

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİJİT VE YARIRİJİT ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLERİN
EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Rafet Altay ERYOLDAŞ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

**RİJİT VE YARIRİJİT ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLERİN
EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Rafet Altay ERYOLDAŞ
(501051105)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ekim 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Alpay ÖZGEN
Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU
Prof. Dr. A. Zafer ÖZTÜRK (Y.T.Ü.)**

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Günümüzde yapıların analizinde gelişen teknolojinin getirdiği gelişmiş bilgisayar programları sayesinde eskiden yapılamayan veya detayına inilemeyen bir çok konu yapılar incelenebilir hale gelmiştir. Bunlardan biri de çelik yapılarda kiriş kolon birleşimi analizinde hesaplanmaya ve uygulamaya başlanılan yarı rijit birleşim tipidir. Geleneksel analiz yönteminde yer almayan, ancak yapılan uzun soluklu araştırmalar ve deneyler sonrası ortaya çıkan veriler ışığında bu konu üzerinde bir çok noktada yeterince veri toplanmıştır. Davranışı ifade eden birçok denklem elde edilmiş ve artık ülkemizde de üzerinde durulmaya ve tatbik edilmeye hazır hale gelmiştir. Bu analiz yönteminde moment etkisinde kısmen dönebilen yaylar dikkate alınmaktadır.

Çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Alpay Özgen'e, tez kritikleri için Prof. Dr.A.Zafer Öztürk'e ve yarırijit problem çözüm aşamalarına açıklık kazandıran Doç .Dr. Güliz Bayramoğlu'na teşekkür ederim. Kaynak bulma konusunda İTÜ Mustafa İnan Merkez Kütüphanesinin imkanlarından yararlandım.

Eylül, 2008

Rafet Altay ERYOLDAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	ix
TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii
1. ÇERÇEVE DİZAYN METODUNDA MODERN YAKLAŞIMLAR VE DİZAYN STRATEJİSİ	1
1.1 Giriş	1
1.2. Birleşim Rijitliği İçin İyi bir Tahminde Bulunmak	2
1.2.1 Elastik global analizde birleşim rijitliğini hesaba katmak.	3
1.2.2 Birleşim tasarımında rijitliğin kontrolü	3
1.3. Başlangıç birleşim rijitliğinin tahmini	3
1.4. Gereken birleşim rijitliği	5
2. TEORİ : KAYNAKLI BİRLEŞİMLER	8
2.1 Giriş	8
2.2 Kesmeye Maruz Kolon Gövdesi	12
2.3 Basınca Maruz Kolon Gövdesi	22
2.3.1 Ezilme dayanımı	22
2.3.2 Burkulma dayanımı	26
2.3.3 Başlangıç Rijitliği	30
2.4 Çekmeye Maruz Kolon Gövdesi	31
2.4.1 Dayanım	31
2.4.2 Başlangıç rijitliği	32
2.5 Yerel Gerilme Etkileşiminde Dikkat Edilecekler	32
2.6 Eğilmeye Maruz Kolon Başlığı	38
2.7 Basınç Etkisindeki Kiriş Başlığı ve Gövdesi	42
3. TEORİ: BULONLU ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLER	43
3.1 Giriş	43
3.2 Eğilme Dayanımının Tahmini	48
3.2.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi	48

3.2.2 Basınca maruz kolon gövdesi	48
3.2.3 Eğilmeye maruz kolon başlığı	49
3.2.4 Eğilmeye maruz alın levhası	56
3.2.5 Çekmeye maruz kolon gövdesi	57
3.2.6 Basınca maruz kiriş başlığı ve gövdesi	58
3.2.7 Çekmeye maruz kiriş gövdesi	58
3.2.8 Birleşimin eğilme dayanımını hesaplama prosedürü	58
3.3 Başlangıç Dönme Rijitliğinin Tahmini	62
3.3.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi	62
3.3.2 Basınca maruz kolon gövdesi	62
3.3.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi	62
3.3.4 Eğilmeye maruz kolon başlığı ve eğilmeye maruz alın levhası	65
3.3.5 Çekmeye maruz bulon sırası	65
3.3.6 Öngermeli bulonların dönme rijitliğine etkisi	66
4. SAYISAL UYGULAMA 1 : SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK RİJİT ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN İKİ KATLI ÇELİK OFİS BİNASININ ÇERÇEVE YÜKLEME ANALİZİ VE DİZAYN AŞAMALARI	70
4.1 Yayılı Yükler	70
4.2 Kat Yükleri	72
4.2.1 Kat düşey yükleri	72
4.2.1.1 Çatı katı yükleri	72
4.2.1.2 Ara katı yükleri	73
4.2.2 Yatay yükler	74
4.2.2.1 Rüzgar yükleri	74
4.2.2.2 Deprem yükleri	74
4.3 Yük Kombinasyonları	76
4.4 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması	76
4.5 Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması	77
4.5.1 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması	77
4.5.1.1 Kesit seçimi	77

4.5.1.2 Kompaktlık koşulu kontrolü	79
4.5.1.3 Yanal doğrultuda burkulma kontrolü	79
4.5.2 Kolonların boyutlandırılması	80
4.5.2.1 Kesit seçimi	80
4.5.2.2 Kompaktlık (narinlik) koşulu kontrolü	82
4.5.2.3 G+Q+E yüklemesi için basınç+eğilme etkisinde normal gerilme kontrolü	84
4.5.2.4 G+Q+ Ω E yüklemesi için basınç ve çekme kapasite kontrolleri	86
4.5.3 Kiriş kolon birleşim bölgeleri	87
4.5.3.1 Süneklilik düzeyi yüksek çerçeveler için DY 2007 koşulları	87
4.5.3.2 Kaynaklı birleşim detayı ve konstruktif kurallar	88
4.5.3.3 Panel (kayma) bölgesi tasarım aşamaları	91
4.5.3.4 Süreklilik levhası koşulu	95
5. SAYISAL UYGULAMA 2 : SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK YARI RİJİTÇERÇEVELERDEN OLUŞAN İKİ KATLI ÇELİK OFİS BİNASINDA KAYNAKLI YARI RİJİT DÜĞÜM NOKTASI HESABI	96
5.1 Birleşimin Eğilme Dayanımı Hesabı	96
5.1.1 Kismeye maruz kolon gövdesi bileşeni	96
5.1.2 Basınca maruz kolon gövdesi bileşeni	97
5.1.2.1 Ezilme dayanımı	97
5.1.2.2 Burkulma dayanımı	98
5.1.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi bileşeni	98
5.1.4 Eğilmeye maruz kolon başlığı bileşeni	99
5.1.5 Basınca maruz kiriş başlığı ve gövdesi bileşeni	99
5.1.6 Sonuç: Birleşimin eğilme dayanımı	100
5.2 Başlangıç Dönme Rijitliği	100
5.2.1 Kismeye maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer	100
5.2.2 Basınca maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer	100
5.2.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer	101
5.2.4 Sonuç: Birleşimin dönme rijitliği	101
5.3 Birleşimin tahmini rijitliği ve iyi tahmin rijitlik sınırları	101

