arasındaki bölgedir. (Düğüm noktası ise birleşim ile giriş ve kolon arasındaki etkileşim bölgesinden oluşur.) Böylece etkileşim bölgesinde oluşması olası deformasyonlar, örneğin kolon gövde panelindeki kayma deformasyonu sınıflandırmada dikkate alınmayacaktır.

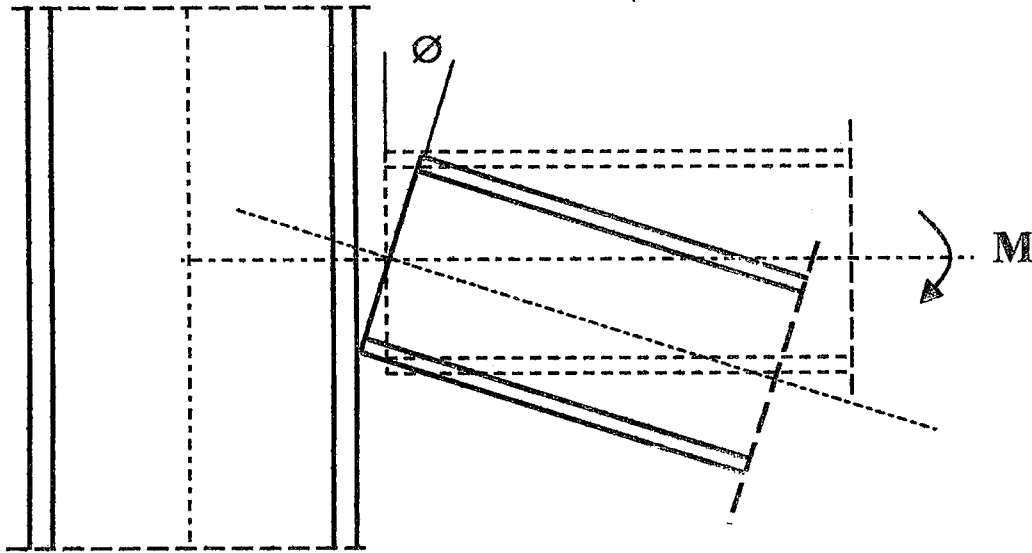
Kiriş-kolon birleşimlerinin taşıma gücü için yapılan çalışmaların sonuçları yük-deplasman, moment-deplasman veya moment-dönme eğrileri olmak üzere çeşitli biçimlerde verilmiştir, fakat birleşimin davranışı en iyi moment-dönme ($M-\theta$) eğrilerinin gösterdiği görülmüştür (Şekil 2.1). Bu bölümde tarif edilecek olan sınıflandırma sisteminde de ($M-\theta$) eğrisi en

önemli kriterdir. ($M-\theta$) eğrisi, birleşim tarafından aktarılan momentle, kiriş-kolon eksenleri arasındaki rölatif dönme bağıntısıdır (Şekil 2.2) (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).



Şekil 2.1 Kirişin rölatif dönmesini esas alan moment-dönme eğrisi (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

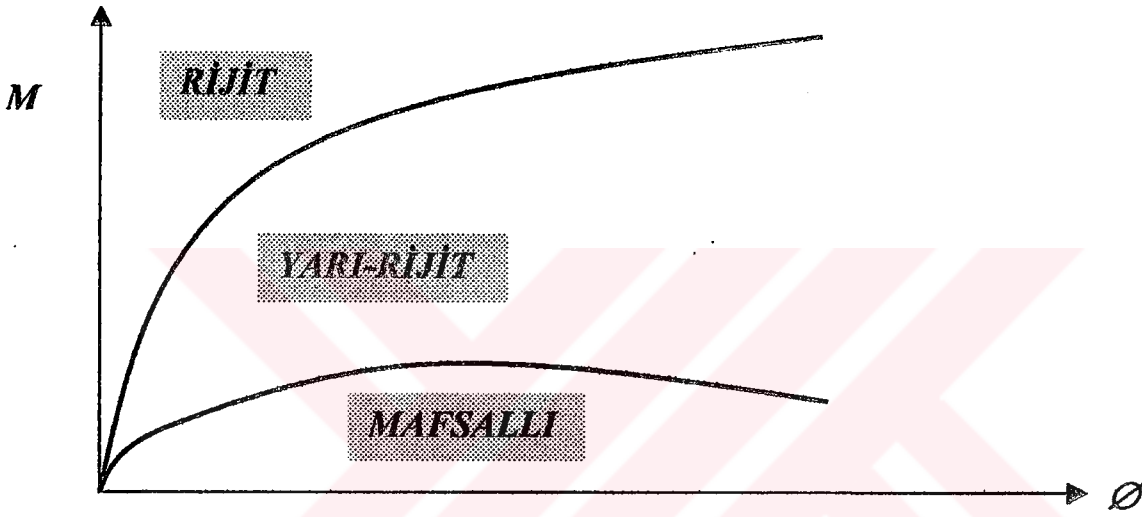
Sınıflandırma sistemi boyutsuzdur ve birleşen elemanlardan kirişin belli bir referans uzunluğu dikkate alınmıştır. Kirişin plastik moment kapasitesi olan M_p kiriş boyunun bir fonksiyonu olmamasına rağmen, elastik bölgedeki rijitlik ($C=EI/l$) bu boyun bir fonksiyonudur (Bjorhove, Colson ve Brozetti, 1990). Ayrıca kirişin belli bir referans uzunluğu dikkate alındığı gibi, dış yükler tesirinde yapının tamamının davranışına tesir edeceği için birleşim sünekliliği de dikkate alınacaktır.



Şekil 2.2 Birleşimin rölatif dönmesi (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

2. 1. 2 Sınıflandırmada yapılan kabuller

Sınıflandırmanın yapı tasarımcılarına faydalı olabilmesi için, gerçek davranışı tanımladığı gibi pratik yaklaşımlar da sunması gerekir. Bu amaçla mevcut uygulamaları da içerecek şekilde birleşimler üç gruba ayrılmıştır: (1) Mafsallı birleşimler; (2) Rijit birleşimler; (3) Yarı-rijit birleşimler. İlk iki grupla ilgili halihazırda numerik analiz ve tasarım programları mevcuttur ve yarı-rijit davranış dikkate alınmayabilir, ancak böyle idealleştirilmiş varsayımlara dayalı yöntemlerle hesaplanması sonucu ekonomik çözümlere ulaşılabilen birleşim sayısı azdır.



Şekil 2.3 Nonlineer birleşim davranış bölgeleri (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

Her ne kadar, ilk iki grubun gerçek davranışında birleşimin düktilitesi etkin bir parametre ise de, yalnızca yarı-rijit birleşimlerin düktilitesi dikkate alınır. Fazla esnek bir birleşim ikinci mertebe ($P-\Delta$) etkilerinin artmasına neden olabilir, bunun da hesaba katılması gereklidir (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990).

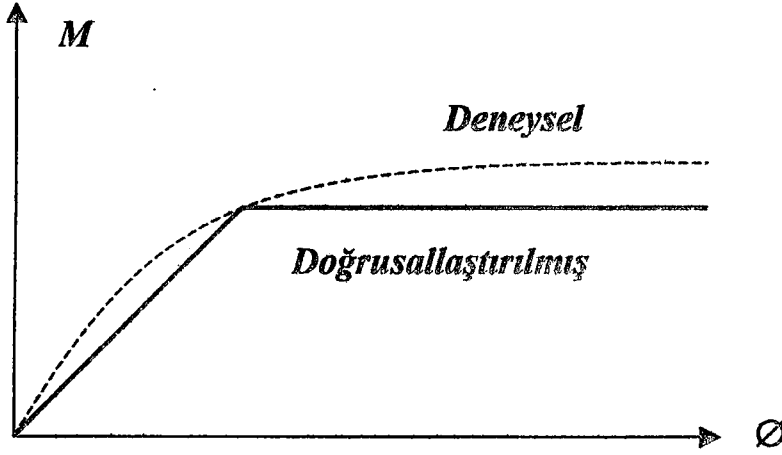
Birleşimin doğrusal olmayan taşıma gücü, gerçek davranış eğrisi altında iki kırık parçalı veya bir kırık parçalı doğrusal diyagram olarak modellenebilir (Şekil 2.3 ve 2.4).

2. 1. 3 Birleşimin performans kriterleri

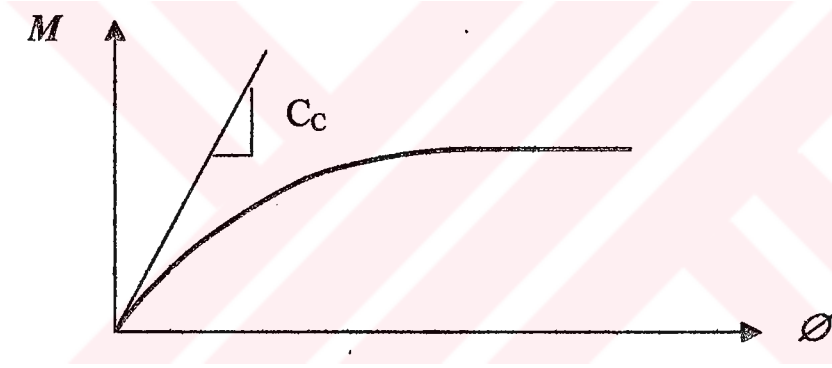
2. 1. 3. 1 Referans uzunluğu kavramı

Birleşimin dönmesi, kiriş eğriliği, moment-dönme eğrisinin başlangıç noktasındaki teğet doğrusu ve kiriş rijitliği arasındaki korelasyonu sağlayabilmek için referans uzunluğu tanımlanmalıdır (Şekil 2.1). C en genel haliyle rijitlik ifadesidir. Moment-dönme eğrisinin

başlangıç noktasındaki teğetin eğimi C_c dir (Şekil 2.5) (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990).



Şekil 2.4 Birleşimin doğrusal moment-dönme ilişkisi (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)



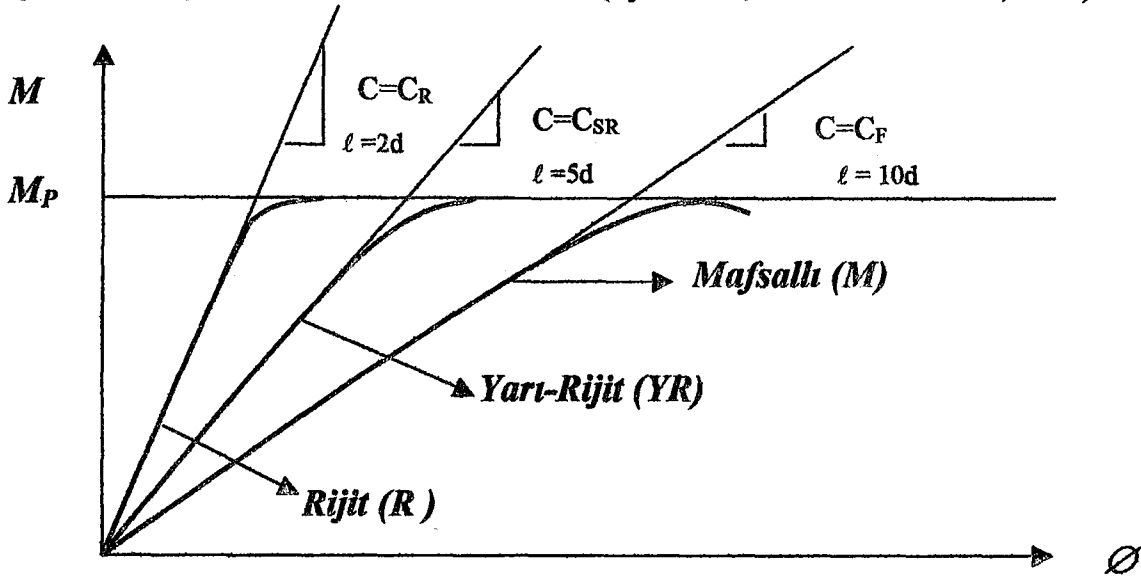
Şekil 2.5 Tipik yarı-rijit bir birleşimde moment-dönme bağıntısı (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

Yapılan deneysel çalışmalarda, elde edilen bulgularla, pek çok birleşimin moment-dönme eğrileri ile başlangıç noktalarına teğet doğrular çizilmiş ve bu doğruların eğimlerinden yola çıkılarak referans uzunlukları (ℓ) belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar istatistiksel metodlarla sınıflandırılmış ve referans uzunlukları, kiriş kesit yükseklikleri (d) cinsinden tanımlanmak suretiyle ifadeler genelleştirilmiştir (Şekil 2.6) (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990).

2. 1. 3. 2 Taşıma gücü ve düktilite kavramları

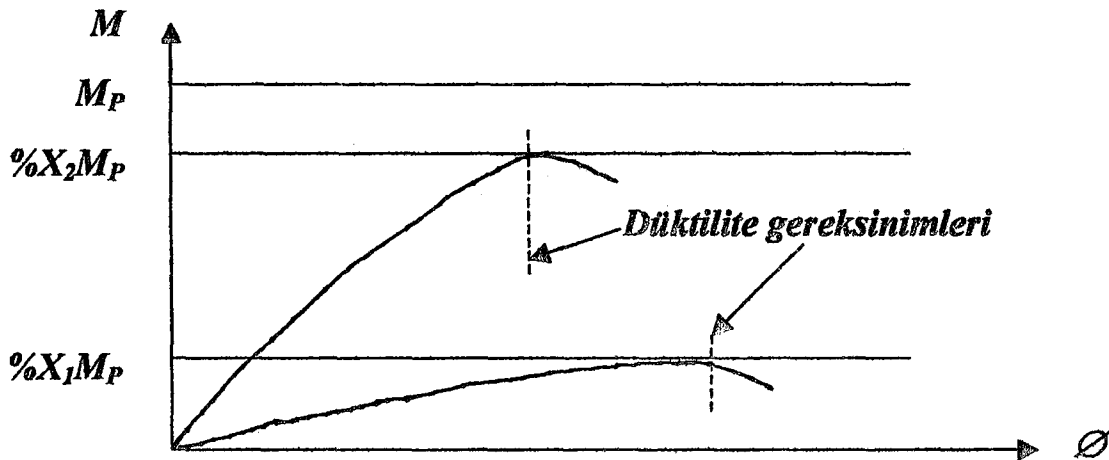
Mafsallı ve yarı-rijit olarak sınıflandırılan birleşim tiplerinin taşıma gücü limit durumları, bağladıkları kirişlerin plastik moment kapasitelerinin belirli yüzdeleri olarak tarif edilmelidir. (Şekil 2.7). Elde edilen değerler mafsallı ve yarı-rijit birleşimlerin azami moment

kapasitelerini verir. Örneğin çift gövde köşebentli bir birleşimi ele alalım; bu tarz bir birleşimde bağlantının moment taşıma gücü genelde bağladığı kirişin plastik moment değerinin yaklaşık %5'i ile %15'i arasında olur (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990).

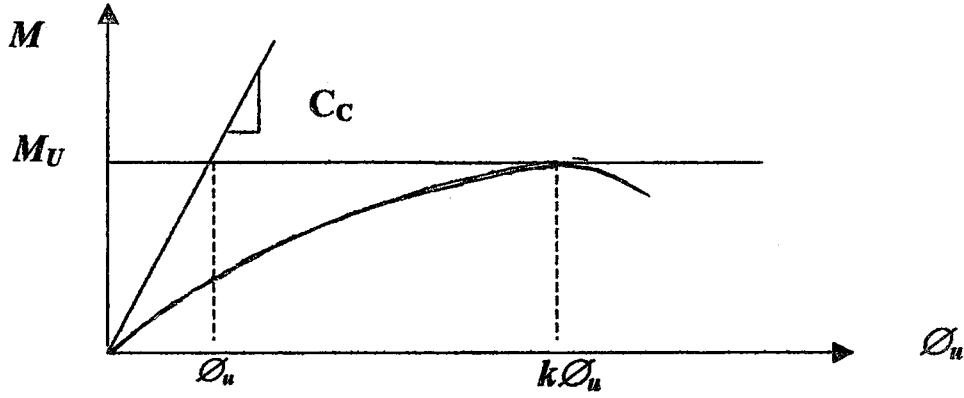


Şekil 2.6 Farklı referans uzunluklarını haiz birleşimlerde (M - Ø) eğrileri (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

Moment-dönme eğrilerinde, eğride azalmanın başladığı noktaya tekabül eden dönme değeri düktilite limitini verecektir. Şekil 1.8'de elastik dönme sınırı ϕ_U ve gerekli düktiliteye bağlı olarak değişen taşıma gücü dönme değeri $k\phi_U$ verilmiştir. Şartnamelerde, örneğin AISC Specification 1989, k için yaklaşık 4 önerilmekle birlikte, sismik açıdan da güvenli tarafta kalmak amacıyla sınıflandırmadaki analitik formülasyonlarda 6 değeri kullanılmıştır (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990). Bu katsayının 6 alınmasının yapıyı son derece düktil kılacağı aşıkardır.



Şekil 2.7 Taşıma gücü ve düktilite sınırları (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)



Şekil 2.8 Gerekli düktilite ve birleşimin (M - Ø) eğrisi (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

2. 1. 4 Sınıflandırma Sisteminin Oluşturulması

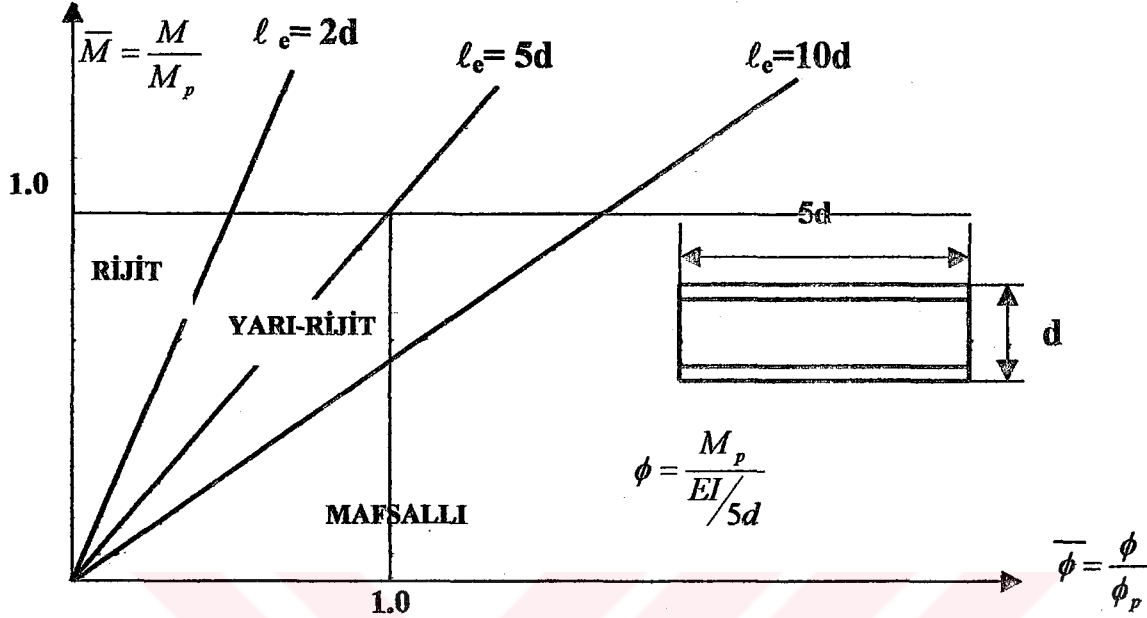
2. 1. 4. 1 Referans uzunluğunun seçimi

Kishi ve Chen, kiriş-kolon birleşimleriyle ilgili pek çok sayıda deneysel çalışma bulgularından yola çıkarak, bir birleşimdeki en uygun referans uzunluğunun (l_e), kiriş kesit yüksekliğinin (d) beş katı olduğunu saptamışlardır, bu uzunluk yarı-rijit bölgenin tam ortasına tekabül eder. Bjorhovde, Colson ve Brozetti, ellibeş numune üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda Kishi ve Chen gibi en uygun referans uzunluğunun $5d$ olduğunu bulmuşlardır.

Çizelge 2.1. Kiriş-kolon birleşimlerinde eşdeğer kiriş uzunlukları (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

Tanımlama (1)	Rijit Alın Levhalı (2)	Yarı-rijit		Mafsallı	
		Kiriş Yüksekliğine Eşit Alın Levhalı (3)	Üst/Alt Başlık Köşebentli ve Gövde Köşebentli (4)	Başlık Levhalı (5)	Çift Gövde Köşebentli (6)
Birleşimin eşdeğer uzunluğu l_e	$1d < l_e < 2d$	$2d < l_e < 5d$	$4d < l_e < 7d$	$\approx 10d$	$\approx 15d$
Birleşimin Moment Taşıma Gücü M_U	$\approx 0,9 M_p$	$\approx 0,6 M_p$	$\approx 0,45-0,6 M_p$	$\approx 0,2 M_p$	$\approx 0,15 M_p$

Referans uzunluğu ne derece küçükse, birleşim o derece rijittir. Yarı-rijit bölge $2d$ ve $10d$ referans uzunlukları arasındaki uzunluklara tekabül eder. Elastik sınırlar içerisinde $2d$, $5d$ ve $10d$ sınır referans uzunluklarıdır. (Şekil 2.9)



2. 1. 4. 2 Taşıma gücü sınırının seçilmesi

Mafsallı / yarı-rijit ve yarı-rijit / rijit bölgeler arasında, birleşimin taşıma gücü momentinin, sırasıyla $0.2 M_P$ ve $0.7 M_P$ alınması (Çizelge 2.1)'e göre uygun görünmektedir. Rijit birleşimlerde, birleşimin taşıma gücü momenti $0.7 M_P$ 'den büyük olmalıdır, hatta göçmenin birleşim noktasından uzakta oluşması esasına göre analiz yapılacaksa, M_P 'den de büyük olabilir (Şekil 2.10).

2. 1. 4. 3 Gerekli düktilite

Birleşim için gerekli düktiliteye ϕ_R denirse,

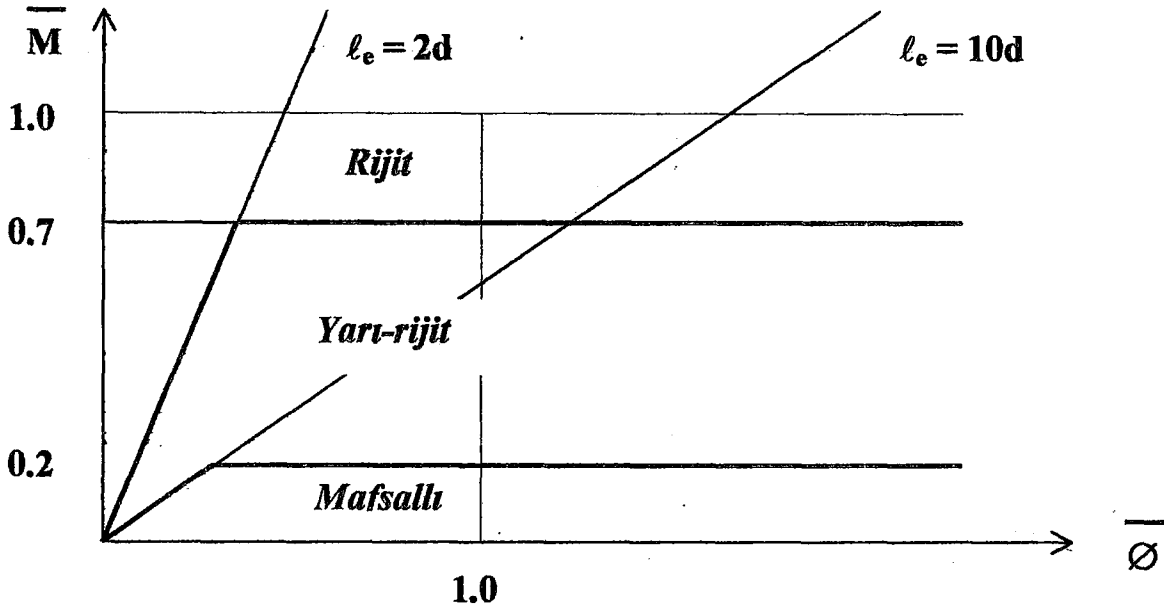
$$\phi_R = k \phi_U \quad (2.1)$$

Burada ϕ_U teorik plastik dönmedir ve değeri aşağıdaki gibidir:

$$\phi_U = M_U / C_C \quad (2.2)$$

C_C , ilk rijitlik (elastik bölgedeki rijitlik) değeri;

$$C_C = (EI) / (\alpha d) \quad (2.3)$$



Şekil 2.10 Birleşimlerin ilk rijitlik değerlerinin ve taşıma güçlerinin boyutsuz olarak sınıflandırılması (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

olacaktır. Burada αd eşdeğer (referans) kiriş uzunluğudur. Kirişe birleşimin vereceği rijitlikle eşdeğer bir rijitlik verir.

Taşıma gücü momenti, plastik moment değerine eşit kabul edilir ve referans uzunluğu $5d$ alınır, boyutsuz olarak gerekli düktilite ϕ_R ,

$$\phi_P = M_P / (EI/5d) \quad (2.4)$$

$$\bar{\phi} = \phi / \phi_P \quad (2.5.a)$$

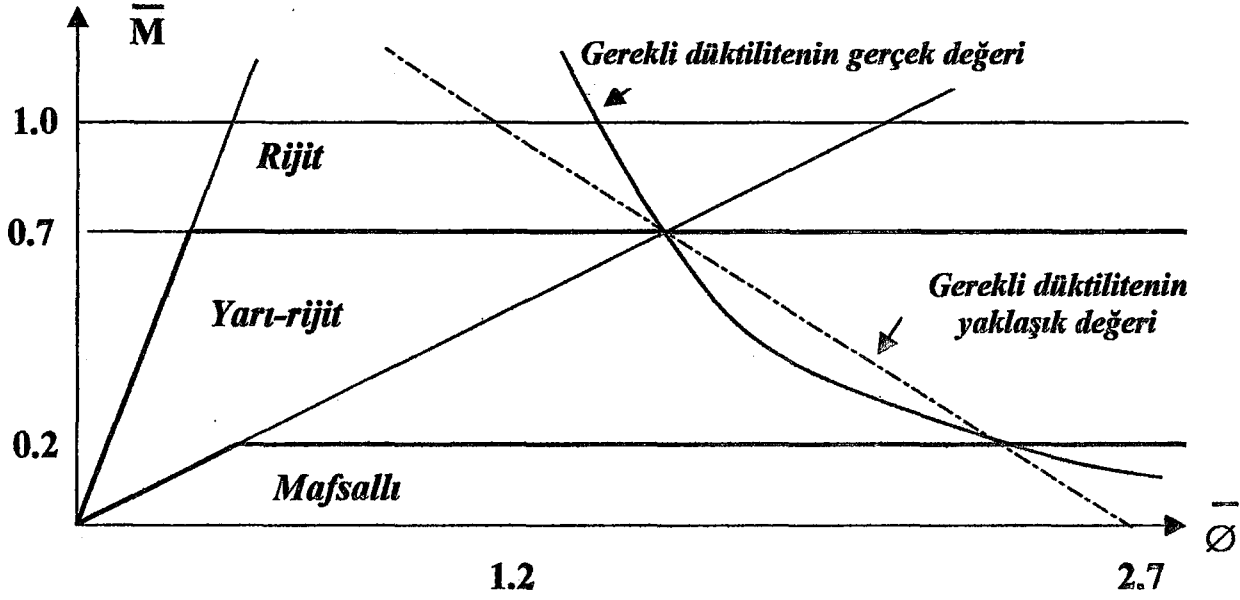
$$\bar{\phi}_R = \phi_R / \phi_P = k \times M_U \times (\alpha d / EI) \times (EI / 5d) \times (1 / M_P) = (k / 5) \times (M_U / M_P) \times \alpha \quad (2.5.b)$$

ve buradan, gerekli düktilite şöyle olacaktır:

$$\phi_R = (k / 5) \times (M_U / M_P) \times (EI / C_c d) \quad (2.6)$$

Gerekli düktilite ϕ_R , boyutsuz incelendiği zaman, birleşimin moment taşıma gücü olan M_U 'nin, kirişin plastik momenti olan M_P 'ye oranına bağlıdır ve birleşimin ilk rijitliği ile ters orantılıdır (Şekil 2.11) (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990).

Şekil 2.11' de sunulan diyagram herhangi bir çelik kiriş-kolon birleşiminin rijitlik, dayanım ve toplam düktilitesini belirlemek için kullanılır.



Şekil 2.11 Boyutsuz sınıflandırma diyagramı (Bjorhovde, Colson ve Brozetti, 1990)

2.2 Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Sınıflandırılması

Eurocode 3 birleşimleri rijitliklerine ve taşıma güçlerine göre iki ayrı grupta sınıflandırılır.

2.2.1 Birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırılması

Elastik analizde birleşimler rijitliklerine göre şu tarzda sınıflandırılırlar :

- Mafsallı birleşimler* : Bu tür bağlantılarda birleşen elemanlar arasında moment aktarımı olmadığı kabul edilir.
- Rijit birleşimler* : Birleşen elemanlar arasında moment, rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılır.
- Yarı-rijit birleşimler* : İlk iki sınıfa da girmeyen uygulamadaki gerçek birleşim davranışına uygun birleşimlerdir(Eurocode 3, 1993).