5.4 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması	103
5.5 Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması	104
5.5.1 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması	104
5.5.1.1 Kesit seçimi	104
5.5.1.2 Kompaktlık koşulu kontrolü	105
5.5.1.3 Yanal doğrultuda burkulma kontrolü	105
5.5.2 Kolonların Boyutlandırılması	107
5.5.2.1 Kesit seçimi	107
5.5.2.2 Kompaktlık (narinlik) koşulu kontrolü	108
5.5.2.3 G+Q+E yüklemesi için basınç + eğilme etkisinde normal gerilme kontrolü	110
5.5.3 Kaynaklı birleşim detayı ve konstrüktif kurallar	114
5.5.3.1 Çekme bölgesinin dayanımı	115
5.5.3.2 Basınç bölgesinin dayanımı	115
5.5.3.3 Panel bölgesinin dayanımı	116
6. SAYISAL UYGULAMA 3 : SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK YARI RİJİT ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN İKİ KATLI ÇELİK OFİS BİNASINDA BULONLU UZATILMIŞ LEVHALI YARI RİJİT DÜĞÜM NOKTASI HESABI	117
6.1 Başlangıç Dönme Rijitliği İçin İşlem Basamakları	118
6.1.1 Bulon sıralarının moment kolları (Basınç Merkezine Uzaklıkları)	118
6.1.2 Birinci bulon sırasının doğrusal rijitliği	118
6.1.2.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı	118
6.1.2.2 Çekmeye maruz kolon gövdesi	118
6.1.2.3 Eğilmeye maruz alın levhası	118
6.1.2.4 Çekmeye maruz bulonlar	119
6.1.2.5 Birinci bulon sırasının eşdeğer rijitliği	119
6.1.3 İkinci bulon sırasının doğrusal rijitliği	119
6.1.3.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı	119
6.1.3.2 Çekmeye maruz kolon gövdesi	120
6.1.3.3 Eğilmeye maruz alın levhası	120

6.1.3.4 Çekmeye maruz bulonlar	121
6.1.3.5 İkinci bulon sırasının eşdeğer rijitliği	121
6.1.4 Üçüncü bulon sırasının doğrusal rijitliği	121
6.1.4.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı	121
6.1.4.2 Çekmeye maruz kolon gövdesi	122
6.1.4.3 Eğilmeye maruz alın levhası	122
6.1.4.4 Çekmeye maruz bulonlar	122
6.1.4.5 Üçüncü bulon sırasının eşdeğer rijitliği	123
6.1.5 Eşdeğer moment kolu	123
6.1.6 Eşdeğer toplam rijitlik	123
6.1.7 Kesmeye maruz kolon gövdesi	123
6.1.8 Basınca maruz kolon gövdesi	123
6.1.9 Sonuç: Düğümün dönme rijitliği	124
6.1.10 Sayısal veri ve hesap tabloları	124
6.2 Eğilme Dayanımı Hesabı İçin İzlenen İşlem Basamakları	125
6.2.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi	125
6.2.2 Basınca maruz kolon gövdesi	125
6.2.2.1 Ezilme dayanımı	125
6.2.2.2 Burkulma dayanımı	125
6.2.3 Basınca maruz giriş başlığı ve gövdesi	126
6.2.4 Birinci bulon sırasının dayanım hesabı	126
6.2.4.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı	126
6.2.4.2 Eğilmeye maruz alın levhası	128
6.2.4.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi	129
6.2.5 İkinci bulon sırasının dayanım hesabı	129
6.2.5.1 İkinci bulon sırasının dizayn çekme dayanımına 1. kısıtlama	129
6.2.5.2 Çekmeye maruz giriş gövdesi	129
6.2.5.3 Eğilmeye maruz kolon başlığı	129
6.2.5.4 Çekmeye maruz kolon gövdesi	132
6.2.5.5 Eğilmeye maruz alın levhası	132

6.2.5.6 Sonuç: Birleşimin tasarım moment dayanımı	134
6.2.5.7 Sayısal veri ve hesap tabloları	134
6.3 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması	134
6.4 Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması	135
6.4.1 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması	135
6.4.1.1 Kesit seçimi	135
6.4.1.2 Kompaktlık koşulu kontrolü	136
6.4.1.3 Yanal doğrultuda burkulma kontrolü	136
6.4.2 Kolonların boyutlandırılması	138
6.4.2.1 Kesit seçimi	138
6.4.2.2 Kompaktlık (narinlik) koşulu kontrolü	139
6.4.2.3 G+Q+E yüklemesi için basınç + eğilme etkisinde normal gerilme kontrolü	141
6.4.3 Bulonlu birleşim detayı ve konstrüktif kurallar	145
6.4.3.1 Çekme bölgesinin dayanımı	146
6.4.3.2 Basınç bölgesinin dayanımı	146
6.4.3.3 Panel bölgesinin dayanımı	147
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	148
KAYNAKLAR	153
EKLER	154
A. RİJİTLİK İÇİN SAYISAL VERİ VE HESAP TABLOLARI	154
B. EĞİLME DAYANIMI İÇİN RİJİTLİK İÇİN SAYISAL VERİ VE HESAP TABLOLARI	159
C. BİRLEŞİM DETAYLARI	164
B.1 Rijit düğüm noktası birleşim detayı	
B.2 Yarı-rijit kaynaklı düğüm noktası birleşim detayı	
B.3 Yarı-rijit bulonlu düğüm noktası birleşim detayı	
D. PROF.VİNCENZO PİLUSO İLE ÇEVİRİ HAKKINDA YAZIŞMA	167
ÖZGEÇMİŞ	168

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik.
DY	: Deprem yönetmeliği.
EC3	: Eurocode 3
EC8	: Eurocode 8
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
TS	: Türk standartları
ECCS	: Commission of the European Communities

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1	: Gerçek rijitliğin yaklaşık başlangıç rijitliğine bağlı değişiminin üst ve alt sınır değerleri	6
Tablo 3.1	: Eğilmeye maruz kolon başlığında bir bulon sıralı T-stub'ların akma mekanizmaları	52
Tablo 3.2	: Eğilmeye maruz kolon flanjında bir bulon grubuna ait bulon sırasının efektif genişliği (CEN, 1997).....	54
Tablo 3.3	: Eğilmeye maruz alın levhasında tek bir bulon sırası için efektif genişlik.....	57
Tablo 3.4	: Eğilmeye maruz alın levhasında bir bulon grubuna ait bir bulon sırasının efektif genişliği.....	58
Tablo 3.5	: cwt, cfb, epb bileşenleri için efektif genişlikler.....	64
Tablo 3.6	: Öngerilmeli birleşimler için tahmin edilen değerler ile deney sonuçlarının kıyaslanması	68
Tablo 4.1	:Yapı kat ağırlıkları.....	73
Tablo 4.2	: Çerçeve doğrultusunda deprem yükleri.....	76
Tablo 4.3	: Çerçeve düzleminde kat ötelemeleri	77
Tablo 4.4	: Elverişsiz kombolar -mesnet yüzü çubuk uç kuvvetleri.....	78
Tablo 4.5	: Kaynaklı giriş kolon birleşim detayı ve uygulama sınırları	89
Tablo 5.1	: Çerçeve düzleminde kat ötelemeleri.....	103
Tablo 5.2	: Elverişsiz kombolar -mesnet yüzü çubuk uç kuvvetleri.....	104
Tablo 6.1	: Çerçeve düzleminde kat ötelemeleri.....	134
Tablo 6.2	: Elverişsiz kombolar -mesnet yüzü çubuk uç kuvvetleri.....	135
Tablo A.1	: Rijitlik hesabında İç Düğüm Noktası İçin Veriler.....	154
Tablo A.2	: Orta düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için rijitlik hesap aşamaları.....	155
Tablo A.3	: Rijitlik hesabında kenar düğüm için veriler.....	157
Tablo A.4	: Kenar düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için rijitlik hesap aşamalar.....	157
Tablo B.1	: Eğilme dayanımı hesabında iç düğüm noktası için veriler.....	159
Tablo B.2	: Orta düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için eğilme dayanımı hesap aşamaları.....	160
Tablo B.3	: Eğilme dayanımı hesabında kenar düğüm için veriler.....	161
Tablo B.4	: Kenar düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için eğilme dayanımı hesap aşamaları.....	162