Kuşaklı çerçevede (Eurocode 3, 1993)

$$1) S_J \geq 8EI_b / L_b \text{ (Rijit)} \quad (2.7.a)$$

$$2) 8EI_b / L_b > S_J > 0.5EI_b / L_b \text{ (Yarı-rijit)} \quad (2.7.b)$$

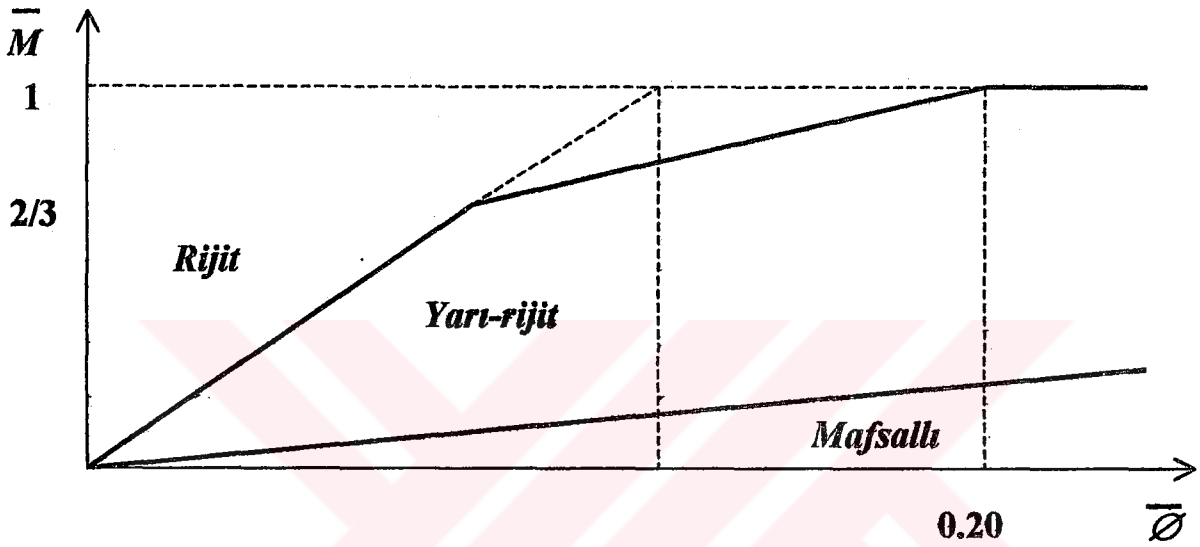
$$3) S_J \leq 0.5EI_b / L_b \text{ (Mafsallı)} \quad (2.7.c)$$

Kuşaksız çerçevede (Eurocode 3, 1993)

$$1) S_J \geq 25 EI_b / L_b \text{ (Rijit)} \quad (2.8.a)$$

$$2) 25 EI_b / L_b > S_J > 0.5 EI_b / L_b \text{ (Yarı-rijit)} \quad (2.8.b)$$

$$3) S_J \leq 0.5 EI_b / L_b \text{ (Mafsallı)} \quad (2.8.c)$$



Şekil 2.12 Kuşaklı çerçevede tavsiye edilen sınıflandırma koşulları (Eurocode 3, 1993)

Şekil 2.12 için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir:

$$\text{eğer } \bar{M} \leq 2/3 \text{ ise } \bar{M} = 8 \bar{\phi}$$

$$\text{eğer } 2/3 < \bar{M} \leq 1.0 \text{ ise } \bar{M} = (20 \bar{\phi} + 3) / 7$$

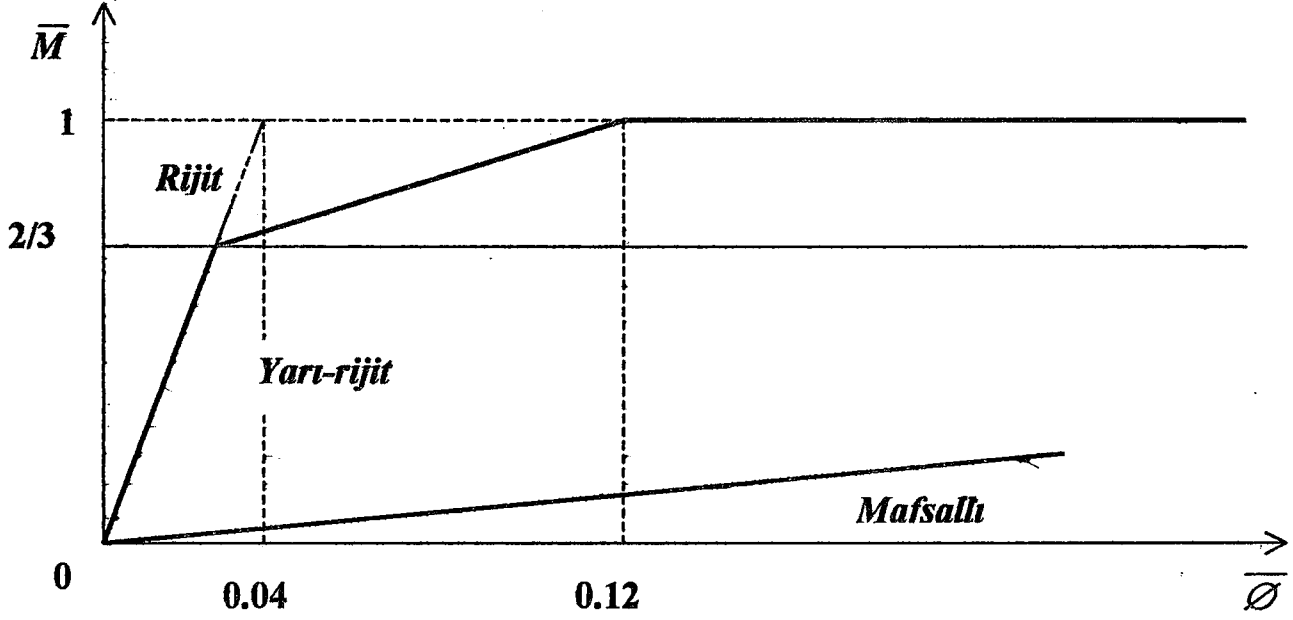
Diyagram koordinatları aşağıdaki gibidir:

$$\bar{M} = \frac{M}{M_{pl,Rd}} \quad \bar{\phi} = \frac{EI_b \phi}{L_b M_{pl,Rd}}$$

Şekil 2.13 için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir:

$$\text{eğer } \bar{M} \leq 2/3 \text{ ise } \bar{M} = 25 \bar{\phi}$$

$$\text{eğer } 2/3 < \bar{M} \leq 1.0 \text{ ise } \bar{M} = (25 \bar{\phi} + 4) / 7$$



Şekil 2.13 Kuşaksız çerçevede tavsiye edilen sınıflandırma koşulları (Eurocode 3, 1993)

Yukarıda sunulan diyagram ve eşitlikler $K_b / K_c \geq 1$ değerini sağlayan kuşaksız çerçeveler için geçerlidir.

K_b : Dikkate alınan katın üstündeki tüm kirişlerin ortalama I_b / L_b değeridir.

K_c : Dikkate alınan kattaki tüm kolonların ortalama I_c / L_c değeridir.

I_b ve I_c sırasıyla kiriş ve kolon atalet moment değerleridir.

L_b ve L_c sırasıyla kiriş açıklığı ve kolon kat yüksekliğidir.

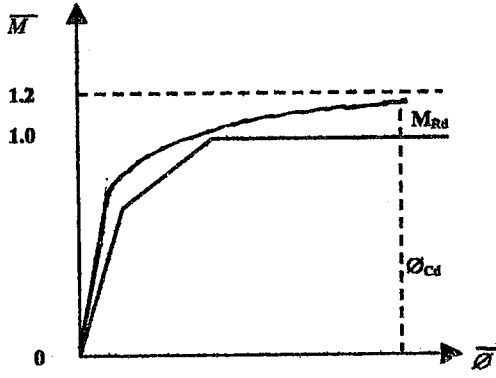
Burada dikkati çeken husus ilk rijitliğin elde edilış tarzıdır. Bir önceki kısımda değinilen standart sınıflandırma sisteminde, kiriş birleşimin vereceği rijitlikle eşdeğer bir rijitlik veren referans uzunluğu tanımlanmıştı. Efektif uzunluk da tabir edilen bu uzunluk değeri, kiriş kesit yüksekliği cinsinden, deneysel sonuçlara dayanılarak ifade edilmişti (Çizelge 2.1). Oysa Eurocode kirişin belli bir referans uzunluğunu kullanmak yerine kiriş açıklığını esas almış, fakat gerekli düzeltmeleri (2.7) ve (2.8) denklemlerinde kullandığı katsayılarla sağlamıştır. Görüldüğü üzere referans uzunluğu büyüdükçe, ya da kiriş rijitliğinin (EI_b / L_b) katsayısı küçüldükçe birleşim davranışı mafsallı birleşime, tersi durumlarda ise rijit birleşime yaklaşacaktır. Ayrıca dikkati çeken diğer bir husus şatnemenin, birleşimi münferit olarak ele almamış, çerçvelendirme tarzının da birleşim davranışı üzerindeki etkisini hesaplara ilave etmiş olmasıdır.

2. 2. 2 Birleşimlerin taşıma güçlerine göre sınıflandırılması

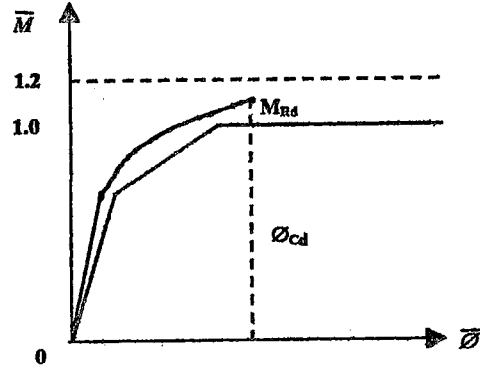
Plastik analizde birleşimler taşıma güçlerine göre şu tarzda sınıflandırılırlar:

- a) *Mafsallı birleşimler*: Birleşimin moment taşıma gücü, kirişin taşıyabileceği plastik moment kapasitesinin 0.25 katından büyük değilse ve birleşim yeterli rijitliğe sahip ise, birleşim mafsallı olarak tanımlanmaktadır.
- b) *Tam dayanımlı birleşimler*: Birleşimin taşıma gücünün kirişin plastik moment kapasitesine eşit ve yeterli rijitliğe sahip olduğu birleşimlerdir. Bu birleşimlerde, birleşimin taşıma gücü kirişin plastik moment kapasitesinin en azından 1,2 katı ise rijitliği kontrol edilmemektedir.
- c) *Kısmi dayanımlı birleşimler*: Birleşimin taşıma gücü kirişin plastik moment kapasitesinden az ise, kısmi dayanımlı olarak tanımlanmakta ve rijitliğin kontrolüne gerek duyulmamaktadır (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).

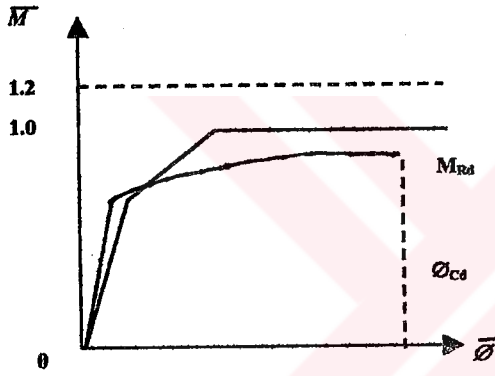
Eurocode 3 birleşimleri, hem dönme rijitliği, hem de moment taşıma gücünü dikkate alarak Şekil 2.14'de görüldüğü tarzda sınıflandırır. Ayrıca Şekil 2.15'de genelleştirilmiş haliyle birleşim davranışları görülmektedir. Şartname, kullanılan global analiz metoduna bağlı olarak farklı türlerde çevçeveller için uygulanabilir birleşim tiplerini de kullanıcıların faydalanabilmesi amacıyla Çizelge 2.2'de özetlemiştir.



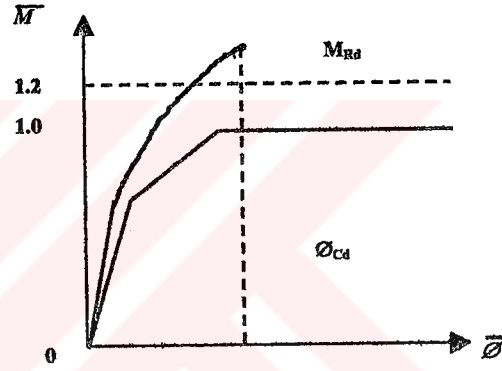
a) RİJİT-TAM DAYANIMLI
 $M_{Rd} < 1.2M_{pl,Rd}$ olduğundan dönme
 kapasitesi ϕ_{Cd} 'nin yeterliliği
 kontrol edilmelidir



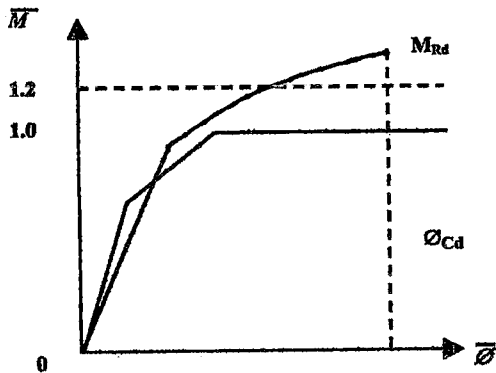
b) RİJİT-TAM DAYANIMLI
 $M_{Rd} < 1.2M_{pl,Rd}$ olduğundan dönme
 kapasitesi ϕ_{Cd} 'nin yeterliliği
 kontrol edilmelidir



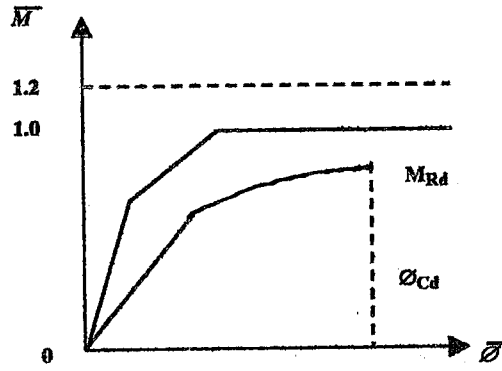
c) RİJİT-KİSMİ DAYANIMLI
 $M_{Rd} < M_{pl,Rd}$



d) RİJİT-TAM DAYANIMLI
 $M_{Rd} > 1.2M_{pl,Rd}$



e) YARI RİJİT- TAM DAYANIMLI
 $M_{Rd} > 1.2 M_{pl,Rd}$

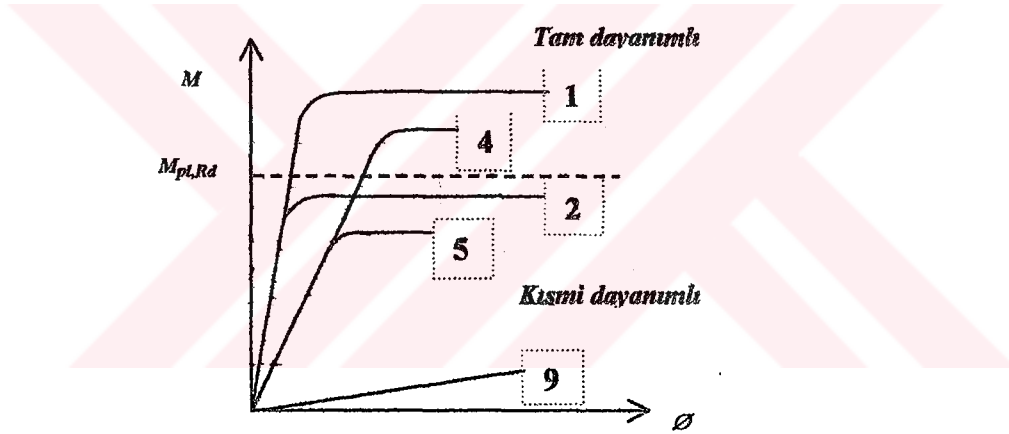


f) YARI RİJİT- KİSMİ DAYANIMLI
 $M_{Rd} < M_{pl,Rd}$

Şekil 2.14. Kiriş-kolon birleşimlerinde moment-dönme karakteristiği esas alınarak yapılmış sınıflandırma örnekleri (Eurocode 3, 1993)

		Taşıma gücü		
		Tam	Kısmi	Mafsallı
Rijitlik	Rijit	1	2	-
	Yarı-rijit	4	5	-
	Mafsallı	-	-	9

(Bu tablodaki rakamlarla ilgili diyagram takip eden şekilde bulunmaktadır.)



Şekil 2.15 Kiriş-kolon birleşimlerinin EC3'e göre standart sınıflandırılması (Eurocode 3, 1993)

Çizelge 2.2. Birleşimlerin tasarımında yapılan kabuller (Eurocode 3, 1993)

Çerçeveselendirme Tarzı	Global Analiz Metodu	Birleşim Türleri
BASİT	<i>Mafsallı Birleşim</i>	Mafsallı
		Mafsallı
SÜREKLİ	<i>Elastik</i>	Rijit
		Mafsallı
	<i>Rijit-Plastik</i>	Tam Dayanımlı
		Mafsallı
	<i>Elastik-Plastik</i>	Tam Dayanımlı-Rijit
		Mafsallı
YARI-SÜREKLİ	<i>Elastik</i>	Yarı-Rijit
		Rijit
		Mafsallı
	<i>Rijit-Plastik</i>	Kısmi Dayanımlı
		Tam Dayanımlı
		Mafsallı
	<i>Elastik-Plastik</i>	Kısmi Dayanımlı/Yarı-Rijit
		Kısmi Dayanımlı-Rijit
		Tam Dayanımlı/Yarı-Rijit
		Tam Dayanımlı/Rijit
		Mafsallı

3. ÇELİK KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNDE MOMENT-DÖNME FONKSİYONLARI

3. 1 Modelleme Fonksiyonları

Çelik kiriş-kolon birleşimlerinin düşük yük seviyelerinde bile moment-dönme davranışı nonlineerdir. Bu konu hakkında gerek teorik, gerekse deneysel çalışmalar 1930'lu yıllardan beri süregelmiştir. Davranışı modelleyen en basit fonksiyon, lineer fonksiyondur. Lothers'in modellediği lineer fonksiyonlar, Lionberg ve Weaver'ın türettiği ve Maxwell'in geliştirdiği bilineer fonksiyonlar, Razzaq tarafından geliştirilen parça usüllü lineer fonksiyon, Sommer'in türettiği ve ardından Frye ve Morris'in revize ettiği kübik B-freze fonksiyonu, Ramberg-Osgood fonksiyonu ve Chen ve Lui'nin modellediği üslü fonksiyon bu konuda yapılan çok sayıdaki çalışmalardan bazılarıdır.

Lineer ve bilineer fonksiyonlar nonlinear moment-dönme eğrilerine hassaslığı yetersiz yaklaşımlar getirmektedirler. Polinomik fonksiyon daha yaklaşık sonuçlar vermekle birlikte mevcut salınımlı yapısından dolayı düzensiz tanjant rijitliği değerlerine sebep olmaktadır (Jones 1980). Kübik B-freze fonksiyonu mükemmel bir yaklaşıklık sağlamasına rağmen pek çok sayıda parametre içermektedir. Üslü fonksiyon iyi bir uyum sağlamakla birlikte en az altı parametre gerektirmektedir. Ramberg-Osgood ve Richard-Abbot fonksiyonları sırasıyla yalnızca üç ve dört parametre gerektirmektedirler (Attigbe ve Morris, 1991).

Bu bölümde literatürde mevcut ve birbirinden bağımsız modelleme fonksiyonlarından; statik yükleme durumunda bilgisayar programı oluşturmaya uygun, az sayıda parametre gerektiren ve tüm birleşim tiplerinde uygulanabilen bir standart moment-dönme fonksiyonu tanıtılacaktır. Bu standart fonksiyon Richard-Abbott fonksiyonu esas alınarak Attigbe ve Morris tarafından modellenmiştir.

3. 1. 1 Ramberg-Osgood ve Richard-Abbott fonksiyonları

Standart fonksiyon türetilirken, hangi modelleme fonksiyonunun kullanımının uygun olacağına karar verebilmek için, kıyaslamalı bir inceleme yapılmasının zorunlu olduğu aşikardır. Burada amaç, daha önce de değinildiği gibi, az sayıda parametre ile çalışmak ve optimum çözüme ulaşmak olduğundan, Ramberg-Osgood ve Richard-Abbott fonksiyonları dikkate alınacaktır. Bu kısımda adı geçen fonksiyonların analitik özellikleri irdelenecek, takip eden kısımlarda ise analitik sonuçlarla deneysel verilerin tutarlılığı kontrol edilip; uygun fonksiyon seçilecektir.

Ramberg-Osgood fonksiyonu dönme moment cinsinden şöyle tanımlar;

$$\phi = \frac{M}{S} \left[1 + K \left(\frac{M}{S} \right)^{t-1} \right] \quad (3.1)$$

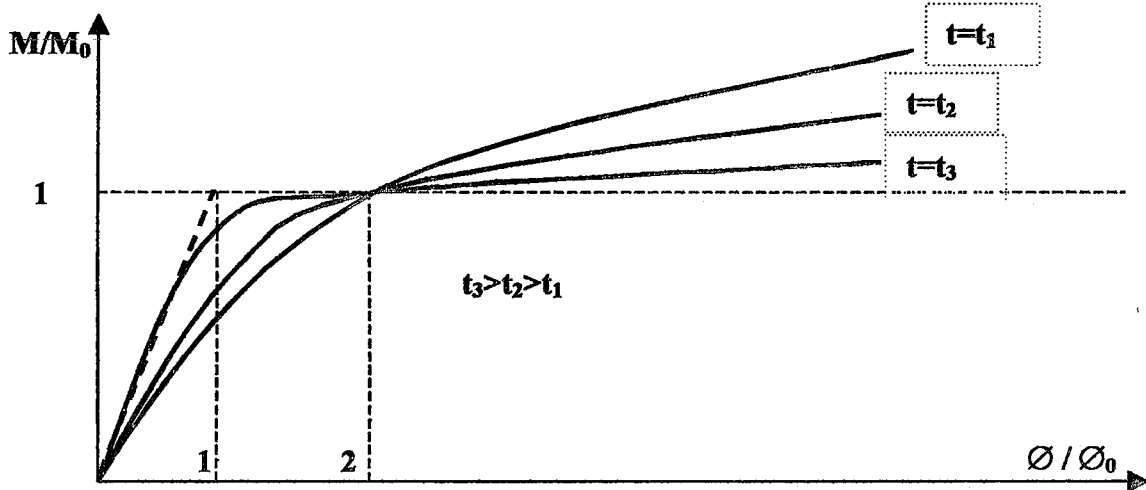
(3.1)'deki bağımsız parametreler: S , M - ϕ eğrisinin başlangıç noktasına teğet doğrunun eğimi; K bir katsayı ve t , eğrinin keskinliğini tanımlayan parametredir (şekil faktörü de denilebilir). Fonksiyon boyutsuz haliyle aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\phi}{\phi_0} = \frac{M}{M_0} \left[1 + \left(\frac{M}{M_0} \right)^{t-1} \right] \quad (3.2)$$

Şekil 3.1, (3.2) denkleminden t 'nin değişik değerleri için elde edilecek eğrileri göstermektedir. Denklemdeki M_0 bir referans momentini ve ϕ_0 bir referans dönmesini vermektedir. Bu denklemdeki bağımsız parametreler M_0 , ϕ_0 ve t 'dir. Burada M - ϕ eğrisinin başlangıç noktasına teğet doğrusunun eğimi şu tarzda hesaplanabilir;

$$S = \frac{M_0}{\phi_0} \quad (3.3)$$

t 'nin daha büyük değerleri için, Ramberg-Osgood fonksiyonu bilineer elastik-mükemmel plastik davranışa yaklaşır (Attiogbe ve Morris, 1992).



Şekil 3.1 Boyutsuz halde Ramberg-Osgood fonksiyonu (Attiogbe ve Morris, 1991)

$M-\phi$ ilişkisine adapte edildiğinde, Richard-Abbott fonksiyonu, momenti aşağıdaki biçimde ifade eder:

$$M = \frac{(S - S_P)\phi}{\left(1 + \left|\frac{(S - S_P)\phi}{M_0}\right|^t\right)^{1/t}} + S_P\phi \quad (3.4)$$

Buradaki dört bağımsız parametre S , $M-\phi$ eğrisinin başlangıç noktasına teğet doğrunun eğimi; S_P , ϕ 'nin büyük değerleri için asimptotunun teğet doğrusunun eğimi; M_0 , bir referans moment değeri ve t , eğrinin keskinliğini tanımlayan bir parametredir (Attiogbe ve Morris, 1991).

Eğer ϕ_1 ve M_1 , son data noktasının koordinatları, biliniyorsa S_P şöyle olacaktır:

$$S_P = \frac{M_1 - M_0}{\phi_1} \quad (3.5)$$

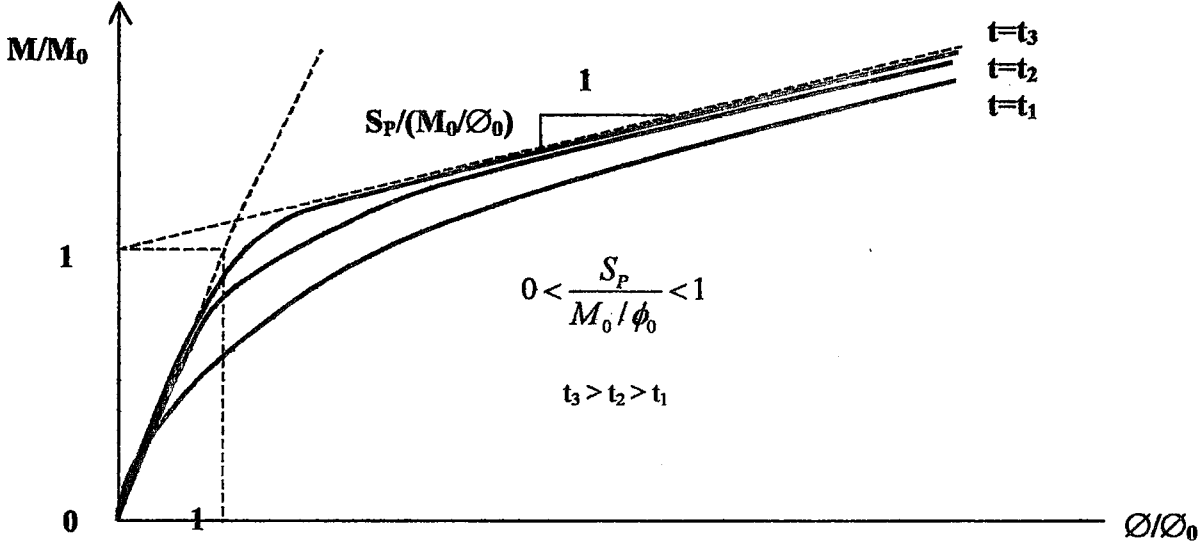
Daha sonra (3.3) ve (3.5), (3.4)'de yerine konursa Richard-Abbott fonksiyonunun boyutsuz şekli şöyle olur:

$$\frac{M}{M_0} = \frac{\phi}{\phi_0} \left[\frac{(1 - S_P \frac{\phi_0}{M_0})}{\left(1 + \left|\frac{1 - S_P}{\frac{\phi_0}{M_0}}\right|^t\right)^{1/t}} + S_P \frac{\phi_0}{M_0} \right] \quad (3.6)$$

Şekil 3.2, (3.6)denkleminde t 'nin farklı değerleri için, S_P 'nin bir pozitif değeri kullanılmak suretiyle elde edilen eğrileri göstermektedir. Richard-Abbott fonksiyonunun Ramberg-Osgood fonksiyonuna göre avantajı Richard-Abbott fonksiyonu S_P 'nin pozitif, negatif ve sıfır değerlerinin kullanımına imkan verirken; Ramberg-Osgood fonksiyonu yalnızca sıfır değerinin kullanılmasını mümkün kılar (Attiogbe ve Morris, 1991).

Her iki fonksiyonun, bağımsız parametreler olarak M_0 , ϕ_0 ve t 'yi içeren boyutsuz hallerinin kıyaslanması daha kolaydır. Örneğin (2.2)'de ϕ/ϕ_0 'ın büyük değerleri için Ramberg-Osgood fonksiyonunun asimptota yaklaştığı gösterilebilir:

$$\frac{M}{M_0} = \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^{1/t} \quad (3.7)$$

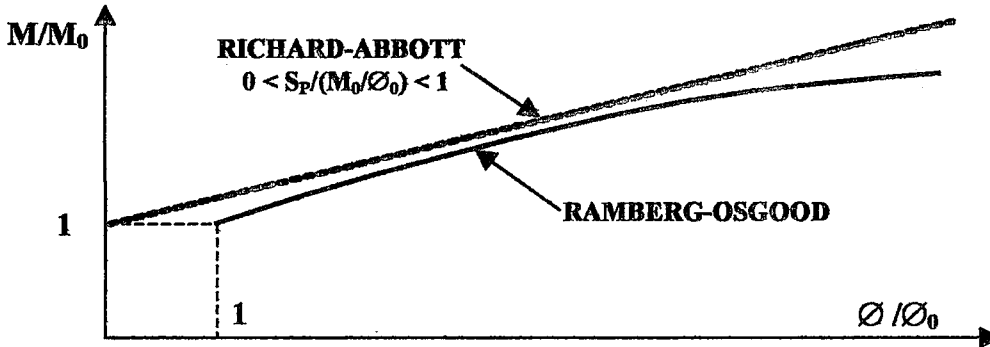


Şekil 3.2. Boyutsuz halde Richard-Abbott fonksiyonu (Attiogbe ve Morris, 1991)

Benzer şekilde, (2.6)'da $0 < S_P / (M_0 / \phi_0) < 1$ olmak üzere, Richard-Abbott fonksiyonunun aşağıda verilen asimptota yaklaştığı gösterilebilir:

$$\frac{M}{M_0} = 1 + \left(\frac{S_P}{(M_0 / \phi_0)} \right) \frac{\phi}{\phi_0} \quad (3.8)$$

Her iki fonksiyonun asimptotları Şekil 3.3'de verilmiştir. Anlaşılabacağı üzere, Richard-Abbott fonksiyonu, lineer plastik deformasyon oranı yüksek birleşim davranışlarının tahmininde Ramberg-Osgood fonksiyonundan daha üstündür (Attiogbe ve Morris, 1991).



Şekil 3.3 Fonksiyonların asimptotları (Attiogbe ve Morris, 1991)

3. 2 Modelleme İşlemleri

3, 2. 1 Seçilmiş Noktalar Metodu

Richard ve Abbott , deneysel verilere dayanarak, fonksiyonların boyutlu halini, başlangıç noktasından ve a ve b gibi iki veri noktasından geçirmişlerdir. a ve b noktalarının koordinatları (\mathcal{O}_a, M_a) ve (\mathcal{O}_b, M_b) dir. a ve b dönme eksenini üzerinde yer alırlar. Burada, nokta seçimi genelleştirilmiştir. a noktası koordinatları yine (\mathcal{O}_a, M_a) iken, b noktası koordinatları $(\mathcal{O}_b = C\mathcal{O}_a, M_b)$ dir ve C birden büyük bir sabit sayıdır (Attiogbe ve Morris, 1991).

a ve b veri noktalarında (3.4) denklemi yazılıp, yeniden düzenlenirse aşağıdaki sonuca ulaşılır;

$$A^t - 1 - \frac{1}{C^t}(B^t - 1) = 0 \quad (3.9)$$

Burada $A = \frac{(S - S_P)}{(S_a - S_P)}$, $B = \frac{(S - S_P)}{(S_b - S_P)}$, $S_a = \frac{M_a}{\phi_a}$ ve $S_b = \frac{M_b}{\phi_b}$ dir. Ayrıca a noktasında

(3.4) denklemi yazılırsa M_0 şöyle olacaktır:

$$M_0 = \frac{(S - S_P)\phi_a}{(A^t - 1)^{1/t}} \quad (3.10)$$

Richard-Abbott fonksiyonunun boyutlu halinde S ve S_P eğimlerini elde etmek için sırasıyla ilk iki veri noktası ve son iki veri noktası kullanılır. (3.9) kullanılarak iteratif olarak t ve (3.10)'dan ise M_0 hesaplanabilir.

Ramberg-Osgood fonksiyonunun boyutlu biçiminde gerekli parametreler benzer biçimde türetilir. Yine S değeri ilk iki veri noktasından tahmin edilebilir ve t ve K değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$t = \frac{\log\left(\frac{D}{E}\right)}{\log F} + 1 \quad (3.11)$$

$$K = \frac{D}{\left(\frac{M_a}{S}\right)^{t-1}} \quad (3.12)$$

Burada $D = \frac{S}{S_a} - 1$, $E = \frac{S}{S_b} - 1$ ve $F = \frac{M_b}{M_a} > 1$ dir.

Tüm deney sonuçlarının, Richard-Abbott fonksiyonuyla, tahminlerini elde edebilmek için a ve b 'nin tüm olası kombinasyonları (3.9) ve (3.10) denklemlerinde yerine konulmuştur. Deneysel verilerle, formülasyon sonuçlarının tutarlılığını sağlamak için uygun nokta çiftleri seçilmiş ve en tutarlı kombinasyon kullanılmıştır. Ramberg-Osgood fonksiyonu için (3.11) ve (3.12) denklemleriyle benzer işlemler yapılmıştır (Attiogbe ve Morris, 1991).

3. 2. 2 Nonlinear En Küçük Kareler Metodu

Deming tarafından tanımlanan iteratif, nonlinear en küçük kareler metodunu baz alarak oluşturulan bilgisayar programından elde edilen sonuçlar kullanılacaktır.

Metod bağımsız parametreleri de dikkate almak kaydıyla, tahmin fonksiyonunun türevlerinin tanımlanmasını gerektirmektedir. Her veri noktasında türevler elde edilmiş ve parametrelerin bilinmediği nonlinear eşzamanlı denklem sisteminde katsayı olarak kullanılmışlardır.

Türevlerin tanımlanması için parametre değerleri ilk etapta tahmin edilmiştir. Daha sonra bulunanlar, nonlinear eşzamanlı denklemlerde yerine konulmuş ve daha doğru bir yaklaşıklıkla parametrelerin tahmini için kullanılmıştır. Bir iterasyonda elde edilen parametre değerleri ile takip eden iterasyonda elde edilen parametre değerleri arasındaki fark 0.001%'nin altına düşmüşse yeterli yaklaşıklık sağlanmış kabul edilir (Attiogbe ve Morris, 1991).

3. 3 Tahmin Hatası

Farklı tipte fonksiyonlarda yapılan modellemelerin kıyaslanması amacıyla tahmin hatası tanımlanmıştır. Bu amaçla tahmin fonksiyonlarıyla elde edilen sonuçlarla, deneysel sonuçlar arasındaki farklar kullanılmıştır.

Şekil 3.4'de gösterildiği gibi moment-dönme değerlerindeki fazlalıklar tipik bir i noktası kullanılarak şu şekilde formülize edilmiştir:

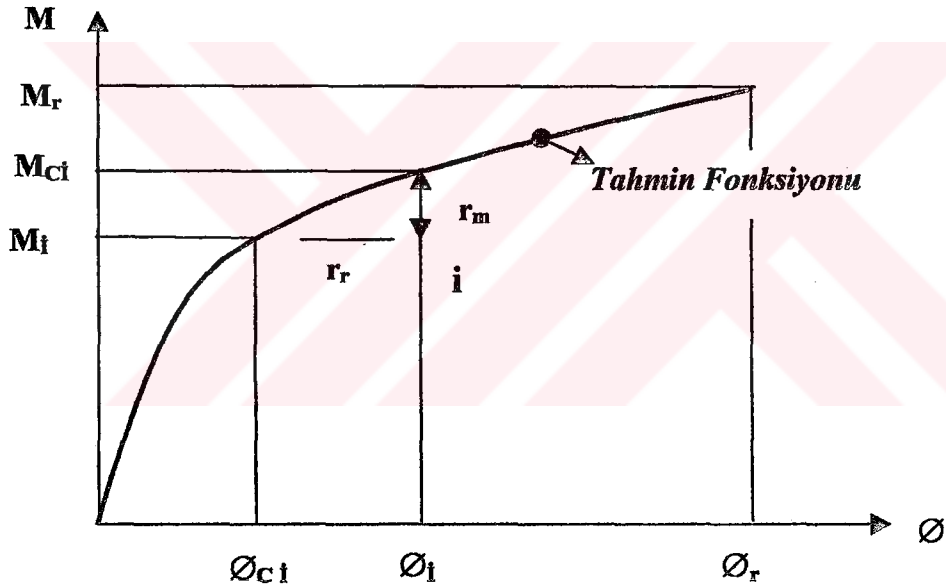
$$r_M = M_i - M_{ci} \quad (3.13)$$

$$r_r = \phi_i - \phi_{ci} \quad (3.14)$$

$$\text{Tahmin Hatası} = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - M_{ci})^2 \sum_{i=1}^N (\phi_i - \phi_{ci})^2}{M_r^2 \phi_r^2} \quad (3.15)$$

burada ϕ_r ve M_r sırasıyla, verilmiş deney kümesi için, dönme ve moment oranlarıdır ve N veri noktası sayısıdır.

Görüldüğü üzere tanımlanan tahmin hatası, modelleme fonksiyonlarının rölatif olarak geçerliliğini sınavan ve son derece hassas yaklaşımlar sunabilen bir kavramdır.

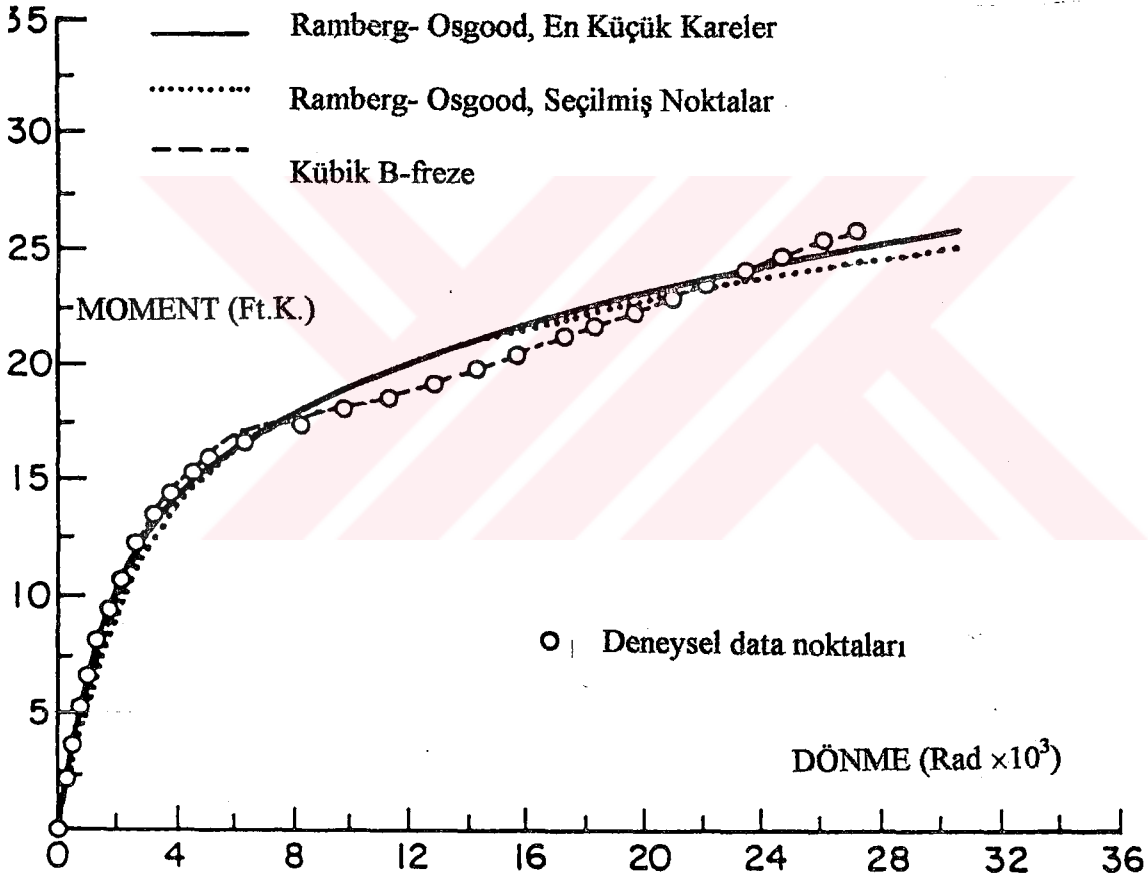


Şekil 3.4. Moment ve dönme değerlerindeki fazlalıklar(Attiogbe ve Morris, 1991)

3. 4. Fonksiyonların Kıyaslanması

Ramberg-Osgood, Richard-Abbott ve kübik-B freze modellerinin doğruluğunu sınamak üzere, Lipson, 1968 tarafından deneysel ölçümlerle moment-dönme karakteristikleri belirlenmiş, bir grup başlık levhalı birleşim dataları kullanılmıştır. Ramberg-Osgood ve Richard-Abbott fonksiyonları için Seçilmiş Noktalar Metodu ve hem kübik B-freze hem de diğer fonksiyonlar için En Küçük Kareler Metodu kullanılmıştır. Her bir eğri için normalize edilmiş tahmin hatası hesaplanmıştır (Attiogbe ve Morris, 1991).

Kübik B-freze ve Ramberg-Osgood fonksiyonlarının En Küçük Kareler Metodu ile ve yine Ramberg-Osgood fonksiyonunun Seçilmiş Noktalar Metodu ile çözümlenmesi sonucu çizilen eğriler Şekil 3.5’de verilmiştir. Ramberg-Osgood fonksiyonunun, kübik B-freze fonksiyonuna nispeten gerçek davranıştan daha uzak değerler verdiği görülmektedir. Ramberg-Osgood fonksiyonunun, kübik B-freze fonksiyonuna nispeten, Seçilmiş Noktalar Metodu ile analizinde 230 kat ve En Küçük Kareler Metodu ile analizinde 125 kat büyük tahmin hatası görülmüştür. Beklendiği gibi Ramberg-Osgood fonksiyonu plastik deformasyon bölgesinin şeklinden ve uzunluğundan dolayı nisbi olarak kötü bir yaklaşıklık sağlamaktadır. Yine tahmin edildiği gibi En Küçük Kareler Metodu, Seçilmiş Noktalar Metodundan daha doğru sonuçlar vermiştir (Attiogbe ve Morris, 1991).

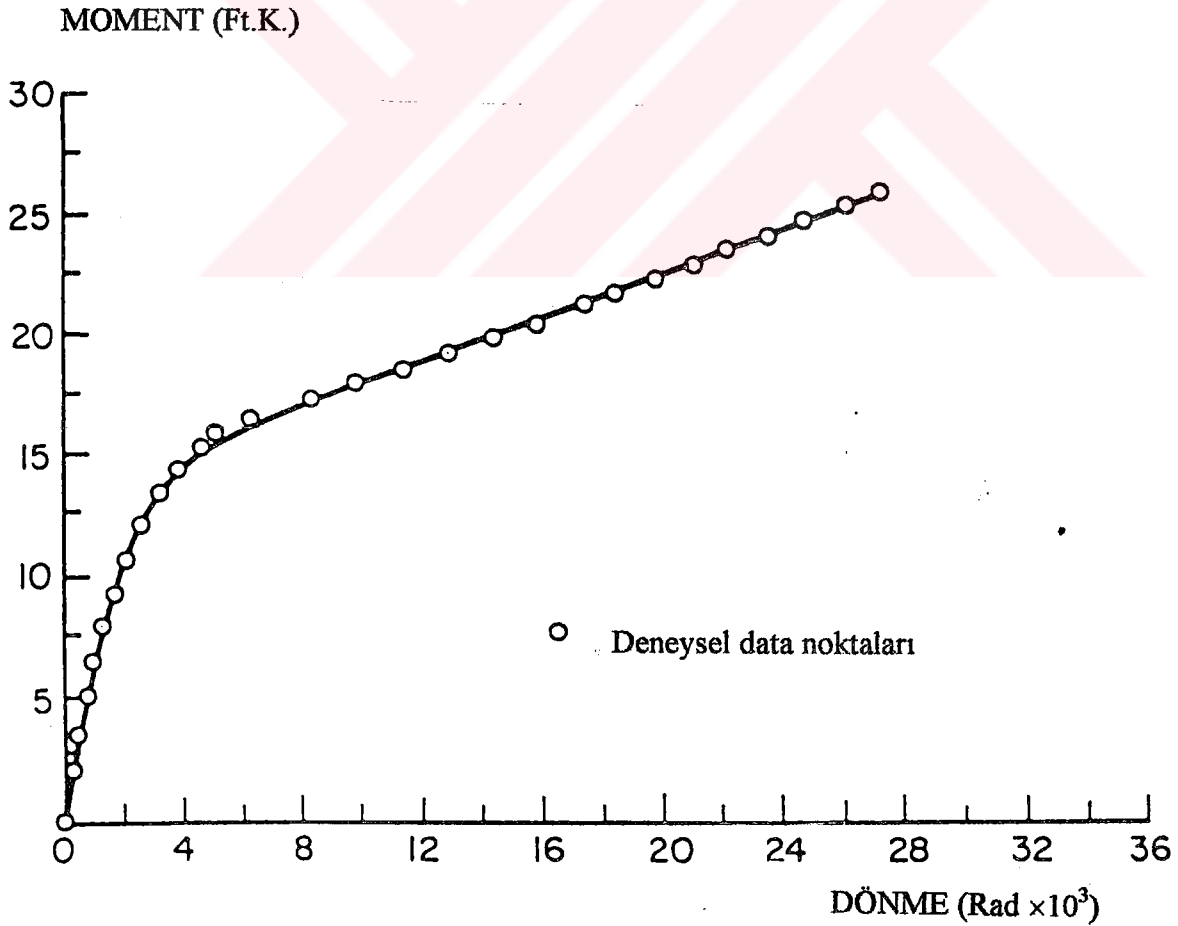


Şekil 3.5 Ramberg- Osgood En Küçük Kareler ve Seçilmiş Noktalar ve Kübik B-Freze(Attiogbe ve Morris, 1991)

Richard-Abbott fonksiyonunun Seçilmiş Noktalar ve En Küçük Kareler metodlarıyla analizinden elde edilen davranış eğrileri Şekil 3.6’da verilmiştir. Seçilmiş Noktalar Metodunda ortaya çıkan tahmin hatası, Kübik B-freze modelinde ortaya çıkan tahmin hatasının 1,3 katı iken, En Küçük Kareler Metodunda ortaya çıkanın 3 katı bir değere ulaşmıştır (Attiogbe ve Morris, 1991).

Burada Richard-Abbott fonksiyonunun Kübik B-freze fonksiyonuna nispeten kabul edilebilir ölçülerde doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood fonksiyonları kendi aralarında kıyaslandığında da Richard-Abbott fonksiyonunun daha üstün olduğu şüphe götürmez, ancak her iki fonksiyonun da daha az parametre gerektirdiğini, bu açıdan avantajlı olduklarını unutmamak gerekir.

Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood fonksiyonlarının daha kapsamlı kıyaslanabilmesi amacıyla çok kullanılan beş tip kiriş-kolon birleşiminde moment-dönme davranışı bu fonksiyonlarla En Küçük Kareler Metodu kullanılarak modellenmiştir. Her bir birleşim düşük, orta ve yüksek ilk rijitliklerle modellenmiştir. Dikkate alınan birleşim tipleri ve edinildikleri kaynaklar şu şekildedir : tek gövde köşebentli (Lipson); çift gövde köşebentli (Illinois Üniversitesi, Urbana; Thompson); başlık levhalı (Sommer); uç levhalı (Bailey; Ostrander) ve üst ve alt köşebentli (Altman). Yapılan kıyaslamaların sonucu Tablo 3.1 ve Şekil 3.7'de verilmiştir. Onbeş durumun onunda Richard-Abbott fonksiyonunun Ramberg-Osgood'a nispeten daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Attiogbe ve Morris, 1991).



Şekil 3.6 Richard-Abbott En Küçük Kareler ve Seçilmiş Noktalar Metodu (Attiogbe ve Morris, 1991)

3. 5 Standart Moment-Dönme Fonksiyonu

Yapılan kıyaslamalardan yola çıkarak, çelik kiriş-kolon birleşimlerinin en geçerli ve uygun standart moment-dönme fonksiyonlarının, Richard-Abbott fonksiyonundan türetilebileceği aşikardır. Burada amacın mümkün olan en az sayıda parametreyle çalışarak, tüm birleşim tiplerine uyarlanabilir bir standart fonksiyon elde etmek olduğu unutulmamalıdır.

Moment-dönme fonksiyonunu, verilmiş bir birleşim tipi için, Richard-Abbott geometrik parametreleri olan ϕ_0 , M_0 , t ve S_P ile aşağıdaki tarzda verebiliriz:

$$\phi_0 = \prod_{j=1}^m q_j^{a_j} \quad (3.16.a)$$

$$M_0 = \prod_{j=1}^m q_j^{b_j} \quad (3.16.b)$$

$$t = \prod_{j=1}^m q_j^{c_j} \quad (3.16.c)$$

$$S_P = \prod_{j=1}^m q_j^{d_j} \quad (3.17.d)$$

Burada $q_j = j$ inci boyut parametresi, a_j , b_j , c_j ve $d_j = j$ inci geometrik parametrenin etkisini ifade eden üsler ve m , dikkate alınan birleşimin geometrik parametrelerinin sayısıdır. (3.16)'nın her iki tarafının logaritması alınırsa:

$$\log \phi_0 = a_1 \log q_1 + a_2 \log q_2 + \dots + a_m \log q_m \quad (3.17.a)$$

$$\log M_0 = b_1 \log q_1 + b_2 \log q_2 + \dots + b_m \log q_m \quad (3.17.b)$$

$$\log t = c_1 \log q_1 + c_2 \log q_2 + \dots + c_m \log q_m \quad (3.17.c)$$

$$\log S_P = d_1 \log q_1 + d_2 \log q_2 + \dots + d_m \log q_m \quad (3.17.d)$$

(3.17) ifadesine çok sayıda lineer regresyon analizi uygulamak suretiyle (3.16)'da gerekli olan a_j , b_j , c_j ve d_j üslü ifadeleri bulunabilir.

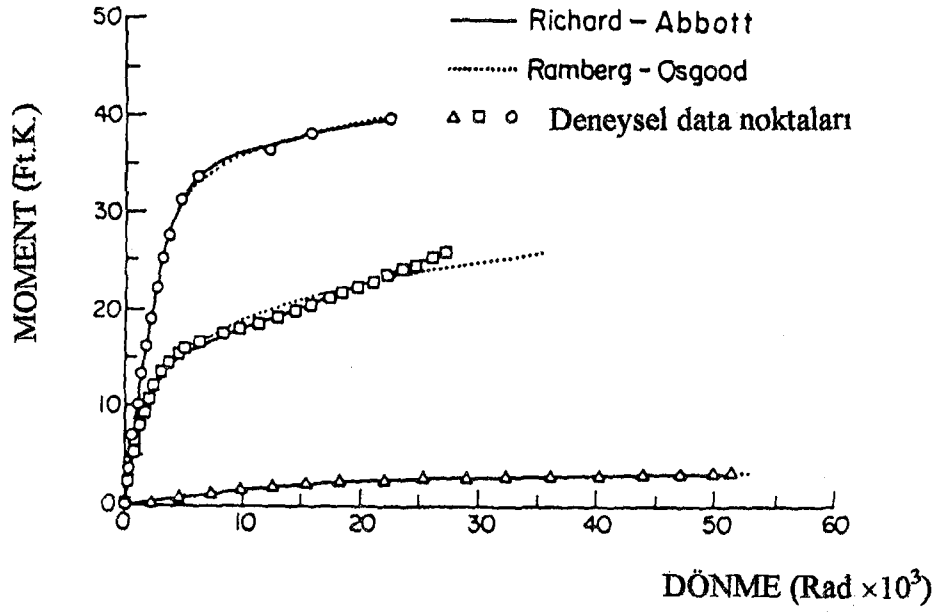
(3.16)'da boyutsuz Richard-Abbott fonksiyonu için türetilmiş olan ifadeler bir yapısal analiz bilgisayar programında kullanılabilir. Program çalıştırıldığında, herhangi bir birleşim için geometrik parametreler bilgisayara girilerek, Richard-Abbott fonksiyon parametreleri hesaplanabilir. Bulunan parametreler, fonksiyonda, birleşimin moment-dönme davranışını belirlemek için yerine konur (Attiogbe ve Moris, 1991).



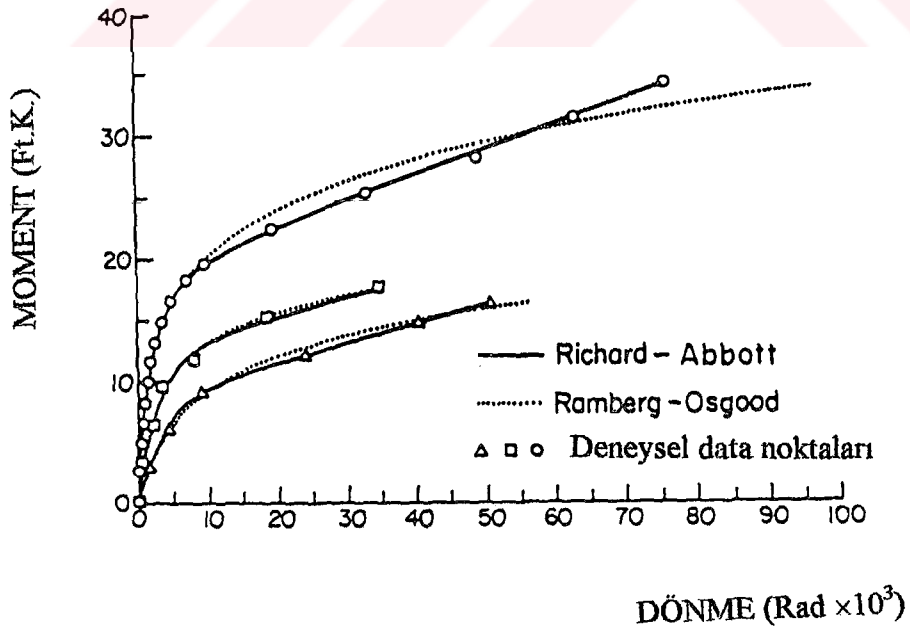
Çizelge 3.1 Beş tip birleşimde hata tahmini ve fonksiyon parametreleri (Attiogbe ve Morris, 1991)

Birleşim Tipi (1)	DeneySEL ^a Data (2)	Tahmin Hatası $\times 10^6$		Bağlı Hata ^b (5)	PARAMETRELER						
		Richard-Abbott fonksiyonu (3)	Ramberg-Osgood fonksiyonu (4)		Richard-Abbott			Ramberg-Osgood			
					ϕ_0 (6)	M ₀ (7)	n (8)	S _p (9)	ϕ_0 (10)	M ₀ (11)	n (12)
Tek Gövde Köşebentli	1	3.63	4.61	0.787	12.01	2.17	3.45	0.025	16.45	3.01	5.07
	2	13.60	3160.00	0.004	2.13	13.72	2.69	0.446	3.25	16.69	5.06
	3	16.90	20.50	0.824	3.63	34.47	2.86	0.236	3.90	34.42	10.25
Çift Gövde Köşebentli	1	0.00	16.80	0.000	4.88	8.50	2.48	0.159	6.53	10.38	4.16
	2	13.40	5.07	2.643	3.38	12.83	1.69	0.143	3.92	12.28	5.53
	3	2.82	853.00	0.003	1.86	19.54	1.23	0.195	2.32	16.11	4.93
Başlık Levhalı	1	0.61	195.00	0.003	3.21	29.61	2.54	0.620	4.19	33.76	4.54
	2	34.90	5.95	5.866	6.17	66.78	1.99	0.480	6.34	65.10	5.28
	3	0.94	3.14	0.299	4.81	79.37	1.62	0.659	4.62	70.20	4.81
Uç Levhalı	1	20.80	13.60	1.529	5.80	46.23	1.61	0.113	5.68	38.87	6.67
	2	6.38	93.70	0.068	6.89	116.53	3.60	0.097	7.08	114.08	14.60
	3	1610.00	70.10	22.967	4.09	172.79	1.73	0.427	4.28	150.50	8.70
Üst ve Alt köşebentli	1	10.80	11.90	0.908	3.95	15.44	1.81	0.257	3.98	15.10	4.34
	2	175.00	101.00	1.733	3.23	30.81	1.45	0.231	3.18	25.61	5.50
	3	202.00	406.00	0.498	2.45	47.65	1.31	0.337	2.75	39.39	6.17

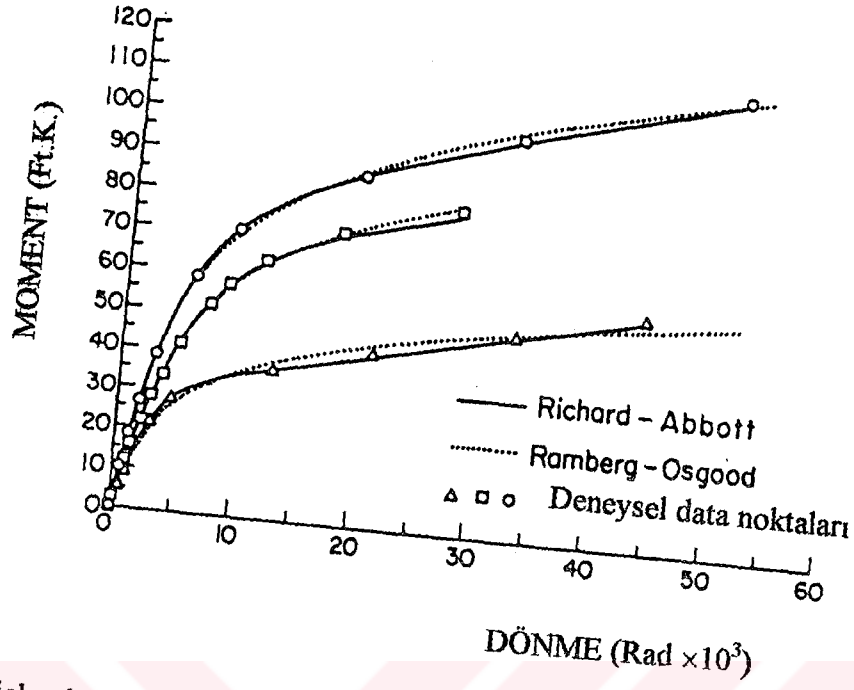
^a Her birleşim tipinin ilk rijitlik değerini simgeleyen sayılar: 1 = düşük, 2 = orta, 3 = yüksek^b Bağlı Hata = Richard-Abbott fonksiyonundaki hata miktarı / Ramberg-Osgood fonksiyonundaki hata miktarı



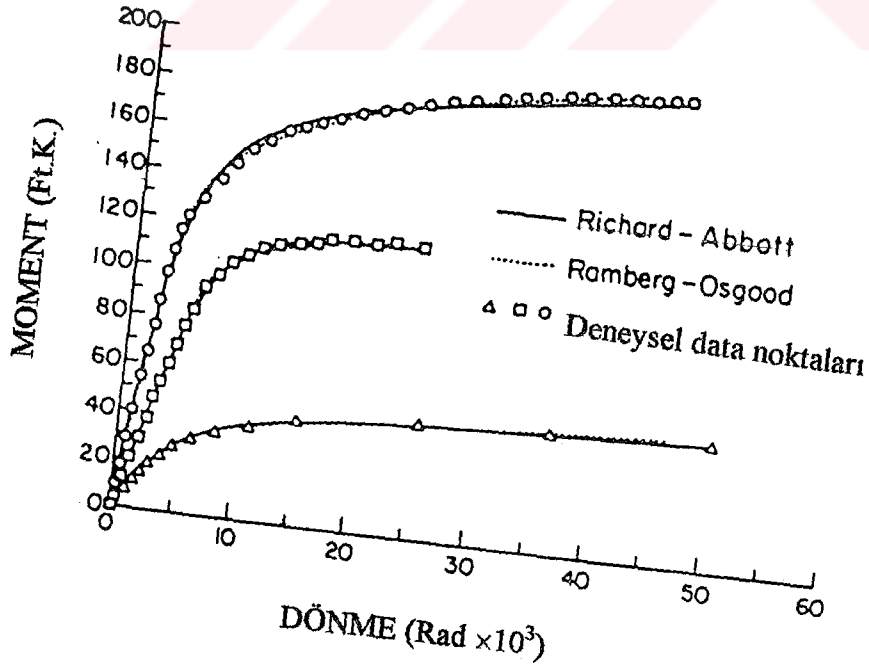
Şekil 3.7a Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood: Tek gövde köşebentli birleşim (Attiogbe ve Morris, 1991)



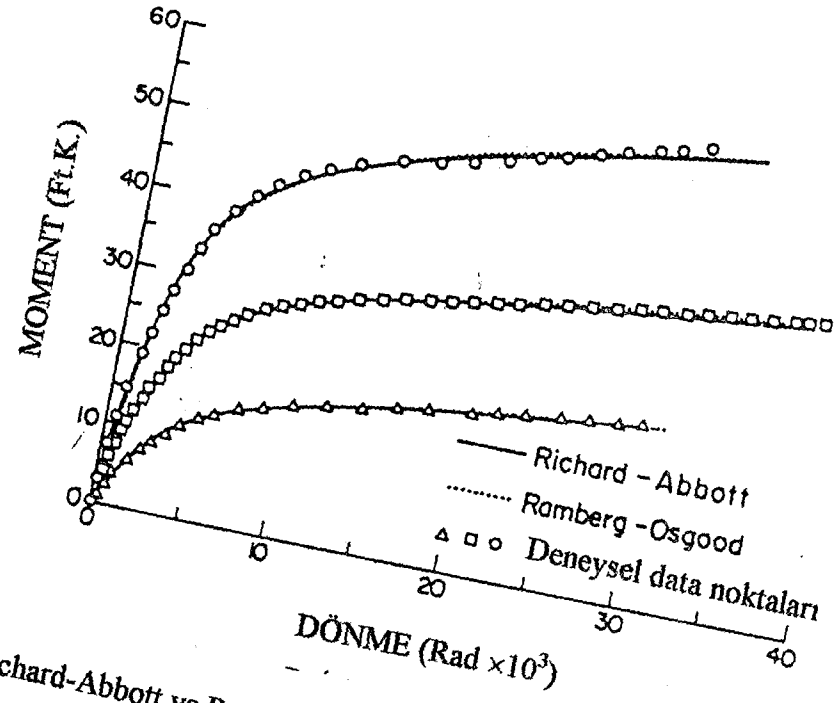
Şekil 3.7b Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood : Çift gövde köşebentli birleşim (Attiogbe ve Morris, 1991)



Şekil 3.7c Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood : Başlık levhalı birleşim (Attiogbe ve Morris, 1991)



Şekil 3.7d Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood : Alın levhalı birleşim (Attiogbe ve Morris, 1991)

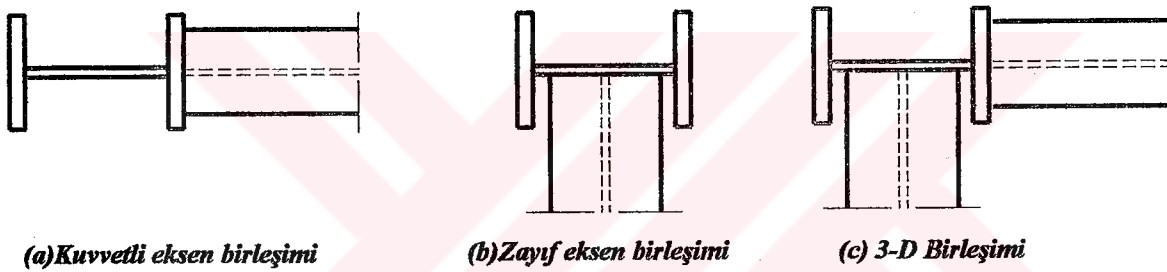


Şekil 3.7e Richard-Abbott ve Ramberg-Osgood : Üst ve alt köşebentli birleşim (Attiogbe ve Morris, 1991)

4. YARI-RİJİT KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN HESAP ESASLARI

4. 1 İncelenen Birleşim Türleri

Uygulamada üç tip kiriş-kolon birleşimi vardır (Şekil 4.1). Bunlardan kuvvetli eksen birleşimlerinde, kiriş kolon başlığına bağlıdır ve kolonun kuvvetli eksenini etrafında eğilme oluşturur (Şekil 4.1a) ; zayıf eksen birleşimlerinde ise kolon gövdesine bağlıdır ve zayıf eksenini etrafında eğilme oluşturur (Şekil 4.1b). 3D birleşimlerinde, kirişlerden bir tanesi kolonun gövdesine, diğeri başlığına bağlanır (Şekil 4.1c) (Yardımcı, Yorgun ve Arda,1995).



Şekil 4.1 Kiriş-kolon birleşimlerinin tipleri (Yardımcı, Yorgun ve Arda, 1995)

Kuvvetli eksen birleşimleri için çok sayıda deneysel çalışma yapıp, şartnamelerce de kabul görmüş hesap metodları geliştirilmiş olmasına rağmen, diğer iki tip için, henüz deneysel ve teorik çalışmalar sonuç verecek nitelikte değildir. Bu çalışmada Eurocode 3’de önerilen hesap metodları esas alınarak hazırlandığından, yalnızca kuvvetli eksen birleşim hesapları irdelenecektir.