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: Elastik global analize yönelik dizayn stratejisinde birleşim rijitliği için iyi bir tahminde bulunmak	2
Şekil 1.2	: Tipik kolon kiriş birleşimlerinin yaklaşık rijitliğine ait C değerleri	4
Şekil 1.3	: Yarı rijit bir birleşim için rijitlik gereksinimi kontrolü	7
Şekil 2.1	: Kolon kiriş birleşim detayları.....	8
Şekil 2.2	: Kaynaklı birleşimlerin bileşenleri.....	10
Şekil 2.3	: Mekanik model ve bileşenlerini davranışı.....	11
Şekil 2.4	: Temel bileşen katkılarının birleştirilme şekli.....	12
Şekil 2.5	: Düğüm noktası ve panel bölgesi iç kuvvetleri.....	13
Şekil 2.6	: Deneylerde kullanılan dış (1) ve iç (2) düğüm modelleri.....	14
Şekil 2.7a	: Kesme kuvveti eksenel kuvvet etkileşimi sembolik gösterimi (Liew & Chen,1994).....	16
Şekil 2.7b	: Kesme kuvveti eksenel kuvvet etkileşimi (Liew & Chen,1994).....	17
Şekil 2.8	: Krawinkler et al.trilinear modeli sembolik gösterimi.....	18
Şekil 2.9	: $b_{eff,cwc}$ 'nin bileşenleri ve basınç bölgesindeki gerilmeler.....	23
Şekil 2.10	: Kolon gövdesinin basınç bölgesi için akma çizgileri modeli (Aribert et al.,1990)	28
Şekil 2.11	: Düşey normal gerilmenin ve kesme etkileşiminin dayanım faktörüne etkisi	34
Şekil 2.12	: Panel bölgesi kesmeye maruz olmayan modeller	35
Şekil 2.13	: Panel bölgesi kesmeye maruz modeller	36
Şekil 2.14	: Panel bölgesi kesmeye maruz olmayan modeller	37
Şekil 2.15	: Eğilmeye maruz kolon başlığının akma mekanizması.....	38
Şekil 2.16	: Kiriş başlığı kaynağındaki gerilme dağılımı.....	40
Şekil 3.1	: Alın levhalı birleşimlerin farklı şekilde düzenlenmesi	43
Şekil 3.2	: Rijitleştirilmemiş (a) ve rijitleştirilmiş (b) bulonlu uzatılmış alın levhalı birleşimler için T-parçasının (T-Stub) tanımı ve yerleşimi (Yee ve Melchers,1986)	44
Şekil 3.3	: Alın levhalı birleşimin bileşenleri.....	45
Şekil 3.4	: Mekanik model.....	46
Şekil 3.5	: Düğüm noktası dönme rijitliği hesabı için prosedür.....	47
Şekil 3.6	: Bulonlu T-parçalarının (T-Stub) göçme şekilleri.....	50
Şekil 3.7	: m_c ve m_{ep} parametrelerinin tanımı.....	50
Şekil 3.8	: Bir bulon sıralı T-parçalarının (T-Stub) akma mekanizmaları.....	52
Şekil 3.9	: Kolon üst ucuna komşu bulon sıralarının akma çizgileri.....	53
Şekil 3.10	: α katsayısı (CEN, 1997).....	54
Şekil 3.11	: Bulon sırası grupları için akma çizgisi modelleri	55
Şekil 3.12	: Kiriş başlığı dışındaki bulon sırasının göçme mekanizmaları ve efektif genişlikler	56
Şekil 3.13	: Eğilme dayanımı için hesap aşamaları (prosedürü).....	60
Şekil 3.14	: Efektif Genişlik Hesabı İçin Gerekli Parametreler	65

Şekil 4.1	: Düşey yükler	71
Şekil 4.2	: Duvar parapet cephe yükleri.....	71
Şekil 4.3	: Sistemde çerçeve aksına dik yönde diğer elemanların konumları.....	72
Şekil 4.4	: Rüzgar soldan-sağdan yüklemeleri.....	74
Şekil 4.5	: Düğüm no ve eleman ismi.....	77
Şekil 4.6	: Kaynaklı rijit kiriş kolon birleşim detayı.....	90
Şekil 4.7	: Kaynak ulaşım deliği geometrisi.....	90
Şekil 4.8	: Örneğe ait kaynak ulaşım deliği geometrisi.....	91
Şekil 5.1	: İncelenen birleşimlerin sistemdeki yerleri.....	96
Şekil 5.2	: Kenar düğüme ait moment dönme eğrisi.....	102
Şekil 5.3	: Orta düğüme ait moment dönme eğrisi.....	103
Şekil 5.4	: Düğüm no ve eleman ismi.....	104
Şekil 5.5	: Kaynaklı kiriş kolon birleşim detayı.....	114
Şekil 6.1	: İncelenen birleşimler ve sistemdeki yerleri.....	117
Şekil 6.2	: Düğüm no ve eleman ismi.....	135
Şekil 6.3	: Bulonlu yarı-rijit kiriş kolon birleşim detayı.....	145

SEMBOL LİSTESİ

A_b	: Bulon-direnç alanı
A_c	: Kolon kesit alanı
A_{ds}	: Diagonal levhanın (rijitleştiricinin) alanı
A_{ve}	: Kolondaki kesme alanı
a_b	: Kiriş başlığını kolon başlığına bağlayan kaynak kalınlığı
a_c	: Kolonda gövde başlık arası kaynak kalınlığı
a_{ep}	: Kirişi alın levhasına bağlayan kaynak kalınlığıdır
$a_{ep,f}$	: Kiriş başlığı ve alın levhası arasındaki kaynak kalınlığı
$a_{ep,w}$	: Kiriş gövdesini alın levhasına bağlayan kaynak kalınlığı
B_{Rd}	: Herbir bulonun max dayanımı
b_c	: Kolon başlık genişliği
b_{ep}	: Alın levhası genişliği
b_{fb}	: Kiriş başlık genişliği
b_{sl}	: Süreklilik levhası genişliği
$b_{eff,cfb}$	: Eğilmeye maruz kolon başlığının etkili genişliği
$b_{eff,cwc}$	: Basınca maruz kolon(kiriş)gövdesinde efektif genişlik
$b_{eff,cwt}$	: Çekmeye maruz kiriş gövdesinde efektif genişlik
bw_{fe}	: Kiriş gövde ve başlığının basınca çalışan bölgesi
C_m	: Uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklenmeyi gözönüne alan bir katsayıdır
cfb	: Kolon başlığının eğilmeye çalışan kısmı
cwc	: Kolon gövdesinin basınca çalışan kısmı
cws	: Kolon gövdesinin kesmeye çalışan kısmı
cwt	: Kolon gövdesinin çekmeye çalışan kısmı
d	: Bulon eksenini ile profilin ilgili yüzü arasındaki mesafe
d_b	: Bulon çapı
d_c	: Bulon ekseninden kolon gövde yüzüne olan uzaklık
d_h	: Bulon başı çapı (conta üzerindeki temas çapı)
d_r	: Bulonun direnen alanına ait çap
d_s	:Süreklilik levhaları ağırlık merkezleri arasındaki mesafe
e_{ep}	: Bulonların kendilerine yakın alın levhası uzun kenarına uzaklığı
e_x	: 1. Bulon sırasının alın levhası üst kenarına uzaklığı
E	: Deprem yükleri
E_h	: Malzemenin pekleşme modülü
f_{ub}	: Bulondaki max gerilme
f_{yef}	: Kolon başlığı akma gerilmesi
f_{ybp}	: Takviye levhalarının akma gerilmesi
f_{yep}	: Alın levhası akma gerilmesi
f_{vw}	: Kaynağın tasarım kesme dayanımı
$F_{cws,rd}$	: Yayın dayanımı (direnci)
$F_{i,Rd}$	: i. bulon sırasının dayanımı
F_{ycw}	: Kolon gövdesinin akma gerilmesi