Hem kiriş, hem de kolonların kesitleri I yada H kesit olmalıdır. Eurocode 3’de hesap metodları incelenen birleşim tipleri şunlardır (Şekil 4.2);

- Kaynaklı birleşimler
- Alın levhalı, bulonlu birleşimler
- (Kiriş yüksekliğinde) Kısa alın levhalı, bulonlu birleşimler

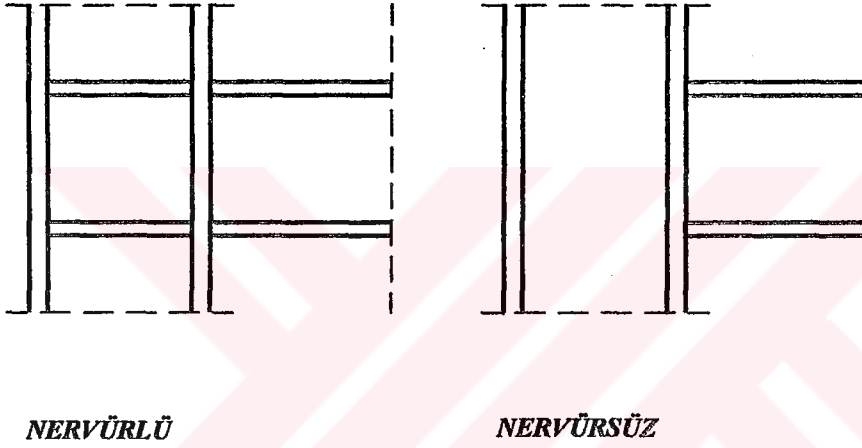
Bu birleşimlerde kolon gövdesinde,

- Kirişin her iki başlığı hizasında nervür olabilir

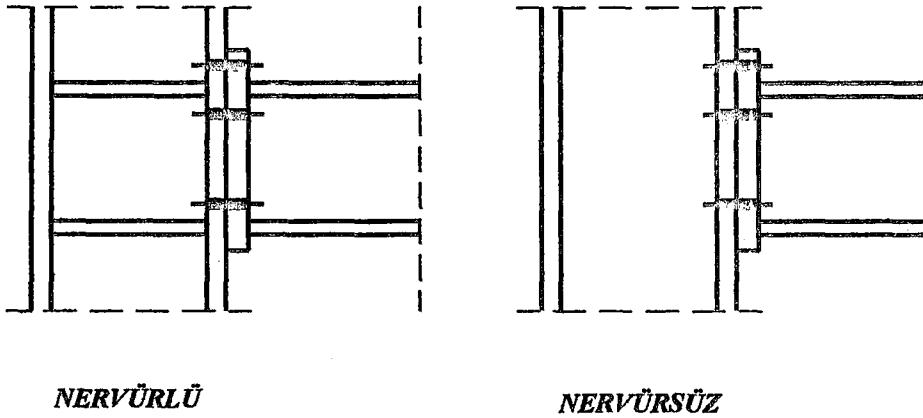
- Kirişin bir başlığı hizasında nervür olabilir
- Kiriş başlıkları hizasında nervür kullanılmayabilir.

Bunlara ilave olarak, kolon gövdesi diyagonal nervür veya ilave bir bütünleyici gövde levhası ile kuvvetlendirilebilir. Bulonlu birleşimlerde, kolon başlıkları, başlık arkasına tespit edilen levhalarla kuvvetlendirilebilirler.

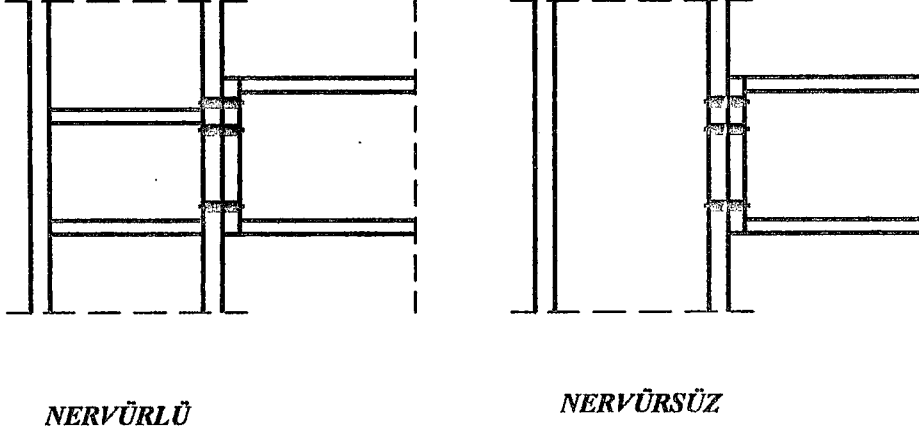
İlerleyen konularda değinilecek olan hesap metodları kiriş-kiriş birleşimlerine de uygulanabilir.



(a) KAYNAKLI BİRLEŞİMLER



(b) ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİMLER



(c) KISA ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİMLER

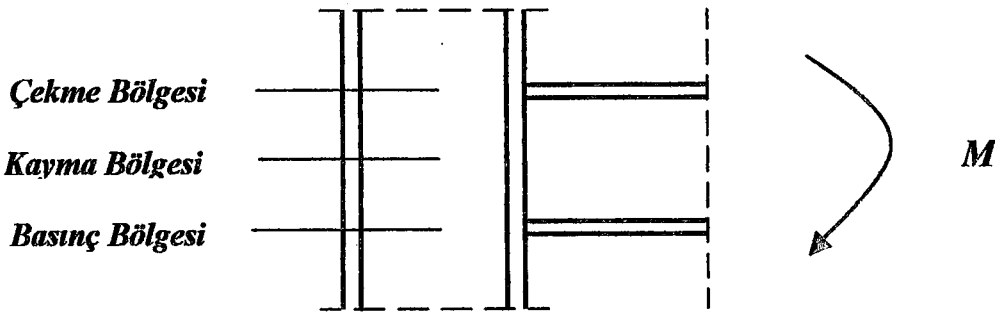
Şekil 4.2. Kiriş-kolon birleşimleri(Annex J of Eurocode 3 ,1993-1-1:1992)

4. 2 Hesaplanan Büyüklükler

4.2.1 Moment taşıma gücü

Bir kiriş-kolon birleşiminin moment taşıma gücü, Şekil 4.3'de gösterilen üç kritik bölgenin taşıma gücüne bağlıdır;

- Çekme Bölgesi
- Basınç Bölgesi
- Kayma Bölgesi



Şekil 4.3 Kiriş-kolon birleşiminde kritik bölgeler (Annex J of Eurocode3, 1993-1-1:1992)

Birleşimin moment taşıma gücü aşağıdaki kriterler dikkate alınarak tanımlanır.

(a) Çekme Bölgesi

- Kolon gövdesinin akması
- Kiriş gövdesinin akması
- Kolon başlığının akması
- Birleştirme elemanlarının (örneğin alın levhası) akması
- Kaynağın atması
- Bulonun kopması

(b) Basınç Bölgesi

- Kolon gövdesinin buruşması
- Kolon gövdesinin burkulması

(c) Kayma Bölgesi

Çerçeve davranışına bağlı olarak kolonda oluşan normal gerilmelerin neden olduğu yerel ikinci derece etkiler basınç bölgesinin tasarım dayanımı üzerinde etkilidir. Bu durumun dışında, birleşimin kritik bölgelerinin dayanımı, çerçeve davranışının neden olduğu gerilmelerden etkilenmiyor kabul edilir.

Bir kiriş-kolon birleşiminin tasarım moment dayanımı hesaplanırken; çekme ve basınç bölgesi dayanımlarından küçük olanı, bu bölge merkezleri arasındaki mesafe ile çarpılır.

Eğer kayma bölgesi tasarım dayanımı, çekme ve basınç bölgesi tasarım dayanımlarından küçük olanına eşitse veya daha büyükse, kolon gövde panelinde kayma dayanımı için tahkike lüzum yoktur(Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992).

4.2.2 Dönme rijitliği

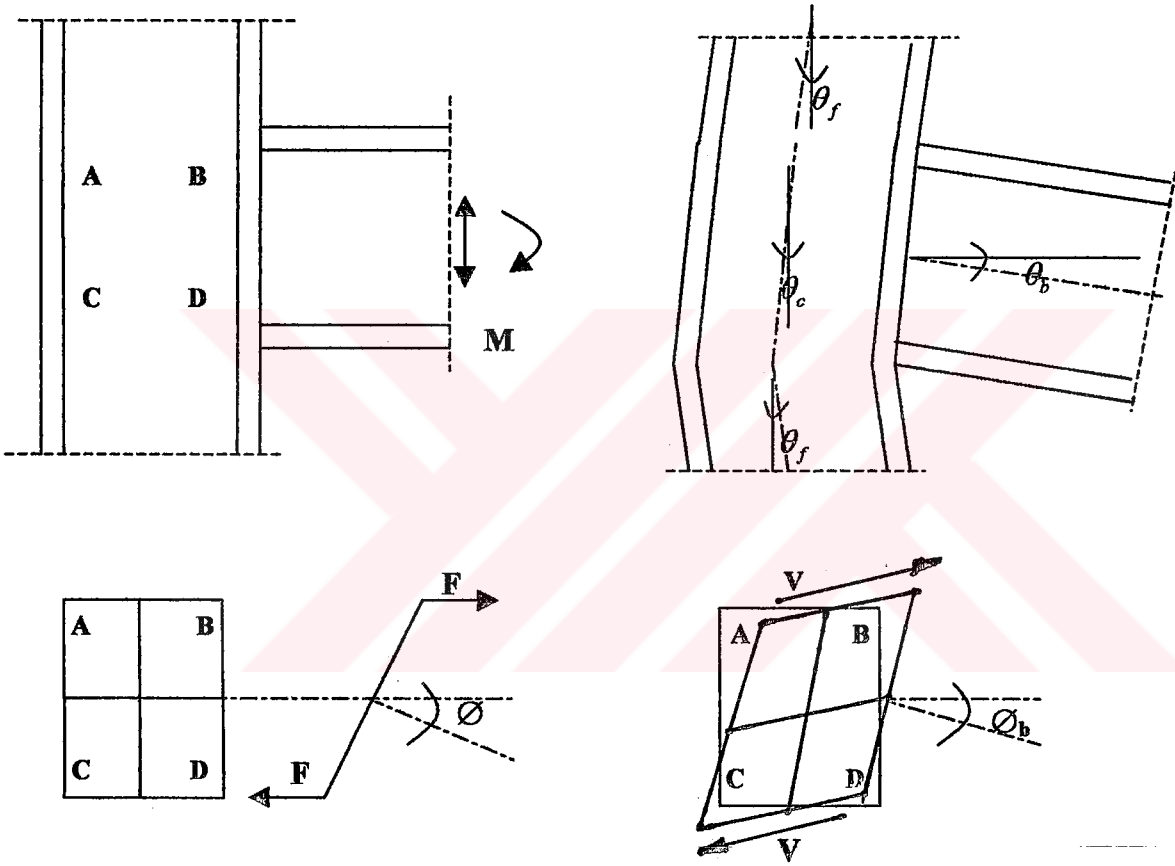
Dönme rijitliği hesaplanırken kritik bölgelerin bileşenlerinin esnekliği dikkate alınmalıdır. Çerçeve analizinde kullanılır, bu çalışmanın konusu dışındadır.

4.2.3 Dönme kapasitesi

Bir kiriş-kolon birleşiminin dönme rijitliği, birleşimin tasarım moment taşıma gücünün hesaplanmasında baskın olan kritik bölgenin plastik deformasyon kapasitesiyle tanımlanabilir. Çerçeve analizinde kullanılmak üzere hesaplanır, bu çalışmanın konusu dışındadır.

4.3 Dügüm Noktası Deformasyonunun Modellenmesi

Birleşimlerin moment-dönme özellikleri daha önceki bölümlerde de değinildiği gibi çok kolay tanımlanabilir nitelikte değildir, bu açıdan modellemeyi basitleştirmek amacıyla, düğüm noktasındaki şekil değıştirmeler, kolon gövde paneli ve birleşim bölgesindeki şekil değıştirmelerin toplamı olarak alınır. Dolayısıyla kolon gövde panelindeki kayma kuvvetinden kaynaklanan deformasyonlar ve birleşim bölgesinde eğilme momentinin sebep olduğu deformasyonlar iki ana şekil değıştirme bileşeni olarak kabul edilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Birleşimin şekil değıştirme bileşenleri (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995)

Birleşimin deformasyonu:

$$\varnothing_c = \theta_b - \theta_c \quad (4.1)$$

Kolon gövde panelinin deformasyonu:

$$\gamma = \theta_c - \theta_f \quad (4.2)$$

Düğüm noktası deformasyonu:

$$\varnothing = \varnothing_c + \gamma \quad (4.3)$$

5. EUROCODE 3'E GÖRE KAYNAKLI YARI-RIJİT KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN HESABI

5.1 İlave Gövde Levhaları

İlave gövde levhaları çekme, basınç ve kayma tesirlerine karşı kolon gövdesinin dayanımını arttırmak için kullanılabilir. Kullanılan çelik malzeme, bağlandığı kolonun çelik sınıfıyla benzer nitelikte olmalıdır. Levhayı kolon gövdesine birleştiren kaynak dikişleri, kolon profilinin yuvarlaklık yarıçapının bittiği noktaya kadar uzanabilir (Şekil 5.1). Levha, kolon gövdesindeki efektif çekme ve basınç bölgelerini mutlaka içine alacak şekilde boyutlandırılmalıdır; l_s boyu bu tarzda belirlenmelidir. Levha kalınlığı t_s , kolon gövde kalınlığı t_{wc} 'den küçük olmamalıdır. İlave gövde levhası çepeçevre kaynaklanmalıdır. Kaynak dikiş kalınlığı şöyle olmalıdır;

$$a \geq \frac{t_s}{\sqrt{2}} \quad (5.1)$$

İlave gövde levhasının b_s genişliği $40a_s$ 'yi geçiyorsa, levha ve kolon gövdesinin birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla, bir sıra bulon kullanılmalıdır(Şekil 5.2). Böyle bir durumda dikkat edilmesi gereken koşullar şunlardır:

$$e_1 \leq 40a_s \quad e_2 \leq 40a_s \quad p \leq 40a_s \quad d_0 \geq t_s$$

e_1 : deliğin levha kenarından yatay uzaklığı

e_2 : deliğin levha kenarından düşey uzaklığı

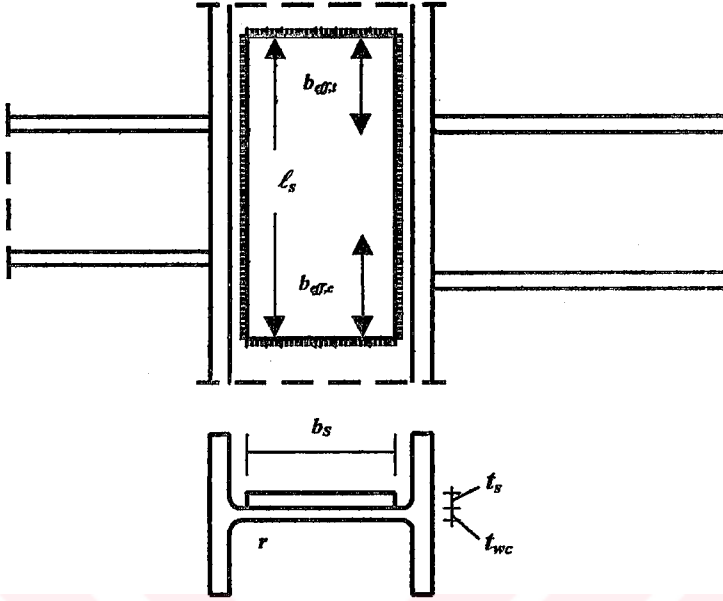
p : delikler arası mesafe

d_0 : delik çapı

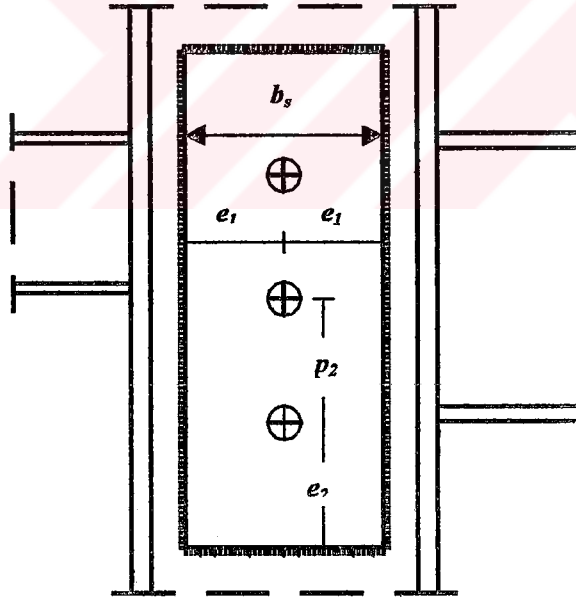
Ayrıca;

$$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \right]^{0.5} \quad (5.2)$$

burada f_y çelik malzemenin akma gerilmesidir (Çizelge 5.1).



Şekil 5.1 İlave gövde levhası (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)



Şekil 5.2 İlave gövde levhasında bulonların konumlandırılması (Eurocode 3, 1993)

5.2 Çekme Bölgesi Taşıma Gücü

5.2.1 Ön bilgi

EC3'e göre çekmeye maruz bir elemanın taşıma gücü hesabı en genel haliyle aşağıdaki gibi yapılır:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{MO}} \quad (5.3)$$

$N_{net,Rd}$: Çekmeye maruz elemanın taşıma gücü

A_{net} : Çekmeye maruz elemanın net enkesit alanı

γ_{MO} : Çekmeye maruz elemanın kısmi güvenlik katsayısı (Çizelge 5.2)

Çizelge 5.1 EC3'e göre çelik malzeme sınıfları (Eurocode 3, 1993)

Çelik Sınıfı	Kalınlık "t" (mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 100 mm	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
EN 10025				
Fe 360	235	360	215	340
Fe 430	275	430	255	410
Fe 510	355	510	335	490
prEN 10113				
Fe E 275	275	390	255	370
Fe E 355	355	490	335	470

f_y : Çelik malzemenin akma gerilmesi
 f_u : Çelik malzemenin maksimum çekme gerilmesi

Doğrudan doğruya bu çalışmanın konusu olan hesaplarda kullanılmayacak olmasına rağmen, dikkate değer bir analogi taşıdığından, aşağıda özetlenecek durumu da irdelemenin faydalı olduğu kanısındayım. Nervürle takviye edilmemiş bir kolon başlığına, bir levhanın kaynakla bağlı olduğu durumda, tanımlanan birleşim, yanal çekme kuvvetine maruz kalırsa; gerek çelik malzeme, gerekse kaynak dikişleri açısından şartnamenin ilgili bölümünde efektif bir genişlik, b_{eff} , kullanılması önerilmektedir (Şekil 5.3). A_{net} hesabı için lüzumlu olan bu efektif genişlik aşağıdaki tarzda hesaplanacaktır:

$$b_{eff} = t_{wc} + 2r + 7t_{fc} \quad (5.4)$$

t_{wc} : kolon gövde panelinin kalınlığı

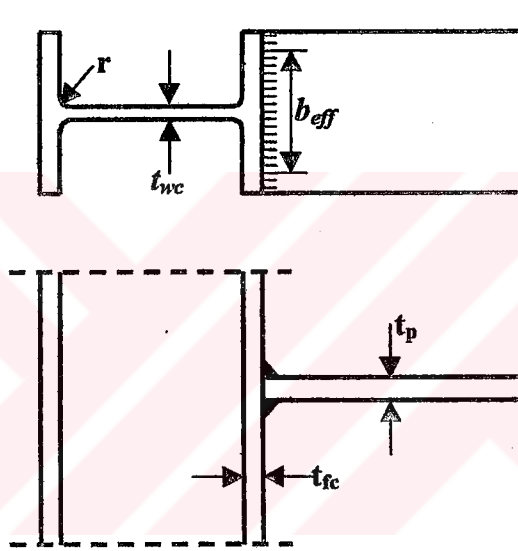
t_{fc} : kolon başlık kalınlığı

r : kolon başlığı ve gövdesinin birleştiği kısımdaki yuvarlaklık yarıçapı

EC3'e göre çekme kuvveti tesirindeki kaynak dikişlerinin taşıma gücü hesabı şu şekilde yapılmalıdır;

$$F_{w,Rd} = \frac{a \times \ell \times (f_u / \sqrt{3})}{\beta_w \gamma_{MW}} \quad (5.5)$$

$F_{w,Rd}$, kaynak dikişlerinin taşıma gücü; a , kaynak dikiş kalınlığı; ℓ , kaynak dikiş uzunluğu; f_u , çelik malzemenin maksimum çekme gerilmesi; β_w , kaynak dikişlerinde korelasyon katsayısı (Çizelge 5.2); γ_{MW} , kaynak dikişleri için kısmi güvenlik katsayısı (Çizelge 5.4).



Şekil 5.3 Yanal çekmeye maruz kaynaklı birleşimde efektif uzunluk (Eurocode 3, 1993)

Çizelge 5.2 EC3'e göre kaynak dikişlerinde korelasyon katsayısı değerleri (Eurocode 3, 1993)

Çelik Sınıfı	Kaynak dikişlerinde korelasyon katsayısı	Çelik Sınıfı	Kaynak dikişlerinde korelasyon katsayısı
EN 10025	β_w	prEN 10113	β_w
Fe 360	0,8	Fe E 275	0,8
Fe 430	0,85	Fe E 355	0,9
Fe 510	0,9		

Çizelge 5.3 EC3'e göre enkesitlerin sınıflandırılması (Eurocode 3, 1993)

Enkesit sınıfı	ÖZELLİKLER
Sınıf I	Plastik analizde gerekli olan dönme kapasitesini haiz plastik mafsal oluşturabilen enkesitler.
Sınıf II	Ancak sınırlı bir dönme kapasitesi ile belirli bir plastik moment taşıma gücüne ulaşabilen enkesitler.
Sınıf III	En uçtaki basınç liflerinde hesaplanan gerilmesi akma sınırına ulaşmış, fakat yerel burkulması, plastik moment taşıma gücünün artışına engel olan enkesitler.
Sınıf IV	Moment veya basınç taşıma gücü belirlenirken, yerel burkulma etkilerinin dikkate alınması gereken enkesitler.

Çizelge 5.4 EC3'e göre kısmi güvenlik katsayıları (Eurocode 3, 1993)

Taşıma Gücü	Kısmi Güvenlik Katsayısı
Sınıf I, II veya III enkesitin taşıma gücü	$\gamma_{MO} = 1,1$
Sınıf IV enkesitin taşıma gücü	$\gamma_{M1} = 1,1$
Burkulmaya maruz elemanın taşıma gücü	$\gamma_{M1} = 1,1$
Bulon delik kayıplarının çıkarıldığı net enkesitin taşıma gücü	$\gamma_{M2} = 1,25$
Bulonlu birleşimlerin taşıma gücü	$\gamma_{Mb} = 1,25$
Perçinli birleşimlerin taşıma gücü	$\gamma_{Mr} = 1,25$
Kaynaklı birleşimlerin taşıma gücü	$\gamma_{MW} = 1,25$

5.2.2 Nervürlü kolon başlığında taşıma gücü

Yanal çekmeye maruz kalmış bir kolon başlığında taşıma gücü aşağıdaki gibi hesaplanacaktır;

-Hadde ürünü I yada H kesitli kolon için:

$$F_{t,Rd} = \frac{[f_{yb} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2r_c) + 7 \times f_{yc} \times t_{fc}^2]}{\gamma_{MO}} \quad (5.6)$$

Elde edilen taşıma gücü değeri aynı zamanda şu koşulu da sağlamalıdır:

$$F_{t,Rd} \leq \frac{[f_{yb} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2r_c + 7 \times t_{fc})]}{\gamma_{MO}} \quad (5.7)$$

-Kaynaklı yapma I yada H kesitli kolonda:

$$F_{t,Rd} = \frac{[f_{yb} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2\sqrt{2}a_c) + 7 \times f_{yc} \times t_{fc}^2]}{\gamma_{MO}} \quad (5.8)$$

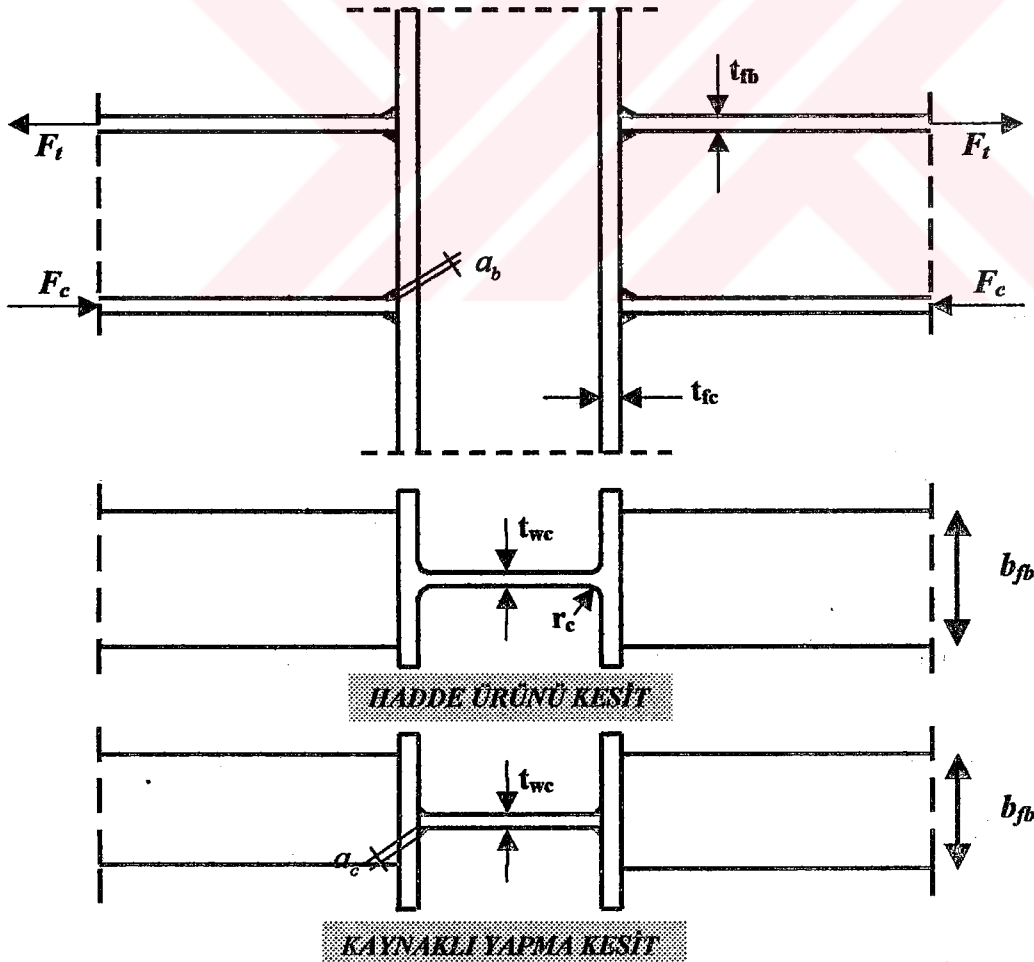
Buradan hesaplanan $F_{t,Rd}$ şu şartı da sağlamalıdır:

$$F_{t,Rd} \leq \frac{[f_{yb} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2\sqrt{2}a_c + 7 \times t_{fc})]}{\gamma_{MO}} \quad (5.9)$$

Burada dikkat çeken husus, çekmede kolon başlığının taşıma gücü hesabında, genellikle (5.7) ve (5.9) denklemlerinin etkin oluşudur. Keza uygulamada bir yapıyı oluşturan tüm elemanların aynı kalitede çelik olması tercih edilir; bu durumda kolon başlık kalınlığı, kiriş başlık kalınlığından büyükse (5.7) veya (5.9) denklemi, tersi durumda ise (5.6) veya (5.8) denklemi etkin olur.

Yukarıdaki denklemlerden elde edilen taşıma gücü, aşağıdaki koşulu sağlamazsa, nervür kullanılmalıdır:

$$F_{t,Rd} \geq 0,7 \times f_{yb} \times t_{fb} \times b_{fb} \quad (5.10)$$



Şekil 5.4 Kiriş-kolon birleşim boyutları (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

5.3.2 Kiriş başlığını kolona bağlayan kaynak dikişlerinin taşıma gücü

Kiriş başlığını kolona bağlayan kaynak dikişlerinin taşıma gücü , en az giriş başlığının taşıma gücü kadar olmalıdır.

$$F_{WRd} = \frac{a \times l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{MW}} \geq \frac{f_{yb} \times t_{fb} \times b_{fb}}{\gamma_{MO}} \quad (5.11)$$

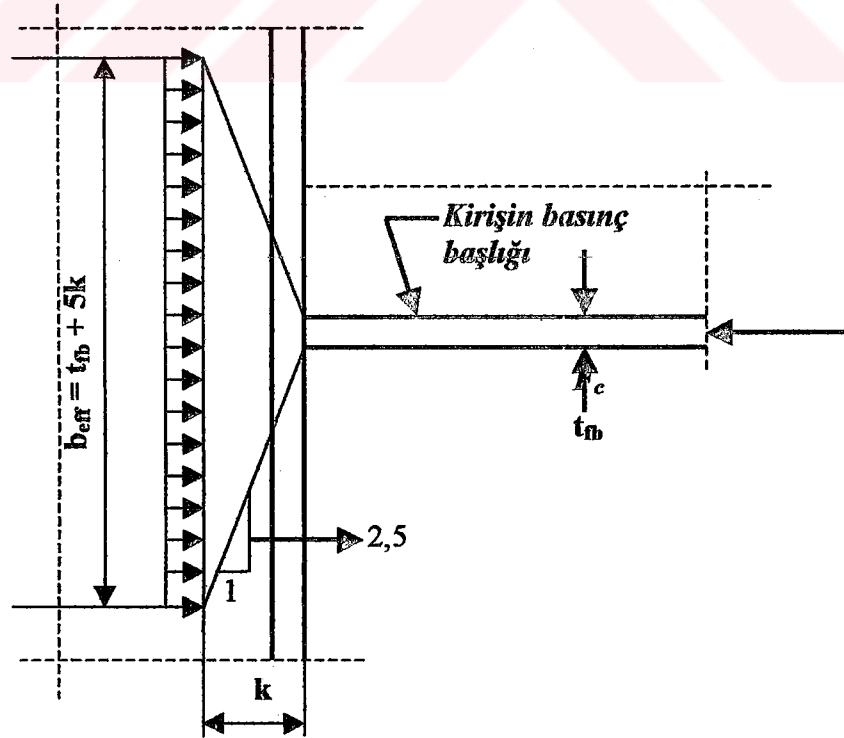
5.2.4 Nervürsüz kolon gövdesinin çekme tesirinde taşıma gücü

Nervürsüz bir kolon gövdesi yanal çekme kuvvetine maruz kaldığında, taşıma gücü şöyledir:

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff}}{\gamma_{MO}} \quad (5.12)$$

Kaynaklı bir birleşimde, kolon gövdesinin efektif genişliği gerek basınç ve gerekse çekme bölgesinde aynı tarzda hesaplanır. Kiriş başlığından kolona aktarılan kuvvet, kolon gövdesinde b_{eff} boyunca düzgün yayılı gerilme dağılımına sebep olur (Şekil 5.5). Yapılan deneysel çalışmalar ışığında Newlin ve Chen tarafından efektif uzunluk şöyle tanımlanmıştır (Hendrick ve Murray, 1984) :

$$b_{eff} = t_{fb} + 5k \quad (5.13)$$



Şekil 5.5 Kiriş başlığından aktarılan kuvvetin neden olduğu gerilme dağılımı (Hendrick ve Murray, 1984)

Kiriş başlığından, kolon gövdesine aktarılan kuvvet yaklaşık giriş başlığı ile 61,80°'lik açı yapmaktadır. Bu açının eğimi ise 2,5 / 1'dir. Witteveen, Start, Bijlaard ve Zoetemeijer, Hollanda'da yaptıkları deneysel çalışmalarda aynı dağılım açısını doğrulamış ve b_{eff} için spesifik tanımlamalar getirmişlerdir (Hendrick ve Murray, 1984). Kirişin, kolon başlığına doğrudan doğruya kaynaklandığı, uç levhasız bir birleşimde;

$$b_{eff} = t_{fb} + 5 \times (t_{fc} + r_c) \quad (5.14)$$

Bulonlu, uç levhalı bir birleşimde ise;

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 2 \times t_p + 5 \times (t_{fc} + r_c) \quad (5.15)$$

olduğunu ileri sürmüşlerdir (Hendrick ve Murray, 1984). Burada t_p , uç levhası kalınlığı; a_p ise kirişi uç levhasına bağlayan kaynak dikiş kalınlığıdır.