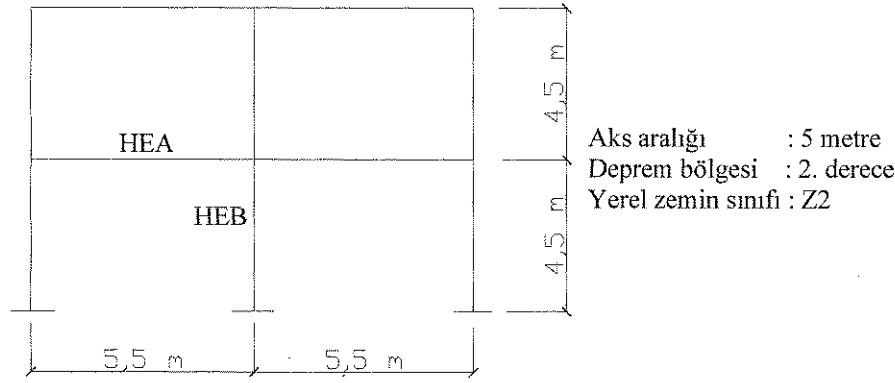
G	: Sabit yükler
h	: Kat yüksekliği
h_1	: Kirişin gövde yüksekliği
h_b	: Kiriş derinliği
h_c	: Kolon derinliği
h_{ep}	: Alın levhası yüksekliği
h_g	: Kiriş gövde yüksekliği
h_i	: i. bulon sırasının basınç merkezinden uzaklığı
h_t	: Moment kolu, eşdeğer moment kolu
I	: Atalet momenti
I_b	: Kirişin atalet momenti
I_c	: Kolonun atalet momenti
I_{fc}	: Kolon başlığının atalet momenti
k_{cwt}	: Düşey normal gerilmenin etkisini dikkate alan katsayı
K_b	: Tek bulonun eksenel rijitliği
K_{bp}	: Tek bulon levha sisteminin eksenel rijitliği
K_{cws}	: Elasto plastik ve rijid plastik bileşenlerden oluşan mekanik modeldeki yayın eksenel rijitliğidir.
K_{qc}	: Hesap rijitliği
K_{qexp}	: Deney sonucu rijitliği
K_p	: Öngerme sonucu levhaların sıkıştırılması ile oluşan katkı
L_B	: Kiriş boyu
L_b	: Bağlanan plakaların ve cıvataların kalınlığı, somun ve bulon başının yarım kalınlıkları cinsinden hesap edilen bulon uzunluğu
L_c	: Kolon boyu
L_d	: Diagonal boyu
l_{ep}	: Alın levhasının kiriş üst başlığından taşan kısmı
$M_{bp,Rd}$	: Takviye levhalarının eğilme rijitliği
$M_{fc,rd}$	: Kolon başlığının plastik momenti
n_b, n_r	: Çekmeye maruz bulon sırası sayısı
P_{bf}	: Kiriş başlığından aktarılan konsantre yük
p	: 1. ve 2. bulon sırası arasındaki uzaklık
p_i	: Kiriş başlıkları arasındaki 2. ve 3. bulon sıraları arasındaki uzaklık
q	: Hareketli yükler
Q	: Çekip çıkarmaya çalışan kuvvet
r_b	: Gövde başlık arası eğrisel bölge yarıçapı
r_c	: Gövde başlık birleşiminin yarıçapı,
S_{jsapp}	: Yaklaşık birleşim rijitliği (başlangıç rijitliğinin tahmini için)
S_{jsini}	: Gerçek başlangıç rijitliği
s_p	: Basınç kuvvetinin alın levhasından 45 ° lik açıyla yayılma mesafesi
t_{bp}	: Takviye levhalarının kalınlığı
t_{ep}	: Alın levhası kalınlığı
t_{fb}	: Kiriş başlığının kalınlığı
t_{fc}	: Kolon başlık kalınlığı
t_h	: Bulon başı derinliği

t_n	: Somun derinliği
t_s	: Takviye levha kalınlığı
t_{wc}	: Kolon gövde kalınlığı
t_{wh}	: Conta(pul) kalınlığı
V_{cw}	: Kolon gövdesindeki kesme kuvveti
$V_{cws,rd}$	: Kolon gövdesi tasarım dayanımı
V_p	: Kesmeye maruz panel bölgesindeki plastik dayanım
W	: Rüzgar yükleri
w	: Burkulma katsayısı
w_i	: 2 bulon sütunu arasındaki uzaklık
Z_b	: Kirişin plastik modülü
γ_{Mo}	: Kısmi güvenlik katsayısı
γ_y	: Kayma birim uzaması
ρ	: Kesme etkisini dikkate alan katsayı
σ_{cb}	: Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme
σ_{hem}	: Doğrultulara göre narinliklerden büyük olanına bağlı basınç emniyet gerilmesidir.
σ_o	: Yatay normal gerilme
σ_v	: Düşey normal gerilme
τ	: Kayma gerilmesi
Φ	: Dayanım faktörü
$\bar{\psi}$	: Kolon gövdesinin mesnetlemesine bağlı bir azaltma katsayısı

RİJİT VE YARI-RİJİT ÇELİK ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLERİN EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu tezin kapsamı içerisinde iki katlı çelik çerçevelerden oluşmuş bir büro inşaatı rijit ve yarı-rijit olarak tasarlanmıştır. Tezin amacı yarı-rijit sistem tasarımının rijit sistemle kıyaslandığında inşaat sektörüne bir ekonomi getirip getirmeyeceğinin belirlenmesidir. Alışlagelen global elastik tasarım metodunda rijit veya mafsallı birleşimler tasarlanırken dizayn aşamasında bu seçimlere ait maximum momentlere göre kiriş ve kolonlar boyulandırılmaktadır. Bu da yapı çerçevesi eğer hadde profillerle tasarlanmışsa sabit kesit kullanımı sonucunda malzemeyi yeterince değerlendirememeye yol açmaktadır.



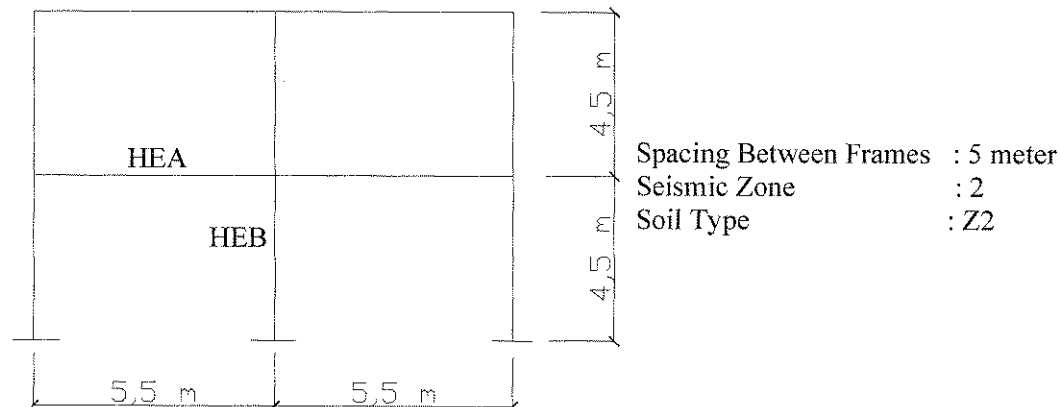
Düğüm noktaları kaynaklı birleşim tipi ve düğüm noktaları bulonlu alın levhali birleşim tipinde, birleşimlerin yarı-rijit olarak nasıl analiz edildiği Eurocode 3'teki bileşenler metodu esas alınarak açıklanmıştır. EC3'te yarı-rijit düğüm noktaları, birçok bileşenin ayrı ayrı yay olarak düşünüldüğü mekanik bir modelle idealize edilmiştir. Bu bileşenlerin ayrı ayrı yay dayanımları(dirençleri) ve dönme rijitlikleri tespit edilerek düğüm noktasının toplam dayanımı, en zayıf bileşene göre belirlenir. Toplam dönme rijitliği ise kesme, basınç ve çekme yüklerine maruz bileşenlerin deneysel ve teorik denklemlerinin uygun şekilde birleştirilmesiyle elde edilir.