EC3'de bulonlu uç levhalı birleşim için tanımlanan efektif uzunluk değeri (5.15) denklemiyle özdeştir, ancak kaynaklı birleşim hali için kirişi kolona bağlayan kaynak dikişlerinin de etkin olduğu kabul edilip, b_{eff} değeri hadde ürünü I yada H kesitli kolonda aşağıdaki tarzda tanımlanmıştır:

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5 \times (t_{fc} + r_c) \quad (5.16)$$

Kaynaklı yapma I yada H kesitli kolonda:

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5 \times (t_{fc} + \sqrt{2}a_c) \quad (5.17)$$

Nervürsüz bir kolon gövdesi, ilave bir gövde levhası ile kuvvetlendirilebilir (Şekil 5.1). İlave gövde levhası ile güçlendirilmiş bir kolonun çekme bölgesinin dayanımı hesaplanırken lüzumlu denklemlerde t_{wc} yerine t_{weff} kullanılır. Gövdenin efektif kalınlığı hem tek, hem de kolon gövdesinin iki yanında çift ilave levhası olması durumunda ;

$$t_{weff} = 1,4 \times t_{wc} \quad (5.18)$$

olacaktır.

5.2.5 Nervürlü kolon

Yanal çekmeye maruz nervürlü bir kolonun çekme bölgesinin taşıma gücü, en az kiriş başlığının taşıma gücüne eşit olmalıdır ve aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

- Nervürlerin kalınlığı, kiriş başlık kalınlığından az olmamalıdır.
- Nervür malzemesinin kalitesi, kiriş malzemesinin kalitesinden düşükse, nervürlerin kiriş başlıklarından alacakları yanal kuvvetlere karşı taşıma güçleri artırılmalıdır.
- Nervürler ve kolon başlıkları arasındaki kaynak dikişleri, kiriş başlıklarının uygulayacağı yanal kuvvetleri taşıyabilir nitelikte tasarlanmalıdır.

5.3 Basınç Bölgesi Taşıma Gücü

5.3.1 Nervürsüz kolon gövdesinde ezilme dayanımı

Nervürsüz bir kolon gövdesi, yanal basınç kuvvetine maruz kalırsa ezilme dayanımı aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F_{c,Rd} = f_{yc} \times t_{wc} \times \left[1,25 - \left(\frac{0,5 \times \gamma_{MO} \times \sigma_{n,Ed}}{f_{yc}} \right) \right] \times \frac{b_{eff}}{\gamma_{MO}} \quad (5.19)$$

Bu denklemden $\sigma_{n,Ed}$, eksenel kuvvet ve eğilmeden dolayı kolon gövdesinde oluşan maksimum basınç normal gerilmesidir.

Ayrıca kolon gövdesinin ezilme dayanımı aşağıda verilen koşulu da sağlamalıdır:

$$F_{c,Rd} \leq \frac{f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff}}{\gamma_{MO}} \quad (5.20)$$

Burada bahsi geçen b_{eff} 'in hesabında (5.16) veya (5.17) denklemini kullanılmalıdır.

Nervürsüz kolon gövdesinde burkulmaya karşı ilave gövde levhası kullanılabilir. İlave gövde levhalı bir kolon gövdesinin ezilme dayanımı hesabı esnasında, gövdenin efektif kalınlığı t_{weff} , aşağıdaki gibi alınır:

-Tek ilave levhalı kolon gövdesinde:

$$t_{weff} = 1,5 \times t_{wc} \quad (5.21)$$

-Çift ilave levhalı kolon gövdesinde:

$$t_{weff} = 2 \times t_{wc} \quad (5.22)$$

5.3.2 Nervürsüz kolon gövdesinde burkulma dayanımı

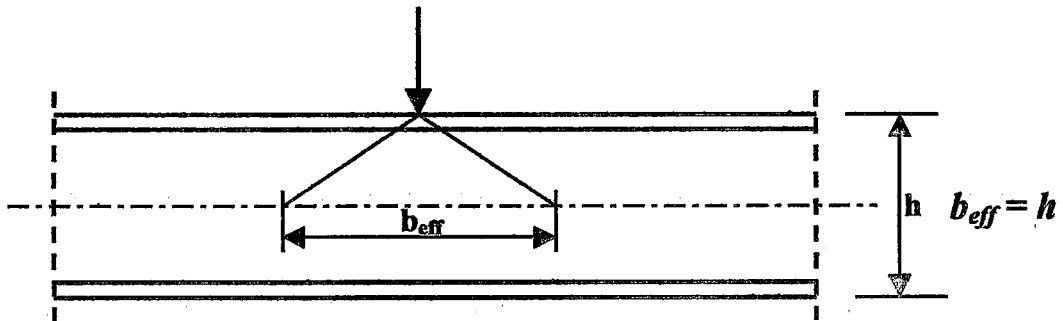
EC3'ün ilgili bölümünde I, H yada U kesitli bir eleman gövdesinin burkulma dayanımı hesabında, gövdenin, b_{eff} genişliğinde virtüel bir basınç elemanı gibi ele alınması önerilir (Şekil 5.6). Bu virtüel basınç elemanının burkulma boyu ise, başlıklarda kuvvetin tatbik edildiği noktada yanal öteleme ve dönmeye karşı tutulma durumuna bağlıdır. En genel haliyle bir elemanın burkulma dayanımı aşağıdaki tarzda hesaplanır:

$$R_{b,Rd} = \frac{\chi \beta_A A f_y}{\gamma_{M1}} \quad (5.23)$$

Burada $R_{b,Rd}$, elemanın burkulma dayanımı; χ , burkulmanın elemanın taşıma gücünde yol açacağı azalmayı hesaba katan azaltma katsayısı; β_A , enkesitin sınıflandırılması ile ilgili korelasyon katsayısı (Çizelge 5.5); A , kesit alanı; γ_{M1} , kısmi güvenlik katsayısıdır (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.5 EC3'e göre çelik malzemede korelasyon katsayısı değerleri (Eurocode 3, 1993)

Enkesit sınıfı	β_A korelasyon katsayısı
Sınıf I	1
Sınıf II	1
Sınıf III	1
Sınıf IV	A_{eff} / A



Şekil 5.6 Gövde burkulma dayanımında efektif genişlik (Eurocode 3, 1993)

(5.24) denkleminde yer alan $\chi, \bar{\lambda}$ rölatif narinlik değerine bağlı olarak Çizelge 5.7'den alınır. Çizelge 5.7'den faydalanabilmek için, öncelikle Çizelge 5.6'nın incelenmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.6'da ise hangi enkesitlerin, hangi burkulma eğrisine göre ele alınması gerektiği verilmiştir. $\bar{\lambda}$ rölatif narinlik;

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right) (\beta_A)^{0,5} \quad (5.24)$$

olacaktır. Buradaki λ_1 değeri aşağıdaki tarzda hesaplanır:

$$\lambda_1 = \pi \left(\frac{E}{f_y} \right)^{0,5} = 93,9\varepsilon \quad (5.25)$$

ε ise çeliğin akma gerilmesine bağlı olarak (5.2) denklemini kullanılarak hesaplanır:

(5.24) eşitliğindeki λ değeri ise elemanın narinlik değeridir, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda = \frac{\ell}{i} \quad (5.26)$$

(5.26) eşitliğindeki ℓ , burkulma boyu; i , atalet yarıçapıdır. En genel haliyle özetlenen burkulma taşıma gücü hesabını, ele aldığımız kolon gövdesine uyarlayacak olursak $\beta_A = 1$ olacak ve *c* tipi burkulma eğrisi oluşacaktır.

5.3.3 Nervürlü kolon

Yanal basınç kuvvetine maruz, nervürlü bir kolon gövdesinin tasarım dayanımı, en az giriş başlığının tasarım dayanımı kadar olmalıdır. Ayrıca nervürler 5.2.5'de verilen özellikleri sağlamalıdır.

5.4 Kayma Bölgesi Taşıma Gücü

5.4.1 Önbilgi

En genel halde bir kesitin plastik kayma taşıma gücü;

$$V_{Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{MO}} \quad (5.27)$$

dir. Burada A_v , kesitin kayma alanıdır ve aşağıdaki gibidir:

a) Hadde ürünü I yada H kesitte, gövdeye paralel yükleme durumunda:

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f \quad (5.28)$$

b) Hadde ürünü U kesitte, gövdeye paralel yükleme durumunda:

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + r) \times t_f \quad (5.29)$$

c) Kaynaklı yapma I, H yada kutu kesitte, gövdeye paralel yükleme durumunda:

$$A_v = \Sigma(d \times t_w) \quad (5.30)$$

d) Kaynaklı, yapma I, H, U yada kutu kesitte, başlıklara paralel yükleme durumunda:

$$A_v = A - \Sigma(d \times t_w) \quad (5.31)$$

e) Hadde ürünü, et kalınlığı sabit, dikdörtgen tüp kesitlerde,

- Enkesit düzlemine dik yüklemede:

$$A_v = A \times h \times (b + h) \quad (5.32)$$

- Enkesit düzlemi içindeki yüklemede:

$$A_v = A \times b \times (b + h) \quad (5.33)$$

f) Dairesel veya et kalınlığı sabit tüp kesitlerde:

$$A_v = \frac{2 \times A}{\pi} \quad (5.34)$$

g) Levhalarda:

$$A_v = A \quad (5.35)$$

Burada:

A: Enkesit alanı

b : Enkesit genişliği

d : Gövde yüksekliği

h: Kesit yüksekliği

r: Başlık ve gövde arasındaki yuvarlaklık yarıçapı

t_f : Başlık kalınlığı

t_w : Gövde kalınlığı

İşlem kolaylığı açısından hadde ürünü I_y , H yada U kesitte, gövdeye paralel yükleme durumunda ;

$$A_v = 1,04 \times h \times t_w \quad (5.36)$$

alınabilir.

5.4.2 Nervürsüz kolonda kayma bölgesi taşıma gücü

Nervürsüz kolonda kayma bölgesi taşıma gücü şöyle hesaplanır:

$$V_{Rd} = \frac{[f_{yc} (A_v / \sqrt{3})]}{\gamma_{M0}} \quad (5.37)$$

A_v , kolonun kayma alanıdır ve f_{yc} ise kolonun akma gerilmesidir. Nervürsüz kolonda, kolon gövde paneli, kaymaya karşı ilave gövde levhası ile kuvvetlendirilebilir. Bu durumda, hem çift, hem de tek ilave gövde levhası kullanılması durumunda kayma alanı $b_s \times t_{wc}$ kadar arttırılmalıdır.

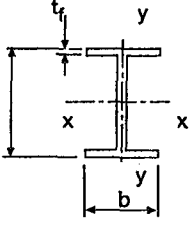
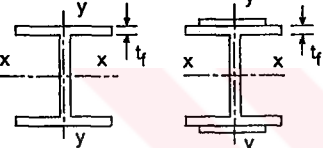

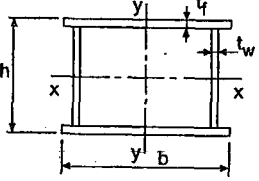
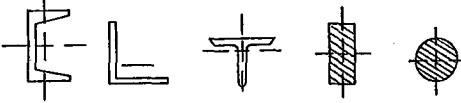
5.4.3 Nervürlü kolonda kayma bölgesi taşıma gücü

Kolon gövdesi kayma dayanımını arttırmak için diyagonal gövde nervürleri kullanılıyorsa, bu nervürler kiriş başlıklarından kolona aktarılan basınç ve çekme kuvvetlerini güvenle taşıyabilecek tarzda tasarlanmalıdır (Şekil 5.7). Ayrıca nervürler ile kolon gövdesi arasındaki kaynak dikişlerinin taşıma gücü, en az nervürlerin taşıma gücüne eşit olmalıdır.

5.5 Birleşimin Taşıma Gücü

Birleşimin taşıma gücünün, kolon gövde panelinin kayma taşıma gücü aşılmamak şartıyla;

Çizelge 5.6 Enkesitlere göre burkulma eğrileri seçimi(Eurocode 3,1993)

ENKESİT	SINIRLAR	Burkulma eksenini	Burkulma eğrisi
Hadde Ürünü I kesitler 	$h / b > 1,2:$ $t_f \leq 40 \text{ mm}$	x-x	a
	$40\text{mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b
		x-x	b
	$h / b \leq 1,2:$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	c
		x-x	b
	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	c
x-x		d	
Kaynaklı Yapma I Kesitler 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	x-x	b
		y-y	c
	$t_f > 40\text{mm}$	x-x	c
		y-y	d
Tüp Kesitler 	Sıcakta çekilmiş	Herhangi biri	a
	Soğukta şekil verilmiş	Herhangi biri	b
Kaynaklı Kutu Kesitler 	Aşağıda belirtilen tiplerin dışında	Herhangi biri	b
	Kalın kaynak dikişlerinde ve $b / t_f < 30$ $h / t_w < 30$	x-x	c
		y-y	c
	U, L, T ve dolu kesitler 	Herhangi biri	Herhangi biri

Çizelge 5.7 χ azaltma katsayıları (Eurocode 3, 1993)

$\bar{\lambda}$	Burkulma eğrisi			
	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

çekme ve basınç bölgelerinin dayanımlarından küçük olanı ile ($h_b - t_{fb}$) uzaklığının çarpılarak hesaplanması önerilmektedir (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995).

$$M_{Rd} = \min(F_{tRd}, F_{cRd})(h_b - t_{fb}) = F_{\min}(h_b - t_{fb}) \quad (5.38)$$

(5.38) eşitliğindeki h_b giriş kesit yüksekliğidir.

5.6 Birleşimin Dönme Rijitliği

Kaynaklı bir kiriş-kolon birleşiminin dönme rijitliği şöyle hesaplanabilir:

$$S_j = \frac{E(h_b - t_{fb})^2 t_{wc}}{\sum \frac{1}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2} \quad (5.39)$$

(5.39)'daki S_j , birleşimde mevcut belirli bir M momentini dikkate alan sekant rijitliğidir ($M \leq M_{Rd}$); k_i , i birleşiminin rijitlik faktörüdür; F_i , i birleşiminde M momentinden kaynaklanan kuvvet ($\frac{F_{i,Rd}}{1,5}$ 'den küçük olamaz); $F_{i,Rd}$, i birleşiminin tasarım dayanımıdır.

Nervürsüz kaynaklı bir birleşimde, rijitlik faktörü k_i aşağıdaki şekilde alınmalıdır:

Kolon gövdesi, kayma bölgesi: $k_1=0,24$

Kolon gövdesi, çekme bölgesi: $k_2=0,80$

Kolon gövdesi, basınç bölgesi: $k_3=0,80$

Rijitlenmiş herhangi bir elemanda bağıl rijitlik faktörü k_i sonsuz alınabilir. Kaynaklı bir kiriş-kolon birleşiminde, birleşim hem çekme hem de basınç bölgesine nervürlerle rijitlenmiş ise; birleşim rijit alınabilir.

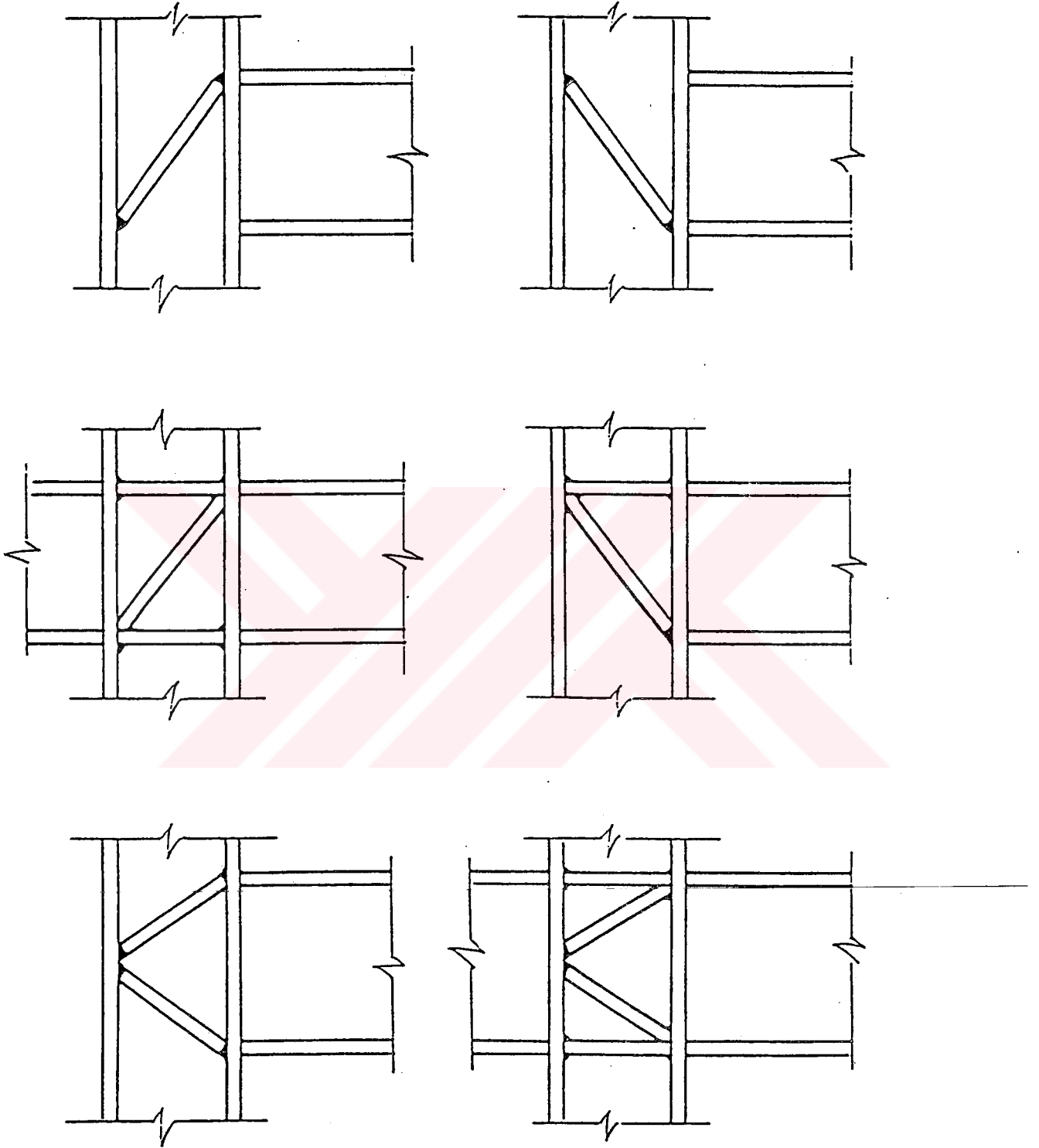
5.7 Birleşimin Dönme Kapasitesi

Şimdiye kadar özetlenen esaslar çerçevesinde tasarlanmış, kaynaklı, nervürsüz bir kiriş-kolon birleşiminin dönme kapasitesi, θ_{Cd} , 0,015 radyan kabul edilebilir. Aşağıdaki özellikleri haiz birleşimlerde, birleşimin plastik analiz için yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu kabul edilebilir:

- Tam dayanımlı, kaynaklı kiriş-kolon birleşimleri
- Moment taşıma gücünün, kayma bölgesi dayanımına bağlı olduğu, kaynaklı kiriş-kolon birleşimleri
- Tam dayanımlı olmasa bile, hem çekme hem de basınç bölgesi rijitlenmiş kaynaklı kiriş-kolon birleşimleri
- Çekme bölgesi rijitlenmiş, basınç bölgesi rijitlenmemiş, kaynaklı kiriş-kolon birleşimleri

Basınç bölgesi rijitlenmiş, fakat çekme bölgesi rijitlenmemiş, kaynaklı bir kiriş-kolon birleşiminde, moment taşıma gücü, kayma bölgesi taşıma gücüne bağlı değilse, dönme kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\phi_{Cd} = 0,025 \frac{h_c}{h_b} \quad (5.40)$$



Şekil 5.7 Diagonal nervürlerle takviye edilmiş kolon gövde panelleri (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

6. EUROCODE 3'E GÖRE YARI-RİJİT BULONLU KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN HESABI

6.1 Yapılan Kabuller

Tüm bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinde, her bulon sırasında yalnızca iki adet bulon olduğu farzedilir. Tasarım esnasında alın levhalarının bir sıra bulon içerdiği ve rijitlenmemiş olduğu kabul edilir.

Tam dayanımlı bulonlu bir kiriş-kolon birleşiminin moment dayanımı, EC3'de önerilen iki ayrı metodla hesaplanabilir. Bu çalışmada irdelenecek olan metotta plastik bulon kuvvetleri dağılımı esas alınmıştır, diğer metotta ise bulon kuvvetlerinin basınç merkezinden olan uzaklıkla orantılı dağılımı dikkate alınır.

6.1.1 Plastik bulon kuvvetleri dağılımı esas alınarak bulonlu bir kiriş-kolon birleşiminde moment taşıma gücünün hesaplanması

Bu hesap metodunda aşağıdaki adımlar takip edilmelidir:

- 1) Çekme bölgesindeki kolon başlığının potansiyel taşıma gücü belirlenir.
- 2) Çekme bölgesindeki kiriş uç levhasının potansiyel taşıma gücü belirlenir.
- 3) İlk iki adımda elde edilen değerler kullanılarak, çekme bölgesindeki her bir bulon sırasının efektif dayanımı belirlenebilir.
- 4) Tam dayanımlı birleşim hali dışında, herhangi bir bulon dizisinin efektif dayanımı $1.8 B_{t,Rd}$ 'yi geçerse, bulon sırasının efektif dayanımı bu değer altına düşürülmediği sürece birleşimin tasarımı değiştirilmelidir.
- 5) 3.adımda bulunan sonuçtan, çekme bölgesindeki tüm bulon sıralarının toplam efektif dayanımı belirlenir.
- 6) Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı belirlenmelidir.
- 7) Basınç bölgesinde kolon gövdesi dayanımı belirlenmelidir.
- 8) Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı belirlenmelidir.
- 9) 5-8. adımlardan elde edilen sonuçlardan en küçüğü; yani, en zayıf bölgenin dayanımı alınmalıdır.

- 10) 5. adımda bulunan, çekme bölgesindeki bulon sıralarının toplam efektif dayanımı, 9. adımda elde edilen en zayıf bölgenin dayanımından daha büyükse, bu değer, yeterli dayanıma sahip bulon sıralarının efektif dayanımlarını sınırlandırmak veya azaltmak suretiyle küçültülmelidir. Bu işleme, basınç bölgesinin merkezine en yakın bulon sırasıyla başlanmalı ve kalan bulon sıralarının dayanımı, en zayıf bölgenin dayanımına eşit oluncaya kadar devam edilmelidir.
- 11) 10. adımda elde edilen bulon sıralarını kullanmak suretiyle indirgenmiş çekme bölgesi alınır.
- 12) İndirgenmiş çekme bölgesindeki kolon gövdesi dayanımı yeniden kontrol edilmelidir.
- 13) Bir önceki adımda elde edilen değer, indirgenmiş çekme bölgesindeki bulon sıralarının toplam efektif dayanımından küçükse; bu değer, en zayıf bölgenin yeni dayanım değeri olarak alınmalı ve 10. adıma geri dönülmelidir.
- 14) Kiriş uç levhasına bitişik bölgelerde, kirişte ve kolon gövdesinde, çekme bölgelerinin dayanımı kontrol edilmelidir.
- 15) 14. adımda bulunan değer, indirgenmiş çekme bölgesindeki bulon sıralarının toplam efektif dayanımından daha küçükse; 14. adımda bulunan değer en zayıf bölgenin yeni dayanım değeri olarak alınmalı ve 10. adıma geri dönülmelidir.
- 16) İndirgenmiş çekme bölgesindeki bulon sıraları dikkate alınarak, birleşimin tasarım moment dayanım değeri olan M_{Rd} aşağıdaki tarzda hesaplanır:

$$M_{Rd} = \sum [F_{t,Rd} h_i] \quad (6.1)$$

Burada $F_{t,Rd}$, tek bir bulon sırası için tasarım efektif dayanım değeridir ve h_i , dikkate alınan bulon sırası ile basınç bölgesi dayanım merkezi arasındaki mesafedir.

- 17) Kiriş başlığı ve alın levhası arasındaki dikişlerin dayanımı kontrol edilmelidir.

6.2 Eşdeğer T-Uç Bölgesi

Birleşimlerin dayanımı çekme, basınç ve kayma bölgelerinin dayanımlarına bağlıdır. EC3 bölge dayanımlarını elde etmek için önce eşdeğer bir T-uç bölgesi tanımlamıştır. Çekme bölgesi dayanımı hesaplanırken, kolon başlığı ve alın levhasının T-uç bölgelerinden oluştuğu kabul edilmektedir (Şekil 6.1) . T-uç bölgesi kolon başlığı ve bulonlardan oluşmaktadır ve

etkin uzunluğu hesaplanmalıdır (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995). Bir T-uç bölgesinin taşıma gücü aşağıdaki kriterlerin tesirindedir:

- Başlığın dayanımı
- Bulonların dayanımı
- Gövdenin dayanımı
- Gövde ve başlığı bağlayan kaynak dikişlerinin dayanımı (Bu kriter kaynaklı yapma kesitlerde etkindir.)

T uç bölgesinin tasarım dayanımı Şekil 6.2’de gösterilen olası üç göçme modundan en küçük değeri verendir.

Mod 1 : Başlığın tamamen akması

$$F_{t,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd}}{m} \quad (6.2)$$

Mod 2 : Başlığın ve bulonun birlikte akması

$$F_{t,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad (6.3)$$

Mod 3 : Yalnızca bulonun akması

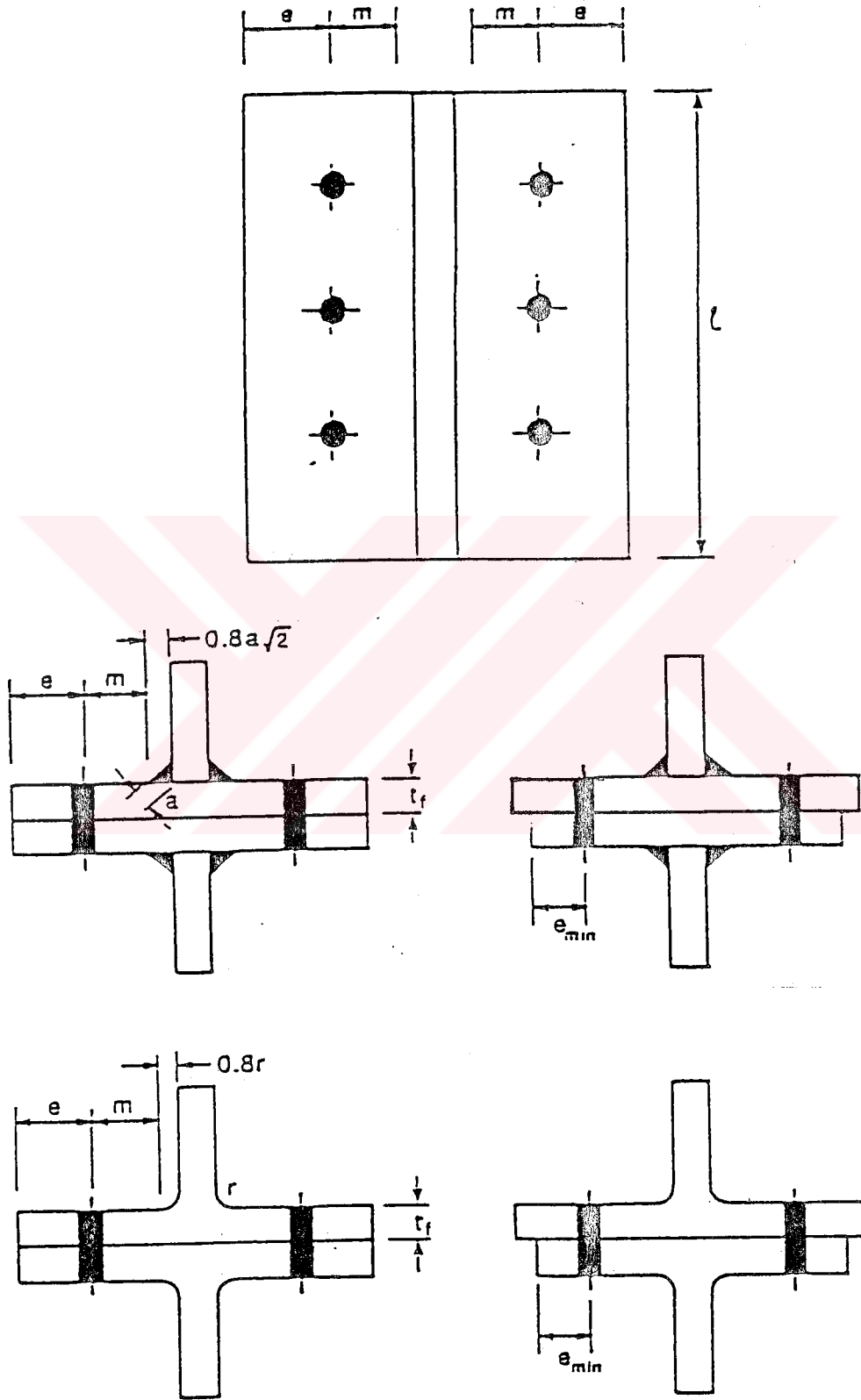
$$F_{t,Rd} = \sum B_{t,Rd} \quad (6.4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde bulunan $B_{t,Rd}$, tek bir bulonun tasarım çekme dayanımı(Çizelge 6.1); $\sum B_{t,Rd}$, T-uç bölgesindeki tüm bulonların tasarım çekme dayanımlarının toplamıdır ve T-uç bölgesinin moment taşıma gücü ise;

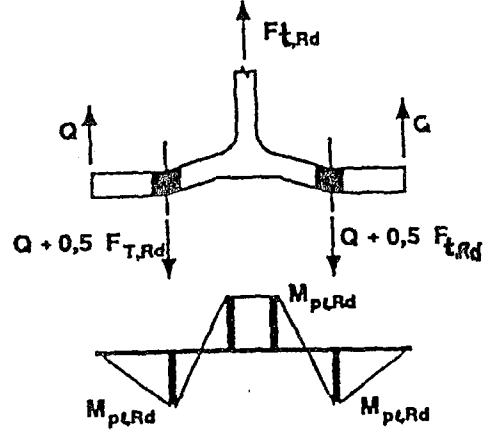
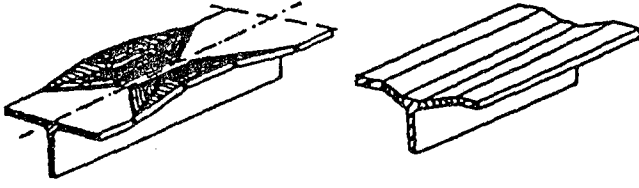
$$M_{pl,Rd} = 0.25 \times \ell \times t_y^2 \times \frac{f_y}{\gamma_{MO}} \quad (6.5)$$

denklemlerle bulunur. f_y , çelik malzemenin akma gerilmesi(Çizelge 5.1); γ_{MO} , enkesitin taşıma gücü için kısmi güvenlik katsayısıdır (Çizelge 5.4).