Yapı deprem bölgesinde inşa edileceğinden Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 gözetilerek tasarım yapılmıştır. Bu yönetmeliğin ekinde yer alan görelî kat ötelemesi açısı (görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği) kapasitesi en az 0,04 radyanı sağlayan geçerliliği kanıtlanmış kaynaklı rijit birleşim tipi kullanılmıştır. Eleman boyutlandırma TS 648 çelik şartnamesinden yararlanılmıştır. Bilindiği gibi kaynak deformasyon kapasitesi fazla olmayan bir malzemedir bu yüzden sistem düğüm noktaları bulonlu alın levhali yarı-rijit olarak ta tasarlanmıştır. Birleşim malzemesi olarak ilk aşamada kaynak seçilmesinin amacı bu birleşimle yapılan yarı-rijit tasarımın da ekonomi getirebileceğini vurgulamaktır.

ECONOMIC COMPARISON OF RIGID AND SEMI-RIGID STRUCTURAL STEEL FRAMES

SUMMARY

In this thesis a two-story commercial office building using rigid and semi-rigid design was taken into consideration. The objective of this thesis is to see if the semirigid design is more economical than the rigid design in the civil engineering field. In the classical approach, the structures are analysed with the global elastic method and while in the design stage the dimensions of the columns and beams are decided from the maximum moments of the analysis results. Therefore if rolled sections which have constant section depth are used in the structure the steel material will not be utilised as much as it should be.



In the welded connections and in the bolted end plate connections where the joints are semi-rigid, the components method of the EC3 code was utilized and clarified in this thesis. In the EC3, the semirigid joints are all idealized as spring components which end up in a mechanical model themselves. After the resistance and stiffness of each component is calculated the resistance (strength) of the joint is found according to the resistance of the weakest component and the stiffness is found according to the proper combination of the components which are affected by shear, compression and tension.

The structure is built in a seismic region so that the seismic code of Turkey 2007 was used during the analysis and design stages. A tested welded rigid joint from this code was selected to ensure a capacity of relative story displacement angle (relative story displacement/height of the story) of at least 0,04 radian. For the design of the columns and beams, the steel code TS 648/December 1980 was used. The weld used in combining the joints is considered a poor deformative component so the system is designed again using bolted end plate connections. The reason for selecting welded joints in the first place is to demonstrate the beneficial economical outcomes of using this kind of component in the semirigid design.

1. ÇERÇEVE DİZAYN METODUNDA MODERN YAKLAŞIMLAR VE DİZAYN STRATEJİSİ¹

1.1 Giriş

Tasarımcının izlediği dizayn stratejisi etkili bir dizayn süreci için ilk dikkat edilmesi gereken aşamadır. İyi bir strateji eleman ve birleşimler için çoğunlukla ekonomik çözümlere götürür. Şu an mevcut uygulamaları yansıtan geleneksel dizayn yaklaşımında bir yapıda birleşimler ya basit ya da sürekli modelleniyorlar. Bir birleşimin dizaynı , global analizi ve eleman dizaynını izleyecek şekilde sürdürülüyor.

Daha tutarlı bir tasarım yaklaşımında ise , daha başlangıçtan birleşim davranışı gözönünde bulundurularak global çerçeve analizi yürütülür.

Birleşimler yarı sürekli yani yarı rijit iken geleneksel dizayn yaklaşımı yalnız iteratif hesap şeklinde sürdürülebilir. Bu şekilde bir düğümün davranışı global analizde dikkate alınmış olur. Geleneksel hesap yaklaşımında üstesinden gelinmesi gereken bir sorunun üzerinde durulması yerinde olur. Gerçek birleşimin özellikleri üretici firma tarafından yürütülen birleşim boyutlandırmasına ve detaylandırmasına bağlıdır. Yarı rijit tasarımda analizi ve eleman dizaynını yapan mühendis global çerçeve analizini sonlandırmadan birleşim detayları hakkında bu bilgiye sahip olmalıdır. Bu şekilde sürdürülmeye çalışılan geleneksel dizayn yaklaşımı ne verimli olabilir ne de tatbikatta kolaylıkla uygulanabilir.

Bu nedenlerden dolayı burada yarı-rijit birleşime sahip çerçevelerin dizayn stratejisi üzerine eğilinecek ve bu dizayn şekli kolaylıkla geleneksel yaklaşımla bütünleşebilir olacaktır. Esas amaç global analizi gerçekleştirirken yarırijitliği dikkate almaktır. Bunun için üç strateji (yol) öneriliyor. Burada ilk strateji üzerinde durulacaktır.

- 1) Elastik global çerçeve analizinde kullanmak için iyi bir başlangıç birleşim rijitliği atamak.
- 2) Geleneksel dizayn yaklaşımı içinde bir sabitleme katsayısı kullanmak.
- 3) Çaprazlı çerçevelerin dizaynında rijit plastik analiz kullanmak.

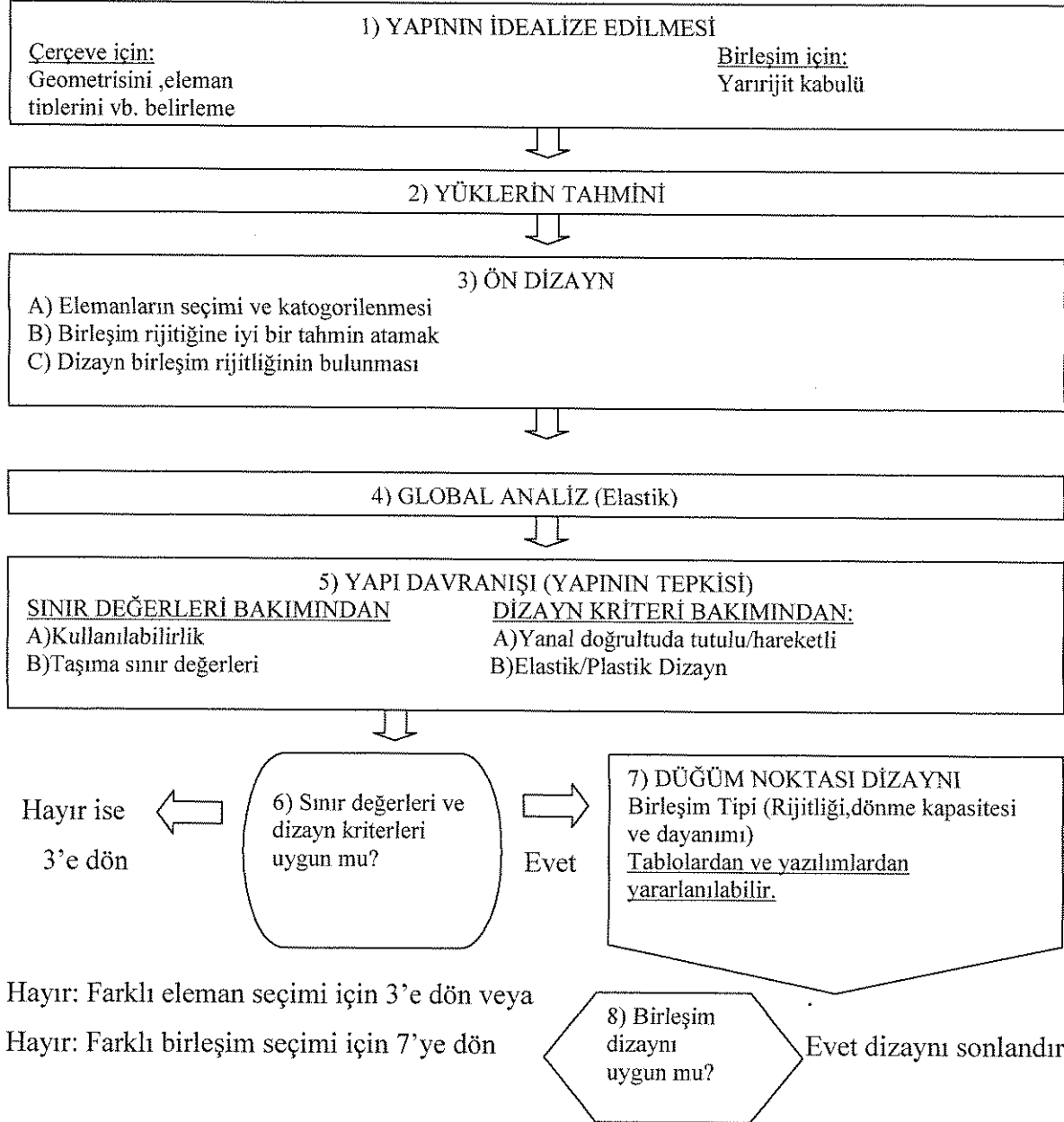
İlk iki strateji elastik çerçeve analizinde kolaylıkla tatbik edilebilir. Hatta elastik plastik analizde dahi kullanılabilir. Bu iki strateji çoğunlukla güçlendirilmemiş (çaprazsız) çerçeve dizaynına yönelik olsa da çaprazlı çerçeveler de dahil edilebilir.

¹ SSEDTA 2001'den [1] çevrilmiştir.

Üç nolu strateji bir tip plastik çerçeve analizi üzerinde duruyor ve kullanımı yalnızca çaprazlı çerçeveler için tavsiye edilebilir.

1.2. Birleşim Rijitliği İçin İyi bir Tahminde Bulunmak

Bu strateji geleneksel tasarım yolunu izliyor yalnız yarırijit birleşim için iki değişikliğin yapılması gereklidir. Aşağıda bu aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Elastik Global Analize Yönelik Dizayn Stratejisinde Birleşim Rijitliği İçin İyi Bir Tahminde Bulunmak²

² [1] nolu kaynaktan çevrilmiştir.

1.2.1-Elastik global analizde birleşim rijitliğini hesaba katmak.

Birleşimi rijit kabul etmek yerine gerçek başlangıç rijitliği için bir tablo veriliyor. Buradaki iyi tahminler kiriş ve kolonun özelliklerine ve birleşimlerin tipine bağlıdır. Eğer tasarımcı elastik düğüm ve eleman dizayn kontrolleri yapacaksa bu birleşim rijitliği elastik çerçeve global analizinde doğrudan kullanılır. Eğer plastik dizayn kontrolleri yapılacaksa bu rijitlik uygun bir katsayı ile azaltılır.

1.2.2 Birleşim tasarımında rijitliğin kontrolü

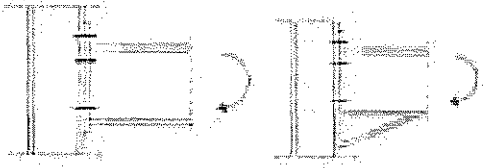
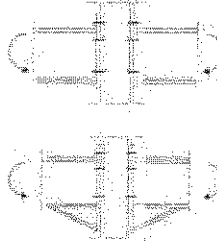
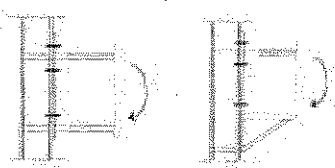
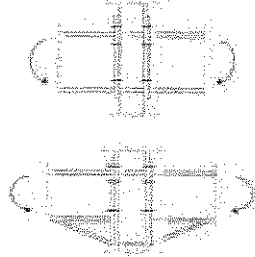
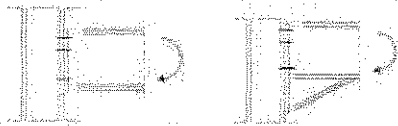
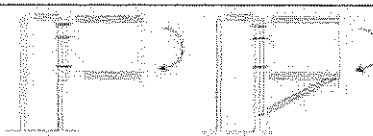
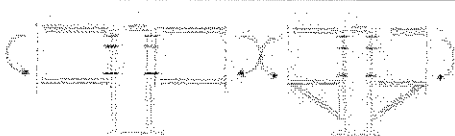
Elastik global çerçeve analizine katılan tahmini rijitlik değerinin hesap sonrası gerçek değeriyle uygunluğu kontrol edilmelidir. Bu tıpkı geleneksel analizdeki rijit veya mafsallı birleşim kontrolüne benziyor. Aşağıda bu sağlama işlemi için bazı kurallar verilmiştir. Bu kuralların felsefesi EC3, bölüm 1-1 deki birleşimlerin sınıflandırma diagramlarına benziyor. Bu kurallar kolaylıkla global analiz yapan bir programla kullanılabilir.

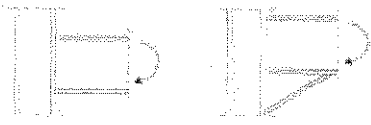
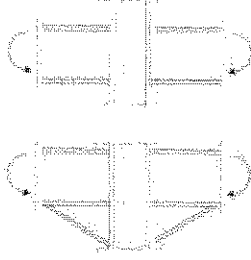
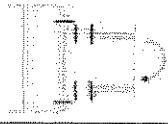
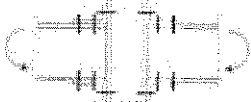
1.3. Başlangıç birleşim rijitliğinin tahmini

Ön tasarım safhasında daha dizayn edilecek birleşim noktalarına bir başlangıç rijitliği düşünülüp öngörülmelidir. Bunun için EC3 (Yeniden gözden geçirilmiş) Annex J'ye [2] göre basitleştirilmiş bir formül çıkartılmıştır. Tasarımcı bu formül ile birleşim tipine dayanarak mantıklı bir ön tahmin yapabilir. Tabi ki bu formüller çerçevelerde kullanılan tipik birleşimlere ait parametreleri içeriyor. Bu parametreler plak kalınlığı, bulon çapı ve bulon yerleşimi vb gibi değerlere bağlıdır. Birleşimin rijitliğinin yaklaşık değeri şöyle ifade edilebilir:

$$S_{j\ app} = \frac{E \times z^2 \times t_{fc}}{C} \quad (1.1)$$

Burada E malzemenin elastisite modulüdür. C değerleri aşağıdaki tabloda farklı birleşim tipleri ve yükleme şekilleri için verilmiştir. Birleşimin rijitliği iki parametreye bağlı: z ve t_{fc} . z birleşimdeki basınç ve çekme kuvvet bileşkeleri arasındaki mesafedir. t_{fc} ise kolon başlığı kalınlığıdır. 2 sıra bulonlu uzatılmış alın levhalı bir birleşimde z yaklaşık olarak kiriş derinliği olarak alınır. Aynı tip birleşimin gusesi de varsa z bu sefer kiriş derinliği +guse derinliği olarak alınır. Annex J'de bu moment kolunun tavsiye edilen yaklaşık değerleri bulunmaktadır.

Birleşim Şekli		C
Uzatılmış alın levhalı, tek taraftan saplamalı ($\beta=1$) Rijitleştirilmemiş		13
Uzatılmış alın levhalı, iki taraftan saplamalı Yüklemeye simetrik ($\beta=0$) Rijitleştirilmemiş		7,5
Uzatılmış alın levhalı, tek taraftan saplamalı ($\beta=1$) Çekmeye ve basınca karşı rijitleştirilmiş.		8,5
Uzatılmış alın levhalı, iki taraftan saplamalı Yüklemeye simetrik ($\beta=0$) Çekmeye ve basınca karşı rijitleştirilmiş.		3
Uzatılmış alın levhalı, tek taraftan saplamalı ($\beta=1$) Morris Tipi Rijitleştirilmiş		3
Kiriş derinliğinde alın levhalı, tek taraftan saplamalı ($\beta=1$)		14
Kiriş derinliğinde alın levhalı, iki taraftan saplamalı. Yüklemeye simetrik ($\beta=0$)		9,5
Kiriş derinliğinde alın levhalı, kolon tepe levhalı. Tek taraftan saplamalı ($\beta=1$)		11,5
Kiriş derinliğinde alın levhalı, kolon tepe levhalı. iki taraftan saplamalı Yüklemeye simetrik ($\beta=0$)		6