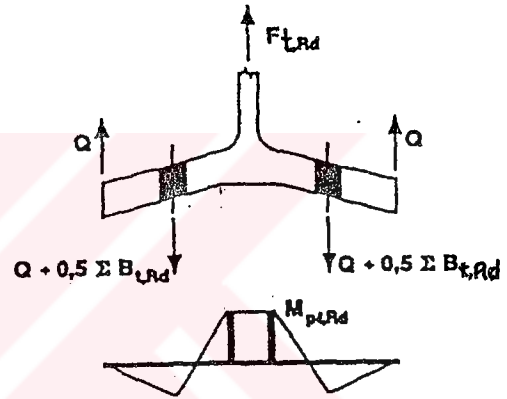
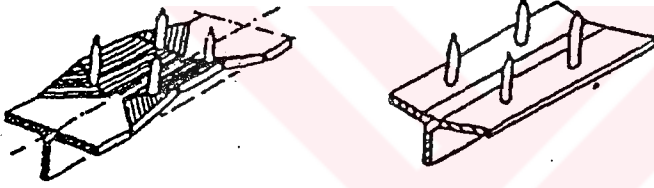
(6.3)’de bulunan n ise şöyledir;



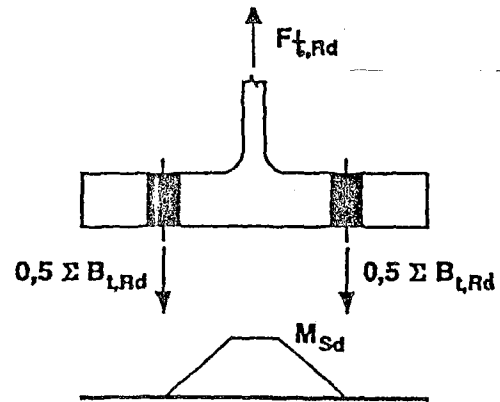
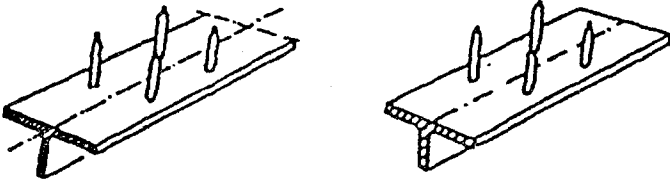
Şekil 6.1 T-uç bölgesi boyutları (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)



Mod 1- Başlığın tamamen akması



Mod 2- Başlığın ve bulonun birlikte akması.



$$M_{sd} \leq M_{pt,Rd}$$

Mod 3- Bulonun akması

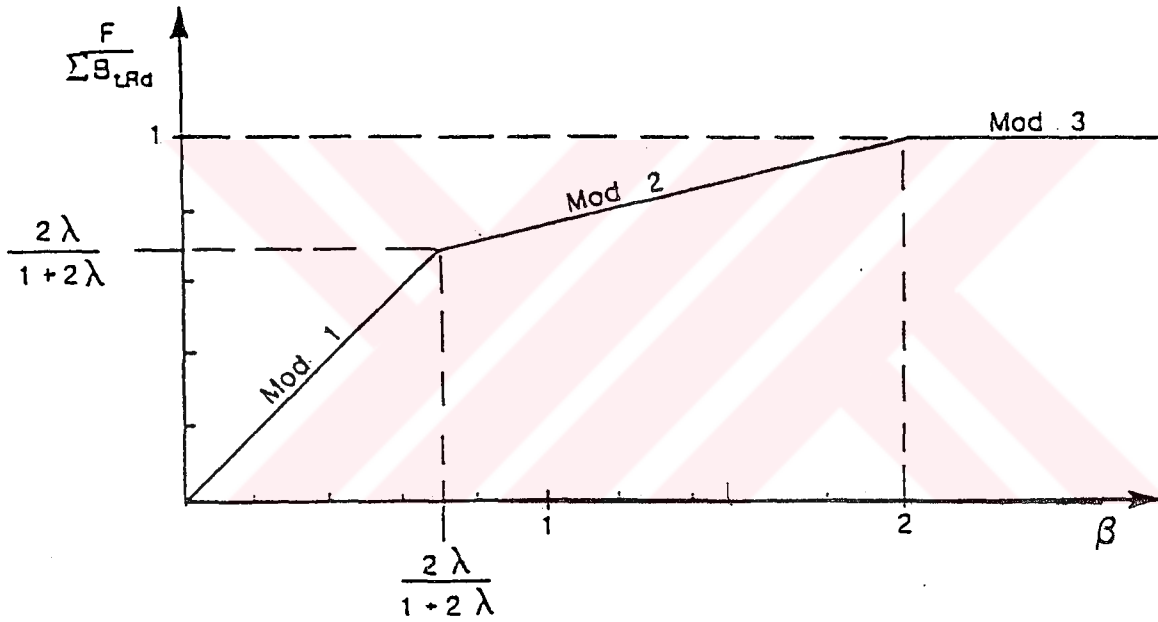
Şekil 6.2 T-uç bölgesinde akma şekilleri ve göçme modları (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

$n \leq 1.25 m$ ise $n = e_{min}$

ℓ, m, e Şekil 6.1'de verilmiştir.

Birleşim geometrisi ve göçme modu arasındaki ilişki Şekil 6.3'de verilmiştir. Aşağıda Şekil 6.3'de yer alan λ ve β parametreleri tanımlanmıştır:

$$\beta = \frac{4M_{pl,Rd}}{m \sum B_{t,Rd}} = \frac{\ell \times t_f^2 \times f_y / \gamma_{MO}}{m \sum B_{t,Rd}} \quad \text{ve} \quad \lambda = \frac{n}{m}$$



Şekil 6.3 Birleşim geometrisinin T-uç bölgesinin göçme moduna etkisi (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

5.3 Çekme Bölgesi Dayanımı

5.3.1 Nervürlü kolon başlığı

Çekme bölgesindeki kolon başlığının, Σl_{eff} kadar, yani bir seri eşdeğer T-uç bölgesinin toplam uzunluğu kadar olan bölümünün, hesaba esas alınması önerilmektedir. Birleşim geometrisine bağlı olarak; bazı durumlarda yalnızca dış sıradaki bulonların efektif uzunluğu

dikkate alınır. Her bir bulon sırası için efektif uzunluk olarak, aşağıdaki değerlerin en küçüğü alınacaktır:

a) İç sıradaki bulonlar için:

$$l_{\text{eff,a}} = p \quad (\text{Şekil 6.4.a}) \quad (6.6)$$

$$l_{\text{eff,a}} = 4m + 1.25e \quad (\text{Şekil 6.4.b}) \quad (6.7)$$

$$l_{\text{eff,a}} = 2\pi m \quad (\text{Şekil 6.4.c}) \quad (6.8)$$

b) Dış sıradaki bulonlar için:

$$l_{\text{eff,b}} = 0.5p + 2m + 0.625e \quad (\text{Şekil 6.4.a}) \quad (6.9)$$

$$l_{\text{eff,b}} = 4m + 1.25e \quad (\text{Şekil 6.4.b}) \quad (6.10)$$

$$l_{\text{eff,b}} = 2\pi m \quad (\text{Şekil 6.4.c}) \quad (6.11)$$

Kolonda mevcut aksenal kuvvet ve eğilme momentinden dolayı kolon başlığında oluşan normal gerilme, $\sigma_{n,Ed}$, çekme bölgesinde 180 N/mm^2 'yi aşarsa, kolon başlığının tasarım moment dayanımındaki olası azalmayı, $M_{pl,Rd}$ değerini bir azaltma faktörü olan k ile çarpmak suretiyle dikkate almak gerekir.

- $\sigma_{n,Ed} \leq 180 \text{ N/mm}^2$ ise $k_r = 1$ olacaktır.

- $180 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{n,Ed} \leq f_y$ ise

$$k_r = \frac{2f_y - 180 - \sigma_{n,Ed}}{2f_y - 360} \quad \text{ve} \quad k_r \leq 1$$

Göçme modu ve maksimum potansiyel tasarım dayanımı, çekme bölgesindeki tüm bulon sıralarının, tek bir eşdeğer T uç bölgesinde, tek bir grup gibi hareket ettiği kabulüyle belirlenir.

Göçme modu ve maksimum potansiyel tasarım dayanımı, çekme bölgesindeki tüm bulon edilir. Kolon başlığı veya kiriş ucundaki alın levhasındaki e mesafesinin minimum değeri, n değerini belirlemede kullanılır; e 'nin asıl değeri ise l_{eff} 'i belirlemede kullanılır.

Çizelge 6.1 EC3'e göre bulonların tasarım dayanımı(Eurocode 3, 1993)

Kayma düzlemindeki kayma dayanımı**-Kayma düzlemi bulon gövdesinin yivli bölgesini keserse:**

Dayanım derecesi 4.6 , 5.6 ve 8.8 olan bulonlarda:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}}$$

Dayanım derecesi 4.8 , 5.8 ve 10.9 olan bulonlarda:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}}$$

-Kayma düzlemi bulon gövdesinin düz bölgesini keserse:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A}{\gamma_{Mb}}$$

Yatak dayanımı^{*)}

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{Mb}}$$

Burada α aşağıdakilerin en küçüğü alınmalıdır;

$$\frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ veya } 1,0.$$

Çekme dayanımı

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}}$$

A : Bulonun en kesit alanı**A_s**: Bulonun çekme gerilmesi alanı**d** : Bulon çapı**d₀**: Delik çapı^{*)} Bulon çapına bağlı olarak, tasarım yatak dayanımı değerleri için Çizelge 6.2'ye bakınız.

Çizelge 6.2 EC3'e göre bulon çapını esas alan tasarım yatak dayanımı(Eurocode 3, 1993)

Nominal yatak sınıfı	Minimum boyutlar		Tasarım Yatak Dayanımı $F_{b,Rd}$
	e_1	p_1	
Düşük	1,7d	2,5d	$1,0f_u d t^*)$
Orta	2,5d	3,4d	$1,5f_u d t^*)$
Yüksek	3,4d	4,3d	$2,0f_u d t^*)$

^{*)} fakat $F_{b,Rd} \leq 2,0 f_u d t$

6.3.2 Art-levhalarla takviye edilmiş kolon başlığı

Şekil 6.5’de verildiği gibi kolon başlığı art-levhalarıyla takviye edilebilir. Art-levhası genişliği b_{bp} , başlık ucundan yuvarlaklık yarıçapının bitim noktasına kadar (yada köşe dikişe) kadar olan mesafeden az olmamalıdır. Bir art-levhasının uzunluğu, birleşimin çekme bölgesindeki bulonların toplam efektif uzunluklarından az olmamalıdır. Ayrıca bu uzunluk, bulon sırasının en sonundaki bulonu her iki uçta da $2d$ ’den fazla aşmamalıdır. Art-levhalarıyla takviye edilmiş bir kolon başlığının tasarım dayanımı, olası üç göçme modundan en küçüğü olarak alınmalıdır.

Mod 1 : Başlığın ve art-levhasının tamamen akması

$$F_{t,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m} \quad (6.12)$$

Mod 2 : Yalnız başlığın akmasıyla bulunun göçmesi

$$F_{t,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad (6.13)$$

Mod 3 : Yalnız bulunun göçmesi

$$F_{t,Rd} = \sum B_{t,Rd} \quad (6.14)$$

Burada $M_{bp,Rd}$ art-levhasının tasarım moment dayanımıdır ve şöyle hesaplanır;

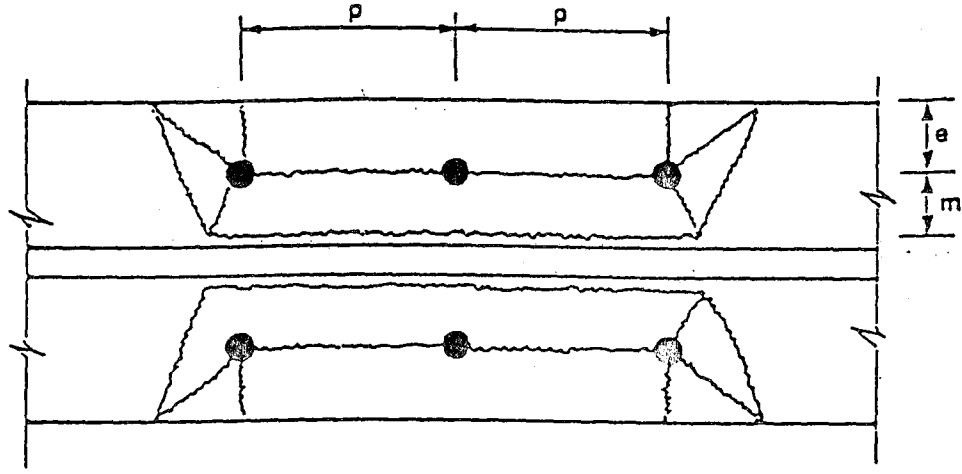
$$M_{bp,Rd} = 0.25 \times l_{eff} \times t_{bp}^2 \times \frac{f_{y,bp}}{\gamma_{MO}} \quad (6.15)$$

(6.15)’deki t_{bp} , art-levhası kalınlığıdır.

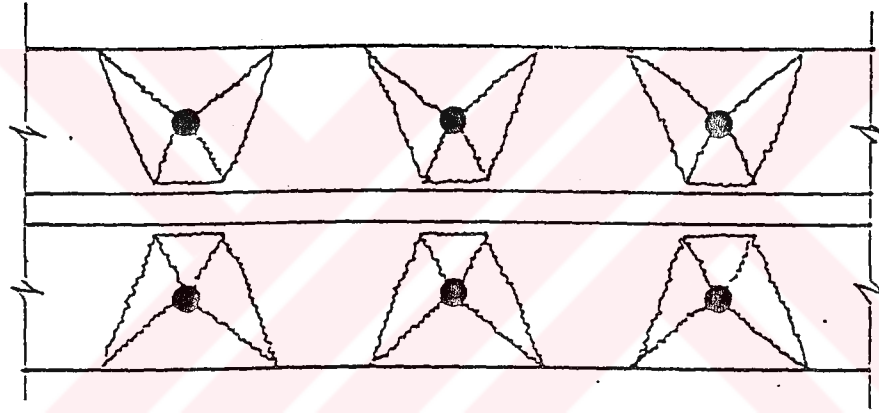
6.3.3 Nervürle rijitlenmiş kolon başlığı

Nervürsüz bir kolon başlığının çekme bölgesi, çekme bölgesindeki bulonların toplam efektif uzunluklarına eşit uzunlukta T-uç bölgelerinin toplamı olarak alınır. Her bir bulon dizisinin efektif uzunluğu l_{eff} aşağıdaki değerlerden en küçüğü olarak alınmalıdır:

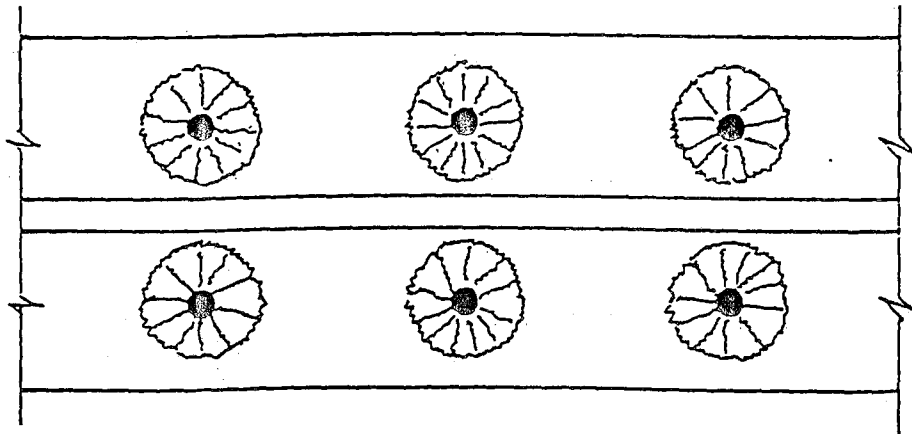
Nervüre bitişik bulonlarda:



(a) Bulon grubu

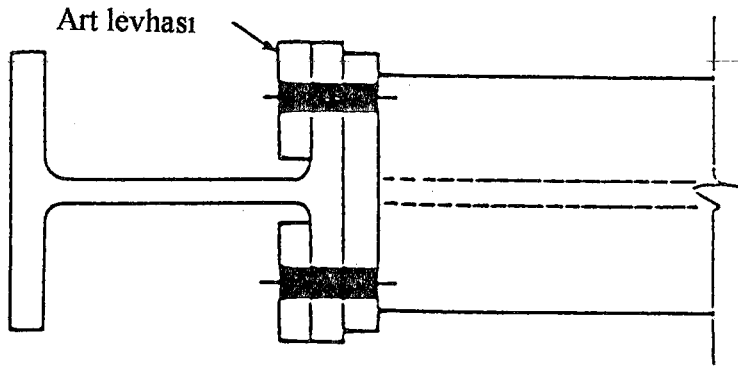
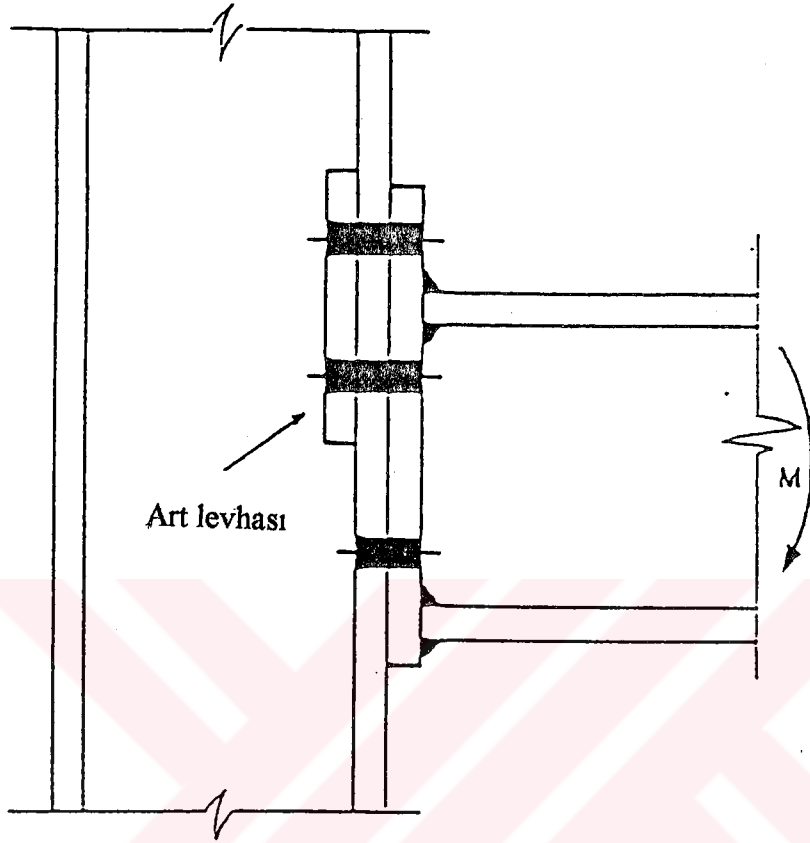


(b) Ayrı ayrı bulonlar



(c) Bulonlar etrafında halkalar

Şekil 6.4 Nervürlü kolon başlığında akma çizgileri (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)



Şekil 6.5 Çekme bölgesinde art-levhasıyla takviye edilmiş kolon başlığı (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

$$l_{eff,a} = \alpha m \quad (6.16)$$

$$l_{eff,a} = 2\pi m \quad (6.17)$$

a) İç sıradaki bulonlarda:

$$l_{eff,b} = p \quad (6.18)$$

$$l_{eff,b} = 4m + 1.25e \quad (6.19)$$

$$l_{eff,b} = 2\pi m \quad (6.20)$$

b) En dıştaki bulonlarda:

$$l_{eff,c} = 0.5p + 2m + 0.625e \quad (6.21)$$

$$l_{eff,c} = 4m + 1.25e \quad (6.22)$$

$$l_{eff,c} = 2\pi m \quad (6.23)$$

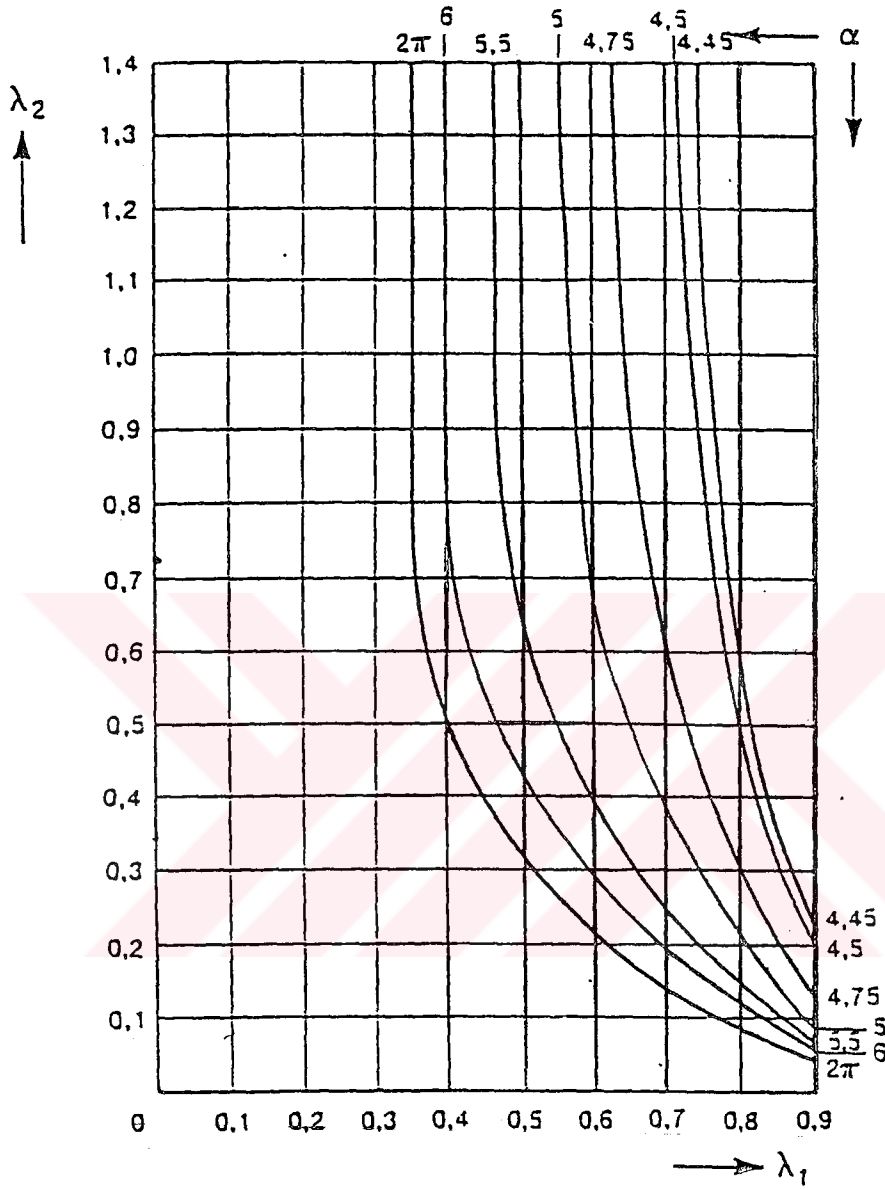
Buradaki α Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Kolonda mevcut aksenal kuvvet ve eğilme momentinden dolayı kolon başlığında oluşan normal gerilme, $\sigma_{n,Ed}$, çekme bölgesinde 180 N/mm^2 'yi aşarsa, azaltma faktörü olan k_r 'yi azaltmak gerekir. Nervürün her iki yanındaki bulon sıraları, ayrı ayrı örtüşen eşdeğer T-uç bölgelerine haizdir (Şekil 6.6). Göçme modu ve maksimum potansiyel tasarım dayanımı her bir grup için ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Bu amaçla her eşdeğer T-uç bölgesi, diğer benzer uç bölgesiyle özdeş kabul edilmelidir. Kolon başlığı veya kiriş uç levhasında e 'nin minimum değeri n 'yi; gerçek e değeri ise l_{eff} 'i tanımlamak için kullanılmalıdır.

6.3.4 Alın levhası

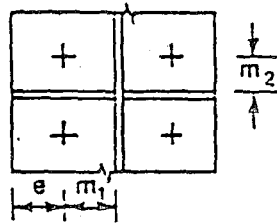
Kiriş ucundaki alın levhasına ait çekme bölgesinin, çekme bölgesindeki bulonlarının toplam efektif uzunluğuna eşit toplam uzunlukta bir dizi eşdeğer T-uç bölgesi olarak çalıştığı kabul edilir (Şekil 6.7). Her bir bulon sırasının efektif uzunluğu aşağıda verilen değerlerin en küçüğü olarak alınmalıdır:

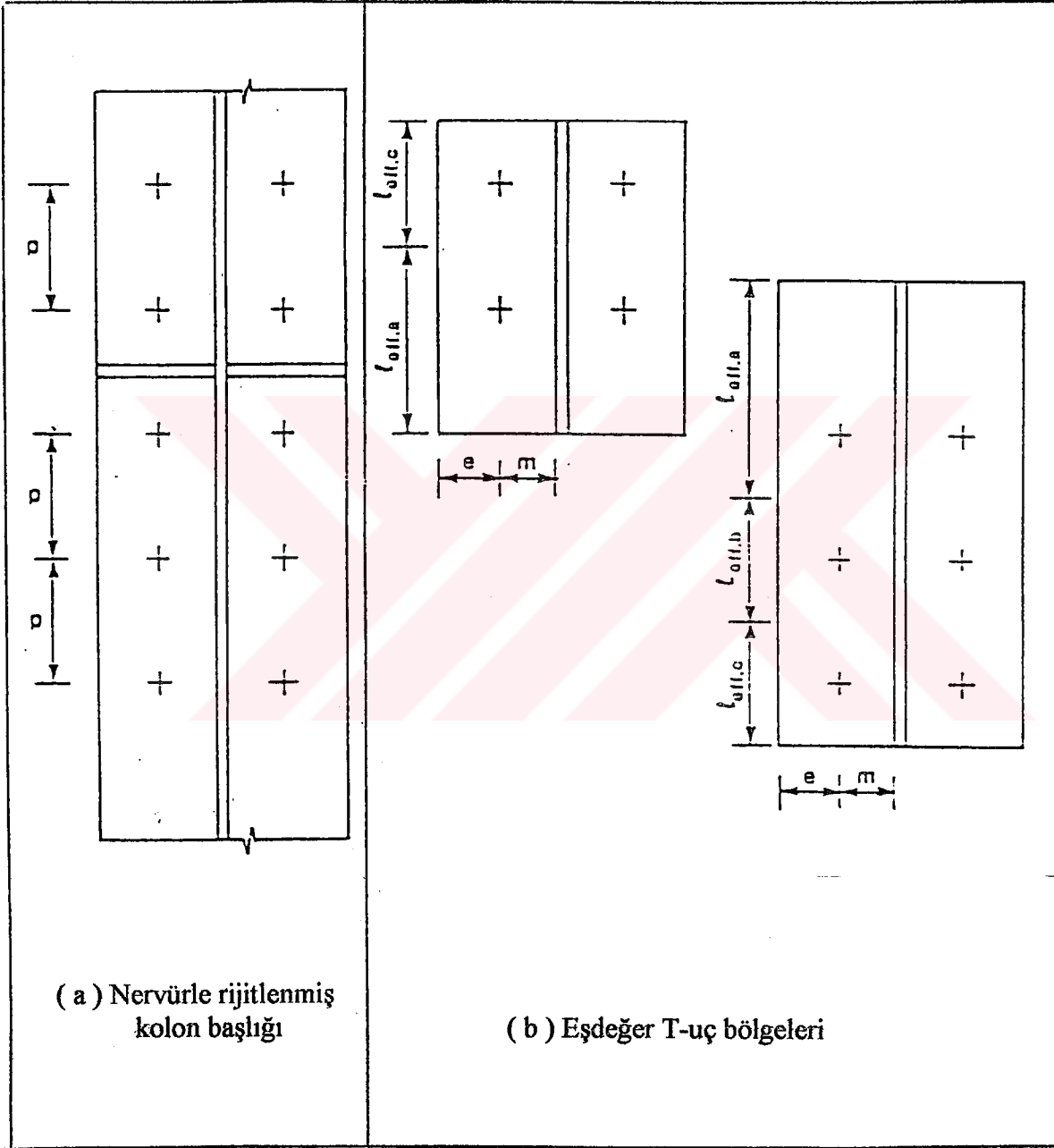
Çizelge 6.3 Nervürle rijitlenmiş kolon başlıklarında α değerleri (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)



$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e}$$





Şekil 6.6 Nervürlü kolon başlığında eşdeğer T-uç bölgelerinin efektif uzunlukları (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

a) *Kirişin çekme başlığı dışındaki bulonlarda:*

$$l_{\text{eff},a} = 0.5 b_p \quad (6.24)$$

$$l_{\text{eff},a} = 0.5w + 2m_x + 0.625e_x \quad (6.25)$$

$$l_{\text{eff},a} = 2\pi m_x \quad (6.26)$$

b) *Kirişin çekme başlığı altındaki, ilk sıradaki bulonlarda:*

$$l_{\text{eff},b} = \alpha m \quad (6.27)$$

$$l_{\text{eff},b} = 2\pi m \quad (6.28)$$

c) *Diğer iç bulonlarda:*

$$l_{\text{eff},c} = p \quad (6.29)$$

$$l_{\text{eff},c} = 4m + 1.25e \quad (6.30)$$

$$l_{\text{eff},c} = 2\pi m \quad (6.31)$$

d) *Diğer uç bulonlarda:*

$$l_{\text{eff},d} = 0.5p + 2m + 0.625e \quad (6.32)$$

$$l_{\text{eff},d} = 4m + 1.25e \quad (6.33)$$

$$l_{\text{eff},d} = 2\pi m \quad (6.34)$$

Buradaki α katsayısı Çizelge 6.3'den alınabilir.

Nervürün iki yanındaki, alın levhasına bağlanan bulon sırası grupları birbirinden ayrı fakat üst üste toplanan eşdeğer T-uç bölgeleri gibi davranır. Kiriş dışına taşan alın levhalarında, kirişin çekme başlığının altındaki ve üstündeki bulon sırası grupları da birbirinden ayrı fakat üst üste toplanan eşdeğer T-uç bölgeleri gibi davranır. Göçme modu ve maksimum tasarım dayanımı her bir bulon sırası grubu için ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Bu amaçla her eşdeğer T-uç bölgesi

başka benzer T-uç bölgesi ile özdeş kabul edilir. Alın levhası veya kolon başlığının minimum e mesafesi n 'yi tanımlamak için kullanılır, alın levhasındaki e 'nin gerçek değeri ise l_{eff} 'i belirlemekte kullanılır. Kiriş başlığı ve alın levhası arasındaki kaynak dikişlerinin, yeterli deformasyon kapasitesine sahip olabilmesi için, aşağıda sunulan moment değerlerinden en küçüğünü güvenle aktarabilecek tarzda tasarlanmaları gerekmektedir;

- Kirişin tasarım plastik moment dayanımı $M_{pl,Rd}$
- Birleşimin tasarım plastik moment dayanımının γ katı

Burada γ kuşaklı çerçevede 1.4 ve kuşaksız çerçevede 1.7 dir.