Kaynaklı birleşim, tek taraftan saplamalı ($\beta=1$) Rijitleştirilmemiş		11,5
Kaynaklı birleşim, iki taraftan saplamalı Yükleme simetrik ($\beta=0$) Rijitleştirilmemiş		6
Korniyerli, tek taraftan saplamalı ($\beta=1$)		70
Korniyerli, iki taraftan saplamalı Yükleme simetrik ($\beta=0$)		65

Şekil 1.2 Tipik kolon kiriş birleşimlerinin yaklaşık rijitliğine ait C değerleri [1]²

1.4. Gereken Birleşim Rijitliği

EC3 tasarımcıya birleşim rijitliğini mafsallı yarı-rijid ve rijid olmak üzere sınıflandırmak için iki tip diagram sunmaktadır. Biri çaprazlı (güçlendirilmiş) diğeri çaprazsız çerçeveler için düzenlenmiştir. Çaprazlı çerçevelerde birleşimin rijit kabul edilmesi için gerçek başlangıç rijitliği şu koşulu sağlamalıdır:

$$S_{j,ini} \geq \frac{8EI_b}{L_b} \quad (1.2)$$

Burada $\frac{EI_b}{L_b}$ kiriş eğilme rijitliğini göstermektedir. Bu koşul rijid birleşim kabulü ile sistemde max çerçeve dayanımına ulaşıldığında birleşimin esnekliğindeki azalmayı %5 ile sınırlandırıyor. Bu %5 lik azalmanın kabulü ile sınırlı bir birleşim rijitlik değerini içeren global analize müsaade edilmiş olunuyor. Yukarıda bahsedilen gerçek başlangıç rijitliğiyle kastedilen tasarımcının elde edebileceği en iyi değerdir. Bu değer ise deneylerden, sayısal simülasyonlardan (sonlu eleman gibi) veya EC3 (yeniden gözden geçirilmiş) Annex J kısmından hesaplanabilir.

² Not : Kimi özel durumlarda; örneğin yüklemenin simetrik olmadığı ($\beta=2$) iki taraftan saplamalı birleşimlerde C değeri , yüklemenin simetrik yani dengede olduğu haldeki C katsayısına 11 ilave ederek elde edilir.

Bir birleşimin rijitliğinin kontrolü için üç basamaklı bir prosedür uygulanır.

a) Birleşimin tümü rijid kabulüyle çerçeve analizi yapılır. $S_{j,app} = \infty$

(Şekil 1.1’de 3.aşama için kullanılabilir)

b) Gerçek başlangıç rijitliğinin içinde olacağı aralık belirlenir.

(Şekil 1.1’de 8.aşama için kullanılabilir) (Rijit birleşimler için rijitlik sınırları)

c) Gerçek başlangıç rijitliğinin ($S_{j,ini}$) aralıkta olup olmadığı kontrol edilir.

(Şekil 1.1’de 8.aşama için kullanılabilir)

Bu birleşim rijitliği konsepti yarı rijit birleşimleri kapsayacak şekilde genelleştirilebilir.

Yaklaşık birleşim rijitliğiyle gerçek birleşim rijitliğine sahip yarı-rijit birleşimlerin çerçeve davranışı üzerinde hatırı sayılır bir etkiye sahip olup olmadığı kontrol edilebilir. Yaklaşık birleşim rijitliği ($S_{j,app}$) ile gerçek başlangıç rijitliği ($S_{j,ini}$) arasındaki değişim formülleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 1.1 Gerçek rijitliğin yaklaşık başlangıç rijitliğine bağlı değişiminin üst ve alt sınır değerleri [1]

<u>Çerçeve tipi</u>	<u>Alt Sınır</u>	<u>Üst Sınır</u>
Çaprazlı (güçlendirilmiş)	$S_{j,ini} \geq \frac{8 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{10 \times E \times I_b + S_{j,app} \times L_b}$	Eğer $S_{j,ini} \leq \frac{8 \times E \times I_b}{L_b}$ ise $S_{j,ini} \leq \frac{10 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{8E \times I_b - S_{j,app} \times L_b} \text{ olur}$ aksi halde $S_{j,ini} \leq \infty$ olur
Çaprazsız	$S_{j,ini} \geq \frac{24 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{30 \times E \times I_b + S_{j,app} \times L_b}$	Eğer $S_{j,ini} \leq \frac{24 \times E \times I_b}{L_b}$ ise $S_{j,ini} \leq \frac{30 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{24E \times I_b - S_{j,app} \times L_b} \text{ olur}$ aksi halde $S_{j,ini} \leq \infty$ olur

Burada;

$S_{j,app}$: Yaklaşık birleşim rijitliği (başlangıç rijitliğinin tahmini için)

$S_{j,ini}$: Gerçek başlangıç rijitliği

E : Elastisite modülü

L_b : Kiriş Uzunluğu

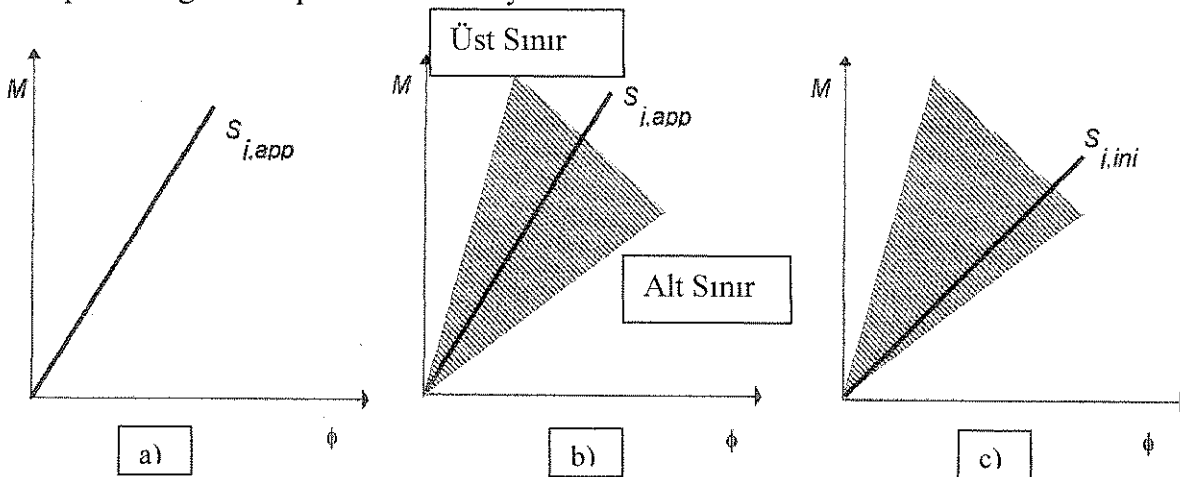
I_b : Kirişin kesit atalet momenti

$S_{j,ini} = \frac{8 \times E \times I_b}{L_b}$ ifadesi çaprazlı kirişler için rijit yarırijit sınırdır

$S_{j,ini} = \frac{24 \times E \times I_b}{L_b}$ ifadesi ise çaprazsız kirişler için rijit yarırijit sınırdır

Bu rijitlik kriterleri kullanılarak bu iki rijitliğin ($S_{j,app}$, $S_{j,ini}$) çerçeve taşıma kapasitesi üzerinde %5'i aşmayan bir fark yaratıp yaratmadığına bakılır. Rahatlıkla gözlemlenebileceği üzere rijitlik değeri minimumdan maximuma geniş bir aralıkta değişiklik gösterir. Bu da yarı rijid birleşimlerin rijit birleşimlere nazaran ilginç bir özelliğini ortaya koyuyor. Üretici için tatminkar bir birleşim detayı üzerinde karar vermek hem tasarımcı hem de imal edenin taleplerini dikkate alırken işini de oldukça kolaylaştırıyor.

Aşağıda sol taraftaki şekilde a) aşamasında mühendis $S_{j,app}$ 'tan yararlanarak bulduğu başlangıç rijitliğine göre çerçeve analizini gerçekleştiriyor. b)'de üretici $S_{j,app}$ 'tan yararlanarak rijitlik sınırlarını kontrol edebiliyor. c)'de de yine üretici gerçek rijitliğin bu sınırlar içinde olup olmadığına bakıp kontrol edebiliyor.



Şekil 1.3 Yarı rijit bir birleşim için rijitlik gereksinimi kontrolü [1]

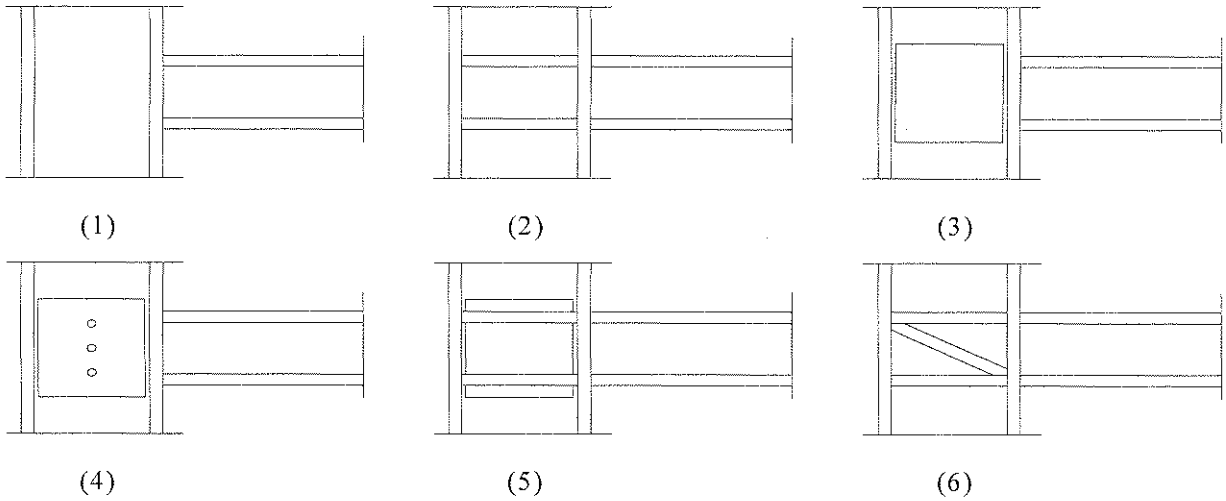
2. KAYNAKLI BİRLEŞİMLER

2.1 Giriş

Bir kolon kiriş birleşiminin davranışının tahmini Eurocode 3 (Cen,1997)'te yer alan ve araştırmalarda da çokça kullanılan bileşenler metodu ile yapılabilir. Teorik açıdan herhangi bir birleşim tipi için kullanılabilir. Tabi ki bunun için dayanımı ve deformasyonu oluşturan bileşenler belirlenmeli ve modellenmelidir. Bu bileşenler düğüm noktası bileşenleri olarak adlandırılırlar ve bu elemanlar kuvvet yer değiştirme bağıntısıyla modellenebilir. Daha sonra bu bağıntılar mekanik modelle birleştirilerek birleşimin moment dönme değişim eğrisi tahmininde kullanılabilir.

Kaynaklı birleşim durumu bileşenlerinin az olması nedeniyle şüphesiz daha basittir. Buna mukabil bileşenlerinin çoğunun bulonlu birleşimlerin bileşenlerinde de kullanılmakta olduğunu söylemek yerinde olur. Şimdi üzerinde durulacak olan bileşenler kolon kirişin ve rijitleştirici elemanların geometrik ve mekanik özelliklerini ilgilendiriyor.

Güçlendirici ve rijitleştirici elemanların kullanımına bağlı olarak birçok farklı birleşim detayı üretilebilir.



Şekil 2.1 Kolon kiriş birleşim detayları ¹

¹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 85 adlı eserden faydalanarak çizilmiştir.[3]

- (1) nolu birleşim rijitleştirilmemiş
- (2) nolu birleşim süreklilik levhalı
- (3) nolu birleşim gövde takviyeli
- (4) nolu birleşim nokta kaynaklı veya bulonla desteklenmiş takviye levhalı
- (5) nolu birleşim süreklilik levhaları gövde takviyeleri ile birlikte
- (6) nolu birleşim süreklilik levhaları ile diagonal rijitleştiriciler birlikte tasarlanmıştır.

Kolon gövdesinde takviye levhasının genişliği aşağıdaki değeri geçerse EC3'e göre bir sıra nokta kaynağı veya bulon öneriliyor.

$$40 \times t_s \times \sqrt{(235 / f_y)} \quad (2.1)$$

Burada t_s : takviye levha kalınlığı

f_y : çeliğin akma dayanımı (N / mm^2)

Bulonların yatay ve düşey kenarlara uzaklıkları e_1 ve e_2 , delik aralarındaki uzaklık p de

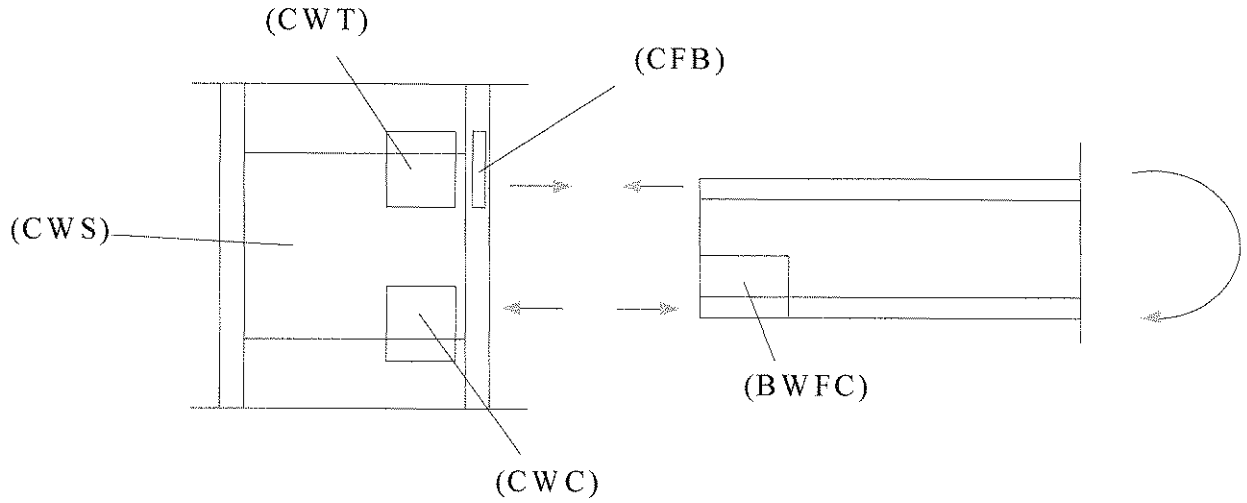
$40 \times t_s \times \sqrt{(235 / f_y)}$ 'den küçük olmalıdır.

Süreklilik levhalarına gelince rijitleştirici levhaların çelik kalitesi ve kalınlığı kiriş başlığından az olmamalıdır. Süreklilik levhalarının genişliği ise kiriş başlıklarının genişliğiyle örtüşmelidir:

$$b_{sl} = (b_{fb} - t_{wc}) / 2 \quad (\text{Cen 1997}) \quad (2.2)$$

Bileşen metodunda kaynaklı detaylar aşağıdaki beş bileşenle tanımlanırlar.

- 1-Kolon gövdesinin kesmeye çalışan kısmı (CWS)
- 2-Kolon gövdesinin basınca çalışan kısmı (CWC)
- 3- Kolon gövdesinin çekmeye çalışan kısmı (CWT)
- 4- Kolon flanjinin eğilmeye çalışan kısmı (CFB)
- 5- Kiriş gövde ve flanjinin basınca çalışan bölgesi (BWFC)