6.3.5 Nervürle rijitlenmemiş kolon gövdesi

Yanal çekme kuvvetine maruz kalmış, nervürsüz bir kolon gövdesinin tasarım dayanımı, daha önceden de verildiği gibi şöyle hesaplanacaktır:

$$F_{t,Rd} = f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff} / \gamma_{MO}$$

Bulonlu bir birleşimde, çekmeye maruz kolon gövdesinin efektif genişliği, birleşimin çekme bölgesindeki bulonların toplam efektif uzunluğuna eşit olmalıdır. Berkitilmemiş bir kolon gövdesi ilave bir gövde levhası ile takviye edilebilir.

6.3.6 Nervürlü kolon gövdesi

Yanal çekme kuvvetine maruz kalmış, berkitilmiş bir kolon gövdesinin tasarım dayanımı, en az kiriş başlığının tasarım dayanımına eşit olmalıdır. Nervürler daha önceki kısımlarda sunulan koşulları sağlamalıdır.

6.3.7 Bulonların efektif dayanımları

Kolon başlığının dayanımı genellikle, alın levhasına eşit değildir. Çekme bölgesinde bulonların dayanımı hesaplanırken, bulon sıralarında, kolon başlığı ve alın levhasına gelen yükler arasında dengenin olduğu bir kuvvet dağılımını bulmak gerekir[]. Bu amaçla EC3'de kullanılması önerilen metod aşağıda sunulmuştur:

- 1) Kolon başlığının tasarım dayanımı en düşük bulon sırasını da içerecek şekilde yeniden hesaplanmalıdır. Nervürle rijitlenmiş kolon başlığında, ilgili bulon sıralarının her biri için yeniden ayrı ayrı potansiyel dayanım hesabı yapılmalıdır.

- 2) En düşük bulon sırasını içerecek şekilde, kiriş ucundaki alın levhasında bulunan bulon sıralarının her biri için potansiyel tasarım dayanımı yeniden hesaplanmalıdır.
- 3) Birinci ve ikinci adımlarda en düşük bulon sıralarının da dikkate alınmasıyla, bu bulon sıralarının başlığın ve alın levhasının toplam potansiyel dayanımında sebep olduğu azalma hesaplara katılmış olur.
- 4) Her bir bulon sırası için, kolon başlığı ve alın levhasının potansiyel dayanımları arasındaki fark belirlenmelidir.
- 5) En yüksek bulon sırasından başlayarak, üçüncü adımda bulunan dayanım değerleri, dördüncü adımda bulunan farkları minimize edecek tarzda yeniden dağıtılmalıdır. (Yalnızca aynı gruptan bulon sıraları arasında dayanım yeniden dağıtılmalıdır. Herhangi bir bulon sırasının dayanımı $4m + 1.25$ ve $2\pi m$ efektif uzunluklarından küçük olanı ile sınırlandırılmıştır.)
- 6) Beşinci adımda bulunan değerler, kolon başlığı ve alın levhası tasarım dayanımları arasında denge sağlanacak tarzda azaltılmalıdır.
- 7) Önceki adımda bulunan dayanım değerleri her bir bulon sırasının efektif tasarım dayanımlarıdır.

6.4 Basınç Bölgesinin Dayanımı

6.4.1 Nervürsüz kolon gövdesi

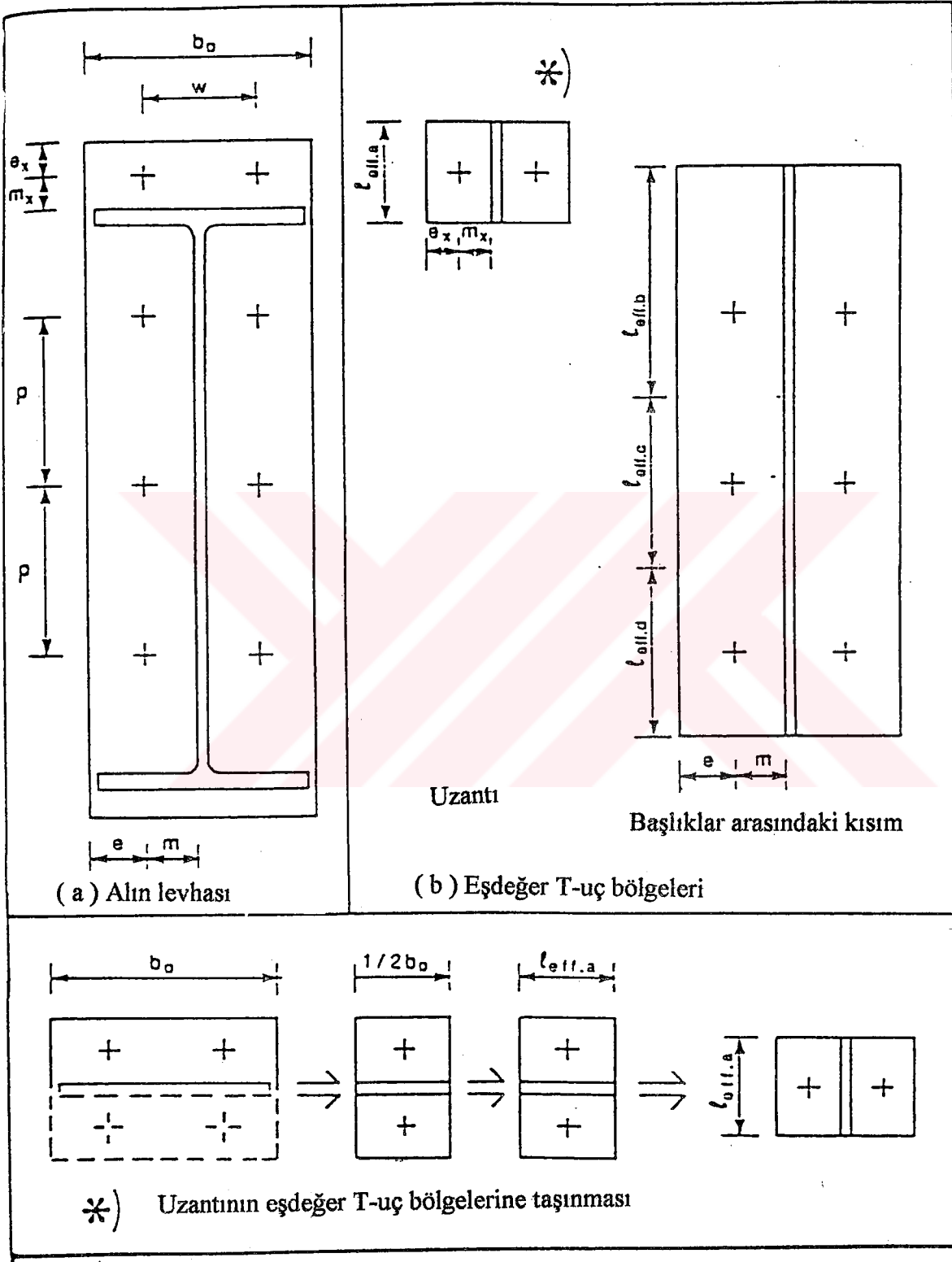
Yanal basınç kuvvetine maruz nervürsüz bir kolon gövdesinin tasarım buruşma dayanımı daha önce de bahsedildiği gibi şu tarzda hesaplanacaktır:

$$F_{C,Rd} = f_{yc} \times t_{wc} [1.25 - 0.5\gamma_{MO} \sigma_{n,Ed} / f_{yc}] \times b_{eff} / \gamma_{MO}$$

$$F_{C,Rd} \leq f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff} / \gamma_{MO}$$

Burada $\sigma_{n,Ed}$ eksenel kuvvet ve eğilme tesiriyle kolon gövdesinde oluşan maksimum basınç normal gerilmesidir.

Bulonlu bir birleşimde, basınca maruz kolon gövdesinin efektif genişliği önceki bölümde de verildiği gibi şöyle hesaplanır:



Şekil 6.7 Alın levhasında eşdeğer T-uç bölgelerinin efektif uzunlukları (Annex J of Eurocode 3, 1993-1-1:1992)

- Hadde ürünü I yada H kesitli kolonda:

$$b_{\text{eff}} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 2t_p + 5(t_{fc} + r_c)$$

- Kaynaklı yapma I yada H kesitli kolonda:

$$t_{\text{eff}} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 2t_p + 5(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$$

Kolon modunda burkulmaya karşı, kolon gövdesinin dayanımına ek olarak EC3'te ilgili bölümlerde önerilen ve önceki bölümde özetlenen hesap metodları uygulanmalıdır. Nervürlü kolon gövdesi ilave gövde levhaları ile takviye edilebilir.

6.4.2 Nervürlü kolon gövdesi

Yanal basınç kuvvetine maruz kalmış nervürlü bir kolon gövdesinin tasarım dayanımı, en azından kiriş başlığının tasarım dayanımına eşit olmalıdır. Nervürler ise önceki bölümde verilen koşulları sağlamalıdır.

6.5 Kayma Bölgesinin Dayanımı

Kayma kuvvetinin etkisinde kolon gövde panelinin plastik kayma dayanımı hesabı, kaynaklı birleşimde hesaplandığı gibi hesaplanacaktır. Önceki bölümde irdelenen hesabı hatırlayacak olursak:

$$V_{\text{pl,Rd}} = \frac{(f_y A_v / \sqrt{3})}{\gamma_{MO}}$$

İfadesi ile belirlenir. Burada A_v kayma alanıdır.

6.6 Moment taşıma gücü

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı, en zayıf bölgenin dayanımından büyükse 6.1.1'e göre bu değerde bir azaltma yapılır (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995) ve birleşimin moment taşıma kapasitesi aşağıdaki şekilde olur:

$$M_{\text{Rd}} = \sum_{i=1}^n (F_{t,Rd} \times h_i) \quad (6.35)$$

Burada $F_{i,Rd}$, bir bulonsirasının efektif dayanımı; h_i , aynı bulon sırasının basınç bölgesinin ağırlık merkezine olan uzaklığı ve n çekme bölgesinde düzeltme yapılmış olan bulon sıra sayısıdır.

6.7 Dönme Rijitliği

Bulonlu bir kiriş-kolon birleşiminin dönme rijitliği şöyledir:

$$S_j = \frac{Eh_1^2 t_{wc}}{\sum \left[\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right]^2 \frac{\mu_i}{k_i}} \quad (6.36)$$

(6.36)'daki :

S_j : Birleşimde mevcut M momentine bağlı olan sekant rijitliği ($M \leq M_{Rd}$)

M_{Rd} : Birleşimin tasarım moment dayanımı

h_1 : Kirişin çekme başlığı altındaki birinci bulon sırası ile basınç bölgesinin dayanım merkezi arasındaki mesafe

μ_i : Modifikasyon faktörü

k_i : i elemanındaki rijitlik faktörü

F_i : i elemanında M momentinden dolayı oluşan kuvvet

$F_{i,Rd}$: i elemanındaki tasarım dayanımı

Nervürlü bir birleşimde rijitlik faktörü k_i aşağıdaki şekilde alınmalıdır:

Kolon gövdesi, kayma bölgesi $k_1 = 0.24$

Kolon gövdesi, çekme bölgesi $k_2 = 0.8$

Kolon gövdesi, basınç bölgesi $k_3 = 0.8$

Kolon başlığı, çekme bölgesi $k_4 = \frac{t_{fc}^3}{4m^2 t_{wc}}$

Bulonlar, çekme bölgesi $k_5 = \frac{2A_s}{l_b t_{wc}}$

Alın levhası, çekme bölgesi $k_6 = \frac{t_s^3}{12\lambda_2 m^2 t_{wc}}$

Fakat $k_6 \geq \frac{t_s}{4m^2 t_{wc}}$

ℓ_b : bulonun genişleme boyu, toplam kenetlenme boyu olarak da alınabilir, bu boya bulon başlık yüksekliğinin yarısı ve somun yüksekliği de dahildir.

λ_2 Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Kolon çekme bölgesinde rijitlenmişse:

$$k_4 = \frac{t_f^3}{12\lambda_2 m^2 t_{tw}} \text{ fakat } k_4 \geq \frac{t_{fc}^3}{4m^2 t_{wc}}$$

Başka rijitlenmiş elemanlarda, bağıl rijitlik faktörü sonsuz alınabilir. $i = 1,2$ veya 3 için modifikasyon faktörü $\mu_i, 1$ alınır. $i = 4, 5$ veya 6 için modifikasyon faktörü μ_i şöyle bulunur;

$$\mu_i = \frac{h_1 F_{1,Rd}}{M_{Rd}}$$

burada $F_{1,Rd}$, kirişin çekme başlığı altındaki ilk bulon sırasındaki kuvvettir ve M_{Rd} dikkate alınarak belirlenir. Alın levhali birleşimde, kiriş başlıkları dışındaki levha uzantıları dikkate alınarak belirlenen dönme rijitliği S_{je} hesaplanmalıdır. S_j ve S_{je} 'den büyük olanı birleşimin dönme rijitliği olarak alınmalıdır. S_{je} hesaplanırken h_1 mesafesi, alın levhası uzantılarındaki bulon sırası ile basınç bölgesi dayanım merkezi arasındaki mesafedir. $F_{1,Rd}$ de M_{Rd} dikkate alınarak belirlenen bulon sırasının taşıdığı kuvvettir. Rijitlik faktörü k_6 şöyle alınmalıdır;

$$k_6 = \frac{t_e^3}{4m_x^2 t_{wc}}$$

buradaki m_x Şekil 6.7'de verilmiştir.

Bulonlu alın levhali bir birleşim; kolonda hem çekme, hem basınç bölgesinde gövde nervürleri mevcutsa rijit kabul edilebilir.

6.7 Dönme Kapasitesi

Bulonlu bir kiriş-kolon birleşiminde moment dayanımı, kayma bölgesi dayanımına bağlıysa;

birleşim, plastik analizde yeterli dönme kapasitesine sahip kabul edilebilir. Moment dayanımı, çekme bölgesi dayanımına bağlı olarak belirlenmiş bulonlu bir kiriş-kolon birleşiminde, kolon başlığının veya kiriş uç levhasının çekme bölgesinde yeterli deformasyon kapasitesi mevcutsa, birleşimin plastik analiz için yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu farz edilir, ancak bu kabulün yapılabilmesi için her bir bulon sırası için, en az bir birleşenin (kolon başlığı veya alın levhası) dayanımı, mod 1 göçmesine bağlı olmalıdır. Ayrıca her bir bulon sırası için daha küçük β değerini haiz birleşen aşağıdaki şartı da sağlamalıdır:

$$\beta \leq \frac{2\lambda}{1+2\lambda} \quad (6.37)$$

Mod 2 göçmesi gerçekleşiyorsa, bu durumda β şu koşulu sağlıyor demektir:

$$\frac{2\lambda}{1+2\lambda} < \beta < 2 \quad (6.38)$$

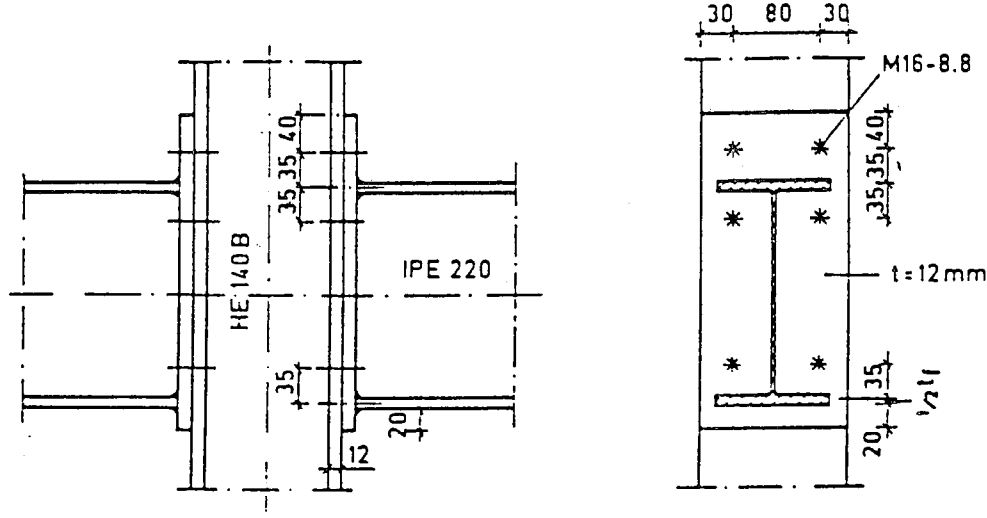
Dönme kapasitesi ϕ_{Cd} şöyle elde edilebilir:

$$\phi_{Cd} = \frac{10.6 - 4\beta_{Cr}}{1.3h_1} \quad (6.39)$$

Burada h_1 (mm) kirişin çekme başlığı üzerindeki ilk bulon sırasından, basınç bölgesi dayanım merkezine kadar olan uzaklıktır ve β_{Cr} daha küçük $\frac{F_{t,Rd}}{\sum B_{t,Rd}}$ değerine sahip bileşenin β değeridir.

Bu kısımda verilen eşitlikler, kiriş dışına taşan kısımların yeterli deformasyon kapasitesine sahip olması durumunda alın levhalı birleşimler için de geçerlidir. Eğer levha uzantılarında mod 1 göçmesi sağlanırsa bu yeterli görülebilir. Alın levhalı bir birleşimde (6.39)'da verilen h_1 mesafesi, levha uzantısındaki bulon sırası ile basınç bölgesi dayanım merkezi arasındaki mesafedir, fakat levha uzantısı β_{Cr} hesabında dikkate alınmaz. Birleşim tam dayanımlı olarak sınıflandırılmadığı sürece β 'nin küçük değeri $1,8$ 'i aşmamalıdır.

7. SAYISAL UYGULAMA



Şekil 7.1 Nervürsüz, bulonlu kiriş-kolon birleşimi (ECCS-Technical Committee 8,1992)

HE140B 'de $t_w = 7\text{mm}$, $t_f = 12\text{mm}$, $r_k = 12\text{mm}$ ' dir.

IPE220' de $t_w = 5,9\text{mm}$, $t_f = 9,2\text{mm}$, $r_k = 12\text{mm}$ ' dir.

7.1 Moment Taşıma Gücü Hesabı

7.1.1 Çekme bölgesindeki kolon başlığında potansiyel taşıma gücü hesabı

Burada çekme bölgesinde iki sıra bulon olduğundan yalnız dış sıradaki bulonların efektif boyları hesaplanıp en küçüğü seçilmelidir. Dış sıradaki bulonların efektif boyunu veren eşitlikler ise şöyle idi:

$$l_{eff,b} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff,b} = 4m + 1,25e$$

$$l_{eff,b} = 2\pi m$$

Bu eşitliklerdeki p , m ve e değerleri ise Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'den;

$$P = 70\text{ mm}$$

$$m = \frac{80}{2} - \frac{7}{2} - \frac{4}{5} \times 12 = 26,9\text{mm}$$

$$e = 30 \text{ mm}$$

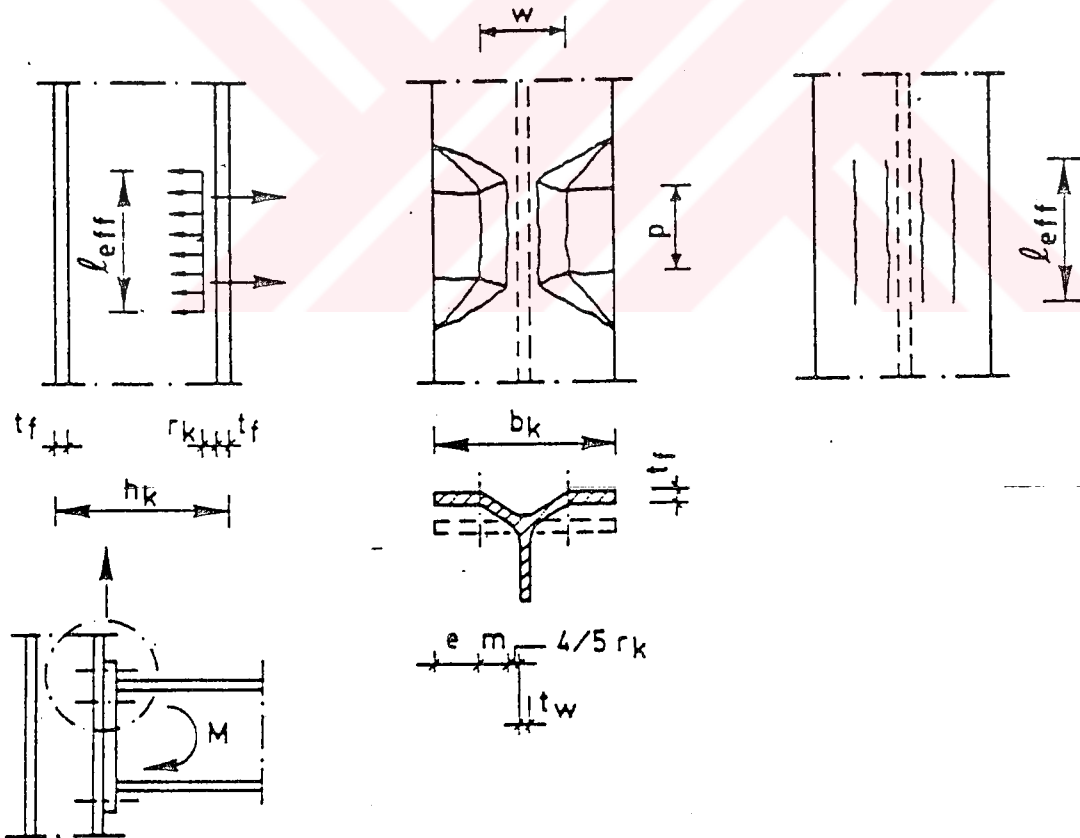
$$l_{eff,b} = 0,5 \times 70 + 2 \times 26,9 + 0,625 \times 30 = 107,6 \text{ mm}$$

$$l_{eff,b} = 4 \times 26,9 + 1,25 \times 30 = 145,1 \text{ mm}$$

$$l_{eff,b} = 2\pi \times 26,9 = 169 \text{ mm}$$

Hesapladığımız l_{eff} değerleri bir bulon sırası içindir, oysa çekme bölgesinde iki bulon sırası var ; o halde toplam efektif uzunluğu bulabilmek için yukarıda hesapladığımız minimum efektif uzunluğu iki ile çarpmalıyız:

$$l_{eff,b} = 2 \times 107,6 = 215,2 \text{ mm}$$



Şekil 7.2 Nervürlü kolon başlığında çekme bölgesi (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

Kolon başlığında olası üç göçme modu vardır. Bunları hatırlayacak olursak;

Mod 1: Başlığın tamamen akması,

Mod 2: Bulonlar ve başlığın birlikte akması,

Mod 3: Bulonların akması.

Kolon başlığının kapasitesi ise, olası üç göçme modu esas alınarak hesaplanan dayanım değerlerinden en küçüğü olacaktır.

$$F_{t,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd}}{m} \quad (\text{Göçme modu 1})$$

$$F_{t,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad (\text{Göçme modu 2})$$

$$F_{t,Rd} = \sum B_{t,Rd} \quad (\text{Göçme modu 3})$$

$B_{t,Rd}$ için Çizelge 6.1'den faydalanılırsa, M16-8.8 için $A_s = 157 \text{ mm}^2$ ve $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ olduğuna göre;

$$B_{t,Rd} = \frac{0,9 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 \times 157 \times 800}{1,25} = 90432 \text{ N olacaktır.}$$

Kolon başlığının plastik moment kapasitesi ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$M_{pl,Rd} = \frac{0,25 \times \ell_{eff} \times t_f^2 \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \times 215,2 \times 12^2 \times 235}{1,1} = 1655 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

Kolonda mevcut aksenal kuvvet ve eğilme momentinden dolayı kolon başlığında oluşan normal gerilme $\sigma_{n,Ed}$ 180 N/mm^2 'yi aşmadığından, kolon başlığı moment taşıma gücünü çarpmak suretiyle küçülteceğimiz azaltma katsayısı $k_r = 1$ alınabilir.

Her bir göçme modu için kolon başlığının çekme dayanımı ayrı ayrı hesaplırsak:

$$\text{Göçme modu 1: } F_{t,Rd} = \frac{4 \times 1655 \times 10^3}{26,9} = 246 \times 10^3 \text{ N} = 246 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 2 : } F_{t,Rd} = \frac{2 \times 1655 \times 10^3 + 4 \times 90432 \times 30}{26,9 + 30} = 249 \times 10^3 \text{ N} = 249 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 3 : } F_{t,Rd} = 4 \times 90432 = 362 \times 10^3 \text{ N} = 362 \text{ kN}$$

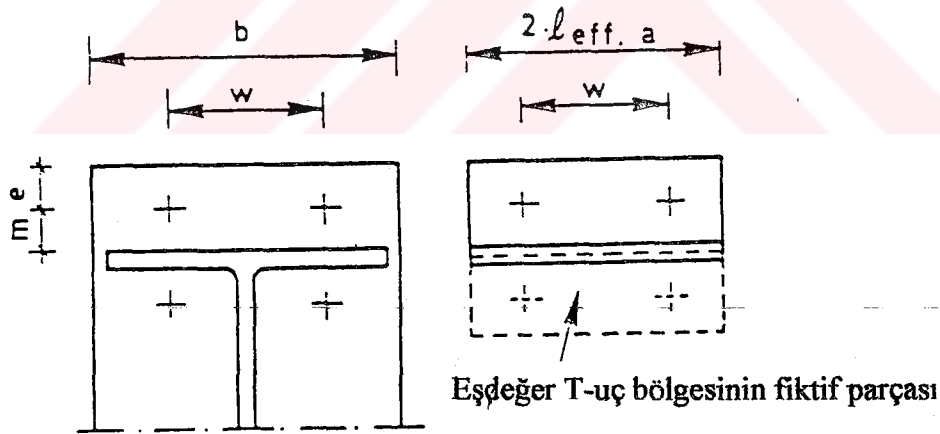
Elde ettiğimiz bu üç değerden en küçüğü , çekme bölgesindeki kolon başlığının potansiyel çekme dayanımı olacaktır:

$$F_{t,Rd} = 246 \text{ kN}$$

7.1.2 Çekme bölgesinde kiriş ucundaki alın levhasının potansiyel taşıma gücü hesabı

Çekme bölgesindeki alın levhasının bir seri eşdeğer T-uç bölgelerinden oluştuğu düşünülür. Alın levhası yüksekliğinin, kiriş yüksekliğinden fazla olduğu birleşimlerde, kirişin çekme başlığının altındaki ve üstündeki bulon sıralarının ayrı ayrı T-uç bölgeleri oluşturduğu düşünülür.

7.1.2.1 Alın levhasının kiriş başlığı üzerinde devam eden kısmının taşıma gücü



Şekil 7.3 Alın levhasının kiriş başlığı üzerinde devam eden kısmını sembolize eden eşdeğer T-uç bölgesi (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

Bir bulon sırasının efektif uzunluğunu hatırlayacak olursak, aşağıda verilen denklemlerden elde edilen değerlerden en küçüğü olmalıdır:

$$l_{eff, a} = 0,5b$$

$$l_{eff,a} = 0,5w + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff,a} = 4m + 1,25e$$

$$l_{eff,a} = 2\pi m$$

Birleşim geometrisinden; $w = 80$ mm olacaktır. Burada m mesafesi belirlenirken, giriş başlığını alın levhasına bağlayan köşe kaynak dikişlerinin kalınlığı (5 mm) dikkate alınmalıdır:

$$m = \frac{70}{2} - 0,8 \times 5\sqrt{2} - \frac{9,2}{2} = 24,7mm$$

T-uç bölgesi biri fiktif olmak üzere iki bulon sırası içermektedir. Bu bulon sıralarından birisi için efektif uzunluk aşağıdakilerden en küçüğü olacaktır;

$$l_{eff,a} = 0,5 \times 140 = 70mm$$

$$l_{eff,a} = 0,5 \times 80 + 2 \times 24,7 + 0,625 \times 40 = 114,4mm$$

$$l_{eff,a} = 4 \times 24,7 + 1,25 \times 40 = 148,8mm$$

$$l_{eff,a} = 2\pi \times 24,7 = 155,2mm$$

T-uç bölgesindeki efektif uzunluk;

$$l_{eff} = 2 \times 70 = 140 \text{ mm olacaktır.}$$

Efektif uzunluk belirledikten sonra, olası göçme modlarını dikkate alarak, taşıma gücü hesabına geçebiliriz. Gerekli olan n değeri e 'nin minimum değerine eşit olacaktır, ancak $1,25m$ 'den büyük olamaz. O halde $e = 40$ mm ve $1,25m = 1,25 \times 24,7 = 30,9$ mm olduğuna göre $n = 30,9$ mm alınacaktır.

Alın levhasının plastik moment kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_{pl,Rd} = \frac{0,25 \times 140 \times 12^2 \times 235}{1,1} = 1074 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

Göçme modlarına göre taşıma gücü hesabı yapılırken, T-uç bölgesinin yarısı fiktif olduğundan ve gerçekte mevcut olan kısım ile hesap yapmak zorunluluğu olduğundan, aşağıdaki eşitlikler $1/2$ ile çarpılmıştır.

$$\text{Göçme modu 1 : } F_{t,Rd} = \frac{4 \times 1074 \times 10^3}{24,7} \times \frac{1}{2} = 87 \times 10^3 \text{ N} = 87 \text{ kN}$$

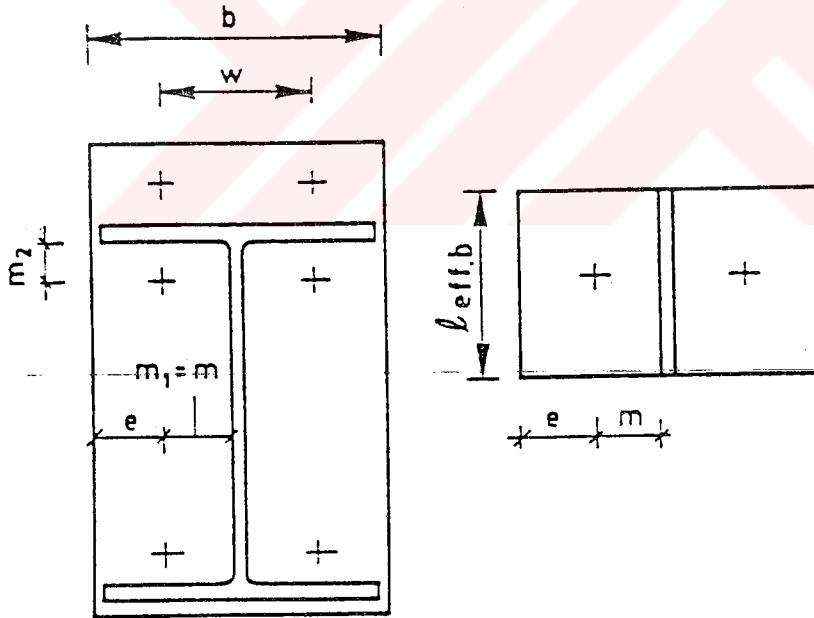
$$\text{Göçme modu 2 : } F_{t,Rd} = \frac{2 \times 1074 \times 10^3 + 4 \times 90432 \times 30,9}{24,7 + 30,9} \times \frac{1}{2} = 120 \times 10^3 \text{ N} = 120 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 3 : } F_{t,Rd} = 4 \times 90432 \times \frac{1}{2} = 181 \times 10^3 \text{ N} = 181 \text{ kN}$$

Bu durumda alın levhasının kiriş başlığı üzerinde devam eden kısmının taşıma gücü şöyledir:

$$F_{t,Rd} = 87 \text{ kN}$$

7.1.2.2 Alın levhasının kiriş başlıkları arasında kalan kısmının taşıma gücü



Şekil 7.4 Alın levhasının kiriş başlıkları arasında kalan kısmının eşdeğer T-uç bölgesi (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

Kiriş başlığının hemen altındaki bulon sırası için efektif uzunluk aşağıdakilerden en küçüğü olacaktır;

$$l_{eff,b} = \alpha m_e$$

$$l_{eff,b} = 2m_e$$

Birleşimde kiriş başlığı ve alın levhası arasındaki köşe kaynak dikişlerinin kalınlığı, $a_{kf} = 5$ mm ; kiriş gövdesi ve alın levhası arasındaki köşe kaynak dikişlerinin kalınlığı, $a_{kl} = 3$ mm'dir.

$$m_1 = m_e = \frac{80}{2} - 0,8 \times 3\sqrt{2} - \frac{5,9}{2} = 33,7 \text{ mm}$$

$$e_e = (140 - 80) \times \frac{1}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$m_2 = \frac{70}{2} - 0,5 \times 9,2 - 0,8 \times 5\sqrt{2} = 24,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{33,7}{33,7 + 30} = 0,53 \quad \lambda_2 = \frac{24,7}{33,7 + 30} = 0,39$$

Çizelge 6.3'den , $\alpha = 5,75$.

Buradan $l_{eff} = \alpha \times m_1 = 5,75 \times 33,7 = 194 \text{ mm}$ olacaktır.

n , e_e değerine eşit olacaktır ve $1,25m_e$ 'den büyük olamaz; dolayısıyla $n = 30 \text{ mm}$ olacaktır.

Bu bölge için alın levhasının plastik moment kapasitesi yeniden hesaplanırsa:

$$M_{pl,Rd} = \frac{0,25 \times 194 \times 12^2 \times 235}{I,1} = 1491 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

Göçme modları dikkate alınarak taşıma gücü hesabı aşağıdaki gibi yapılır:

$$\text{Göçme modu 1 : } F_{t,Rd} = \frac{4 \times 1491 \times 10^3}{33,7} = 177 \times 10^3 \text{ N} = 177 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 2 : } F_{t,Rd} = \frac{2 \times 1491 \times 10^3 + 2 \times 90432 \times 30}{33,7 + 30} = 132 \times 10^3 \text{ N} = 132 \text{ kN}$$

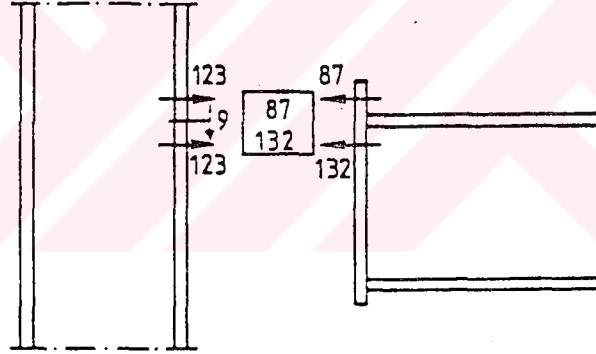
$$\text{Göçme modu 3 : } F_{t,Rd} = 2 \times 90432 = 181 \times 10^3 \text{ N} = 181 \text{ kN}$$

Bu durumda alın levhasının kiriş başlıkları arasında kalan kısmının taşıma gücü şöyledir:

$$F_{t,Rd} = 132 \text{ kN}$$

7.1.3 Çekme bölgesindeki bulonların efektif dayanımları

Genellikle çekme bölgesinde kolon başlığının taşıma gücü, alın levhasının taşıma gücüne eşit değildir. Bu sebeple çekme bölgesinde bulonların dayanımı hesaplanırken, bulon sıralarında, kolon başlığı ve alın levhasına gelen yükler arasında dengenin oluşturduğu bir kuvvet dağılımını bulmak gerekir (Yorgun, Yardımcı ve Arda, 1995); bu amaçla 6.3.7’de verilen metod uygulanmalıdır. Şekil 7.5’de kolonda ve alın levhasında oluşan bulon sırası kuvvetleri görülmektedir. Şekilde, kutu içindeki gösterilen kuvvetler, efektif kuvvetlerdir. 9 kN’un aktarılmasıyla, kolondaki bulon sırası kuvvetlerinin eşitliği bozulur. Böyle bir eşitsizlik, ancak; bulon sırası kuvvetlerinin toplamının, tüm bulon gruplarının taşıma gücünden büyük olmaması ve tek bir bulon sırası kuvvetinin, bulon sırası taşıma gücünden büyük olmaması durumunda ihmal edilebilir.



Şekil 7.5 Bulon sıralarının taşıma gücü (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

Tam dayanımlı birleşim haricinde, eğer herhangi bir bulon sırasının efektif dayanımı $1,8B_{t,Rd}$ 'yi aşarsa, bağlantının değiştirilerek, söz konusu bulon kuvvetlerinin $1,8B_{t,Rd}$ değerinin altına düşürülmesi gerekmektedir.

$$1,8B_{t,Rd} = 1,8 \times 90438 = 163 \times 10^3 \text{ N} = 163 \text{ kN}$$

Görüldüğü gibi bulon sırası kuvvetleri, bu değer altında kalmaktadır. O halde çekme bölgesindeki tüm bulon sıralarının toplam efektif dayanımı şöyle olacaktır:

$$F_{t,Rd} = 87 + 132 = 219 \text{ kN}$$

7.1.4 Çekme bölgesindeki kolon gövdesinin taşıma gücü

Nervürlü kolon gövdesinin taşıma gücünü veren eşitlik şöyledir:

$$F_{t,Rd} = \frac{f_y \times t_{wc} \times b_{eff}}{\gamma_{M0}}$$

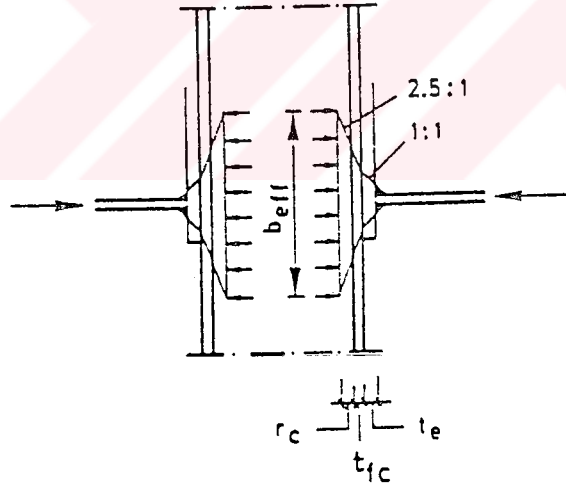
Kolon gövdesinin efektif uzunluğu olan b_{eff} , çekme bölgesindeki kolon başlığının eşdeğer T-uç bölgesinin uzunluğu olarak alınabilir.

$$b_{eff} = \ell_{eff} = 215,2mm$$

Çekme bölgesinin kolon gövdesindeki taşıma gücü şöyle olacaktır:

$$F_{t,Rd} = \frac{235 \times 7 \times 215,2}{1,1} = 321 \times 10^3 N = 321kN$$

7.1.5 Basınç bölgesindeki kolon gövdesinin taşıma gücü



Şekil 7.6 Basınç bölgesindeki kolon başlığı (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

Basınç bölgesindeki, nervürlü kolon gövdesinin taşıma gücü önceki bölümde de değinildiği gibi şöyle hesaplanabilir:

$$F_{c,Rd} = \frac{f_{yc} \times t_{wc} \times \left(1,25 - 0,5 \frac{\sigma_{n,Ed}}{f_{yc}} \right) \times b_{eff}}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{c,Rd} \leq \frac{f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff}}{\gamma_{M0}}$$

Buradaki $\sigma_{n,Ed}$ eksenel kuvvet ve eğilme etkisiyle kolon gövdesinde oluşan maksimum basınç normal gerilmesidir. $\sigma_{n,Ed}$ 'nin sıfır olduğunu varsayalım.

Önceki bölümlerde değinildiği gibi b_{eff} şöyle hesaplanabilir:

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 2t_p + 5(t_{fc} + r_c)$$

Basınç bölgesindeki kolon gövdesinin taşıma gücü şöyledir:

$$F_{c,Rd} = \frac{235 \times 7 [9,2 + 2 \times 5\sqrt{2} + 2 \times 12 + 5(12 + 12)]}{1,1} = 250 \times 10^3 N = 250 kN$$

7.1.6 Kayma bölgesinde nervürlü kolon gövdesinin taşıma gücü

Taşıma gücü hesabı şu formülle yapılır:

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_{yc} \times (A_v / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Bu örnek için kayma alanını, $A_v = h_c \times t_{wc}$ alırsak; taşıma gücü şöyle olacaktır:

$$V_{pl,Rd} = \frac{253 \times 140 \times 7 / \sqrt{3}}{1,1} = 121 \times 10^3 N = 121 kN$$

7.1.7 En zayıf bölgenin taşıma gücü

Çekme bölgesindeki bulon sıralarının toplam efektif dayanımı, en zayıf bölgenin dayanımından daha büyükse; bulon sıralarının taşıma gücü, basınç merkezine en yakın bulon sırasından başlanarak, azaltılmalıdır. Ayrıca önceki bölümde değinildiği gibi ilave kontroller yapılması da gerekmektedir. Bu örnekte ilave kontroller ihmal edilmiştir.

Eğer birleşim simetrik yüklenirse, en zayıf bölgenin taşıma gücü, bulonların toplam efektif dayanımına eşit olacaktır:

$$F_{t,Rd} = 219 kN$$

Eğer birleşim asimetrik yüklenirse, en zayıf bölgenin taşıma gücü, nervürlü kolon gövdesinin kayma taşıma gücüne eşit olacaktır:

$$V_{pl,Rd} = 121 \text{ kN}$$

Asimetrik yüklü birleşim durumunda, kayma bölgesi en zayıf bölgedir ve bulon sıralarının toplam efektif dayanımı azaltılmalıdır. Çekme bölgesi en düşük bulon sırasında aşağıdaki azaltmanın yapılması suretiyle indirgenmelidir.

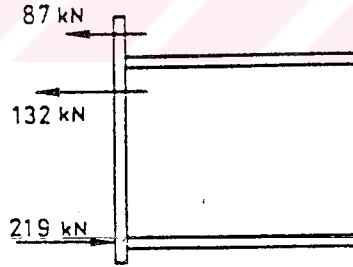
$$F_{t,Rd} = 121 - 87 = 34 \text{ kN (en düşük bulon sırası)}$$

7.1.8 Tasarım moment taşıma gücü

Tasarım moment taşıma gücünü veren eşitlik şöyledir:

$$M_{Rd} = \sum_{i=1}^n (F_{t,Rd} \times h_i)$$

Moment taşıma gücü birleşimin simetrik ve asimetrik yüklü halleri için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.



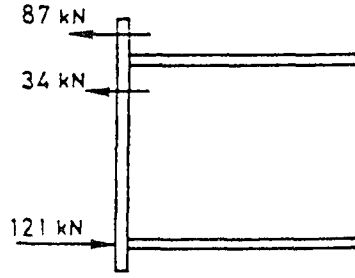
Şekil 7.7 Simetrik yüklü durum için birleşim kuvvetleri (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

Simetrik yüklü durumda moment taşıma gücü şöyledir:

$$M_{Rd} = 132 \times (220 - 9,2 - 35) + 87 \times (220 - 9,2 + 35) = 44600 \text{ kNmm} = 44,6 \text{ kNm}$$

Asimetrik yüklü durumda moment taşıma gücü şöyledir:

$$M_{Rd} = 34 \times (220 - 9,2 - 35) + 87 \times (220 - 9,2 + 35) = 27400 \text{ kNmm} = 27,4 \text{ kNm}$$



Şekil 7.8 Asimetrik yüklü durum için birleşim kuvvetleri (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

7.2 Birleşimin Dönme Rijitliği

Birleşimin dönme rijitliği hesabı 6.7’de irdelenmiştir. Dönme rijitliğini veren formül şöyledir:

$$S_j = \frac{E \times h_i^2 \times t_w \times c}{\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2}$$

7.2.1 Simetrik yüklü birleşimde dönme rijitliği

$$M_{Rd} = 44,6 \text{ kN}$$

Kayma bölgesi aktif değil.

Çekme bölgesinde kolon gövdesi

$$k_2 = 0,8 \quad \mu_2 = 1$$

$$\left(\frac{F_2}{F_{2,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{219}{321} \right)^2 = 0,465 \quad (M = M_{Rd})$$

$$\left(\frac{F_2}{F_{2,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{219}{1,2 \times 321} \right)^2 = 0,323 \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

fakat 0,444 alınmalıdır, çünkü F_i , $F_{i,Rd}/1,5$ ’den daha küçük olamaz.

$$\left(\frac{F_2}{F_{2,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{1,5 \times 321}\right)^2 = 0,207 \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

fakat 0,444 alınmalıdır.

Basınç bölgesinde kolon gövdesi

$$k_3 = 0,8 \quad \mu_3 = 1$$

$$\left(\frac{F_3}{F_{3,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{250}\right)^2 = 0,767 \quad (M = M_{Rd})$$

$$\left(\frac{F_3}{F_{3,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{1,2 \times 250}\right)^2 = 0,533 \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

$$\left(\frac{F_3}{F_{3,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{1,5 \times 250}\right)^2 = 0,341 \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

Çekme bölgesinde kolon başlığı

$$k_4 = \frac{t_{fc}^3}{4 \times m^2 \times t_{wc}} = \frac{12^3}{4 \times 26,9^2 \times 7} = 0,085$$

$$\mu_4 = \frac{h_1 \times F_{t1,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{(220 - 9,2 - 35)132 \times 10^3}{44,6 \times 10^6} = 0,520$$

$$\left(\frac{F_4}{F_{4,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{246}\right)^2 = 0,793 \quad (M = M_{Rd})$$

$$\left(\frac{F_4}{F_{4,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{1,2 \times 246}\right)^2 = 0,550 \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

$$\left(\frac{F_4}{F_{4,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{1,5 \times 246}\right)^2 = 0,352 \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

fakat 0,444 alınır.

Cekme bölgesinde bulonlar

$$k_5 = \frac{2 \times A_s}{l_b \times t_{wc}} = \frac{2 \times 157}{(2 \times 12 + 10) \times 7} = 1,32$$

$$\mu_5 = 0,520$$

$$\left(\frac{F_5}{F_{5,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{132}{2 \times 90,4} \right)^2 = 0,533 \quad (M = M_{Rd})$$

$$\left(\frac{F_5}{F_{5,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{132}{1,2 \times 2 \times 90,4} \right)^2 = 0,370 \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

fakat 0,444 alınmalıdır.

$$\left(\frac{F_5}{F_{5,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{132}{1,5 \times 2 \times 90,4} \right)^2 = 0,237 \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

fakat 0,444 alınmalıdır.

Cekme bölgesinde alın levhası

$$k_6 = \frac{t_e^3}{12 \times \lambda_2 \times m^2 \times t_{wc}} = \frac{12^3}{12 \times 0,39 \times 33,7^2 \times 7} = 0,0464$$

$$\text{fakat } k_6 > \frac{t_e^3}{4 \times m^2 \times t_{wc}} = \frac{12^3}{4 \times 33,7^2 \times 7} = 0,0543$$

$k_6 = 0,0543$ alınmalıdır.

$$\mu_6 = 0,520$$

$$\left(\frac{F_6}{F_{6,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{219}{219} \right)^2 = 1 \quad (M = M_{Rd})$$

$$\left(\frac{F_6}{F_{6,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{219}{1,2 \times 219} \right)^2 = 0,694 \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

$$\left(\frac{F_6}{F_{6,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{219}{1,5 \times 219}\right)^2 = 0,444 \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

$$E \times h_1^2 \times t_{wc} = 2,1 \times 10^5 \times (220 - 9,2 - 35)^2 \times 7 = 4,54 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$M = M_{Rd}$ için:

$$\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}}\right)^2 = \frac{0,465}{0,8} + \frac{0,767}{0,8} + \frac{0,520 \times 0,793}{0,085} + \frac{0,520 \times 0,533}{1,32} + \frac{0,520 \times 1,0}{0,0543} = 16,2$$

$M = M_{Rd} / 1,2$ için:

$$\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}}\right)^2 = \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,533}{0,8} + \frac{0,479 \times 0,550}{0,085} + \frac{0,479 \times 0,444}{1,32} + \frac{0,479 \times 0,694}{0,086} = 8,34$$

$M = M_{Rd} / 1,5$ için:

$$\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}}\right)^2 = \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,479 \times 0,444}{0,085} + \frac{0,479 \times 0,444}{1,32} + \frac{0,479 \times 0,444}{0,086} = 6,25$$

$$S_{je} = \frac{8,88 \times 10^{10}}{11,7} = 7,59 \times 10^9 \text{ Nmm / rad} \quad (M = M_{Rd})$$

$$S_{je} = \frac{8,88 \times 10^{10}}{8,34} = 10,65 \times 10^9 \text{ Nmm / rad} \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

$$S_{je} = \frac{8,88 \times 10^{10}}{6,25} = 14,22 \times 10^9 \text{ Nmm / rad} \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

Alın levhasının kiriş başlığı üzerinde kalan kısmı için hesaplanan rijitlik değerleri büyük olduğundan birleşimin dönme rijitliği olarak alınır.

7.2.2 Asimetrik yüklü birleşimde dönme rijitliği

$$M_{Rd} = 27,4 \text{ kN}$$

Kayma bölgesinde kolon gövdesi:

$$k_1 = 0,24 \quad \mu_1 = 1$$

$$\left(\frac{F_1}{F_{1,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{121}{121} \right)^2 = 1,00 \quad (M = M_{Rd})$$

$$\left(\frac{F_1}{F_{1,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{121}{1,2 \times 121} \right)^2 = 0,694 \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

$$\left(\frac{F_1}{F_{1,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{121}{1,5 \times 121} \right)^2 = 0,444 \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

$$\mu_2 = \mu_3 = 1,0$$

i = 2, 3, 4, 5 ve 6 için ve M'nin tüm katları için;

$$\left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2 = 0,444 \text{ alınmalıdır.}$$

Alın levhasının kiriş başlığı dışında kalan kısmı:

$$\mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \frac{h_e \times F_{te,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{(220 - 9,5 + 35)87 \times 10^3}{27,4 \times 10^6} = 0,787$$

$$E \times h_e^2 \times t_{wc} = 2,1 \times 10^5 \times 246^2 \times 7 = 8,88 \times 10^{10} \text{ N/mm}$$

M = M_{Rd} için:

$$\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2 = \frac{1,000}{0,24} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,781 \times 0,444}{0,085} + \frac{0,781 \times 0,444}{1,32} + \frac{0,781 \times 0,444}{0,086} = 13,6$$

M = M_{Rd} / 1,2 için:

$$\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2 = \frac{0,694}{0,24} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,781 \times 0,444}{0,085} + \frac{0,781 \times 0,444}{1,32} + \frac{0,781 \times 0,444}{0,086} = 12,4$$

M = M_{Rd} / 1,5 için:

$$\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2 = \frac{0,444}{0,24} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,444}{0,8} + \frac{0,781 \times 0,444}{0,085} + \frac{0,781 \times 0,444}{1,32} + \frac{0,781 \times 0,444}{0,086} = 11,3$$

$$S = \frac{8,88 \times 10^{10}}{13,6} = 6,51 \times 10^9 \text{ Nmm/rad} \quad (M = M_{Rd})$$

$$S = \frac{8,88 \times 10^{10}}{12,4} = 7,18 \times 10^9 \text{ Nmm/rad} \quad (M = M_{Rd} / 1,2)$$

$$S = \frac{8,88 \times 10^{10}}{11,3} = 7,84 \times 10^9 \text{ Nmm/rad} \quad (M = M_{Rd} / 1,5)$$

7.3 Birleşimin Dönme Kapasitesi

7.2.3 Simetrik yüklü birleşim

Kolon başlığında Mod 1 göçmesi oluşur ve dönme kapasitesi yeterlidir.

7.2.4 Asimetrik yüklü birleşim

Kayma bölgesi kritik ve dönme kapasitesi yeterlidir.

7.3 Birleşimin Sınıflandırılması

7.3.1 Simetrik yüklü durum

$$\phi(M_{Rd}) = \frac{44,6 \times 10^6}{7,59 \times 10^9} = 0,0059 \text{ rad}$$

$$\phi(M_{Rd} / 1,2) = \frac{44,6 \times 10^6}{1,2 \times 10,6 \times 10^9} = 0,0035 \text{ rad}$$

$$\phi(M_{Rd} / 1,5) = \frac{44,6 \times 10^6}{1,5 \times 14,2 \times 10^9} = 0,0021 \text{ rad}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{286 \times 10^3 \times 235}{1,1} \text{ Nmm} = 61,1 \text{ kNm}$$

Kiriş açıklığının 4,5 m olduğunu farz edersek;

$$\frac{M_{pl,Rd}L}{EI_b} = \frac{61,1 \times 10^6 \times 4500}{210000 \times 2770 \times 10^4} = 0,0473$$

$$\bar{\phi}(M_{Rd}) = 0,0059 / 0,0473 = 0,124$$

$$\bar{m} = 44,6 / 61,1 = 0,730$$

$$\bar{\phi}(M_{Rd} / 1,2) = 0,0035 / 0,0473 = 0,0740$$

$$\bar{m} = 44,6 / (61,1 \times 1,2) = 0,608$$

$$\bar{\phi}(M_{Rd} / 1,5) = 0,0021 / 0,0473 = 0,0444$$

$$\bar{m} = 44,6 / (61,1 \times 1,5) = 0,487$$

7.3.2 Asimetrik yüklü durum

$$\phi(M_{Rd}) = \frac{27,4 \times 10^6}{6,51 \times 10^9} = 0,0042 \text{ rad}$$

$$\phi(M_{Rd} / 1,2) = \frac{27,4 \times 10^6}{1,2 \times 7,18 \times 10^9} = 0,0032 \text{ rad}$$

$$\phi(M_{Rd} / 1,5) = \frac{27,4 \times 10^6}{1,5 \times 7,84 \times 10^9} = 0,0023 \text{ rad}$$

Simetrik yüklü duruma benzer olarak:

$$\bar{\phi}(M_{Rd}) = 0,0042 / 0,0473 = 0,0889$$

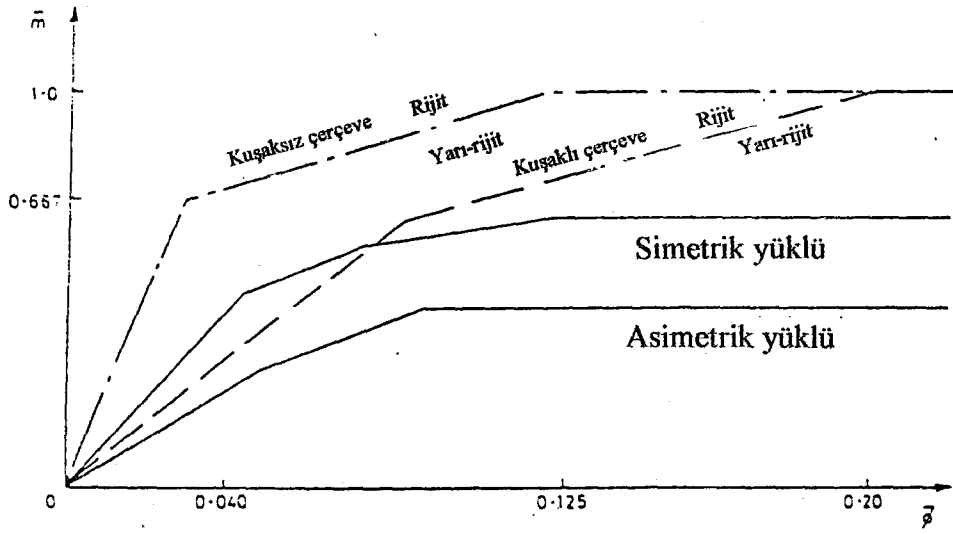
$$\bar{m} = 27,4 / 61,1 = 0,448$$

$$\bar{\phi}(M_{Rd} / 1,5) = 0,0032 / 0,0473 = 0,0677$$

$$\bar{m} = 27,4 / (1,2 \times 61,1) = 0,373$$

$$\bar{\phi}(M_{Rd} / 1,5) = 0,0023 / 0,0473 = 0,0487$$

$$\bar{m} = 27,4 / (1,5 \times 61,1) = 0,299$$



Şekil 7.10 Birleşimin sınıflandırılması (ECCS-Technical Committee 8, 1992)

8. SONUÇLAR

Ne yazık ki, mühendisleri ve kullanıcıları yarı-rijit tasarımdan uzak tutan son derece haklı gerekçeler mevcuttur. Örneğin, birleşim davranışını en iyi ifade eden moment-dönme eğrilerinin deney sonuçlarına paralel olarak modellenmesi, birçok araştırmanın konusu olmuştur ve bu konu hakkındaki araştırmalar devam etmektedir. Bunun yanı sıra, birleşimlerin sınıflandırılmasındaki belirsizlikler, analiz yöntemlerinin az sayıda ve az kullanılabilir olması da küçümsenemez etkenlerdendir. Konu hakkındaki teorik ve deneysel çalışmaların devam ediyor olması, kuşkusuz, yarı-rijit birleşimlerin uygulama açısından, cazipliğini yitirmesine neden olmaktadır. Fakat, kanımca, aşağıda değinilecek olan hususlar, gelecekte yarı-rijit tasarımın yaygın olarak kabul görüp, uygulanacağına işarettir.

Yarı-rijit tasarımın avantajları çerçeve tipine ve tasarımın esaslarına bağlıdır, dolayısıyla konuyu kuşaklı ve kuşaksız çerçeveler için ayrı ayrı irdelemek isabetli olacaktır (ECCS-Technical Committee 10, 1997).

Kuşaklı çerçeveler:

- Kiriş kesit yüksekliğinde azalma
- Çerçeve maliyetinde azalma
- Geçici kuşaklandırma yapılmaması

Kuşaksız çerçeveler:

- Birleşim detaylarının karmaşıklığının azalması
- Nervürle rijitlenmiş birleşim kullanılmaması
- Çerçeve maliyetinde azalma

8.1 Kuşaklı Çerçeveler

Örneğin düzgün yayılı yüklü bir kirişi ele alalım; elastik analizde, birleşimin rijitliğine bağlı olarak, kiriş açıklığı ortasında oluşan moment miktarı azaltılabilir. Hatta düğüm noktalarında ve açıklık ortasında oluşan eğilme momenti değerleri eşit kılınabilir, bu durum doğrudan doğruya kiriş kesit yüksekliğinin azalmasına neden olur. Düğüm noktasında gerekli rijitliği elde edecek tarzda tasarım yapmak yerine, birleşimde zaten mevcut olan ve geleneksel hesap metodlarına göre ihmal edilen rijitliği dikkate almak bile kiriş kesit yüksekliğinin azalmasına ve maliyette küçümsenemeyecek bir azalmaya neden olur (ECCS-Technical Committee 10, 1997).

Sınır göçme durumları esas alınarak yapılan rijit-plastik analizde, rijitlikten ziyade, birleşimin moment taşıma gücü davranışı belirler. Bu analiz çeşidinde, kirişin plastik moment taşıma gücü olan M_{pLRd} azaltılıp, birleşimin moment taşıma gücü, M_{Rd} , artırılarak kiriş maliyetinde düşüş sağlanabilir. Yukarıda değinildiği gibi, yaygın hesap metodlarında mafsal kabul edilen birleşimlerin mevcut moment dayanımlarının dikkate alınması bile maliyeti olumlu yönde etkileyecektir. Yapılan araştırmalar, kiriş kesit yüksekliğindeki azalmaların, yapının toplam maliyetinde %25'e varan tasarruflara neden olduğunu göstermiştir (ECCS-Technical Committee 10, 1997).

Şimdiye dek sözü edilen tasarrufların yanı sıra, kiriş kesit yüksekliğinin azalması, kat yüksekliğinin ve kaplama maliyetinin azalmasına sebep olur.

Ayrıca birleşimin gerçek davranışının dikkate alınması, bilhassa kuşaklı çerçevelerde kolonların burkulma boyunu azaltmaktadır; öyleki yapıyı oluşturan kolonların toplam maliyetinde %11,1'e varan düşüslere neden olabilmektedir (Bjorhovde, 1984). Öte yandan, birleşimlerde oluşan moment dış kolonlarda kesit artışına sebep olabilir ve tek açıklıklı yapılarda tasarrufta azalma eğilimi görülür (ECCS-Technical Committee 10, 1997).

Düzlem çerçeveler üzerinde yapılan araştırmalara göre, yarı-rijit tasarlanmış bir çerçevenin fabrikasyonu ve montajı, alternatif tasarımlara nispeten %13'e varan maliyet tasarrufuna neden olmaktadır. Şunu da unutmamak gerekir ki, bu durum çerçevenin düzenleniş tarzına ve gerekli eleman kesitlerinin piyasada veya üretici firmada mevcut olmasına bağlıdır (ECCS-Technical Committee 10, 1997).

8. 2 Kuşaksız Çerçeveler

Kuşaksız çerçevelerde , birleşim bölgelerinde, klasik hesap yöntemlerinde nervür kullanılmaktadır, oysa yarı-rijit tasarımda nervür kullanılmayabilir. Bu durum karmaşık detaylandırmalardan uzak durulmasını beraberinde getirir. Yapılan çalışmalar; malzeme, işçilik ve montaj bakımından tüm yapının maliyetinde %25'e varan tasarrufların ortaya çıktığını kanıtlamıştır (ECCS-Technical Committee 10, 1997).

KAYNAKLAR

Annex J of Eurocode 3 ENV 1993-1-1:1992, Beam-to-Column Connections.

Arda, T.S. ve Uzgider, E., (1986), Çelik Yapılarda Taşıma Gücü, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu.

Attigbe, E., ve Morris, G., (1991), "Moment-Rotation Functions for Steel Connections", Journal of Structural Engineering, 117:1703-1716

Bjorhovde, R., (1984), "Effect of End Restraint on Column Strength-Practical Applications", Engineering Journal/American Institute of Steel Construction, First Quarter:1-11.

Bjorhovde, R., Colson, A. ve Brozzetti, J., (1990), "Classification System for Beam-to-Column Connections", Journal of Structural Engineering, 116:3059-3068

Çakıroğlu, A. ve Çetmeli, E., (1991), Yapı Statiği, Beta Basım Yayın Dağıtım AŞ, İstanbul.

ECCS- Technical Committee 10- Structural Connections Technical Working Group 10.2- Semi-rigid Connections (1997), "Connections and Frame Design For Economy".

ECCS -Technical Committee 8- Structural Stability Technical Working Group 8.1/8.2 Skeletal Structures (1992), "Analysis and Design of Steel Frames with Semi-Rigid Joints", Publication No:67, Brussels.

Eurocode 3 : ENV 1993-1-1, Design of Steel Structures.

Geschwinder, L. F., (1991), "A Simplified Look at Partially Restrained Beams", Engineering Journal / American Institute of Steel Construction, Second Quarter:73-77.

Göğüş, İ., (1978), Yapı Statiği, Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti., İstanbul.

Hendrick, A. ve Murray, T.M., (1984), "Column Web Compression Strength at End-Plate Connections", Engineering Journal/American Institute of Steel Construction, Third Quarter:161-169.

Kadioğlu, N., Engin, H. ve Bakioglu, M., (1992), Mukavemet Problemleri II, Beta Basım Yayın Dağıtım AŞ, İstanbul.

Yardımcı, N., Yorgun, C. ve Arda, T.S., (1995), "Kaynaklı Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Yarı-Rijit Davranışı Üzerine Deneysel Bir Araştırma", IX.Ulusal Mekanik Kongresi, Eylül 1995, 748-757, Ürgüp.

Yorgun, C., Yardımcı, N. ve Arda, T.S., (1995), "Bulonlu Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Hesabı", İTÜ Dergisi.

Yorgun, C., Yardımcı, N. ve Arda, T.S., (1995), "Kaynaklı Yarı-Rijit Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Hesabı", İTÜ Dergisi.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.03.1976

Doğum yeri Kayseri

Lise 1986-1993 Özel T.E.D. Kayseri Koleji Vakfi Lisesi

Lisans 1993-1997 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı Kurum

1998-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi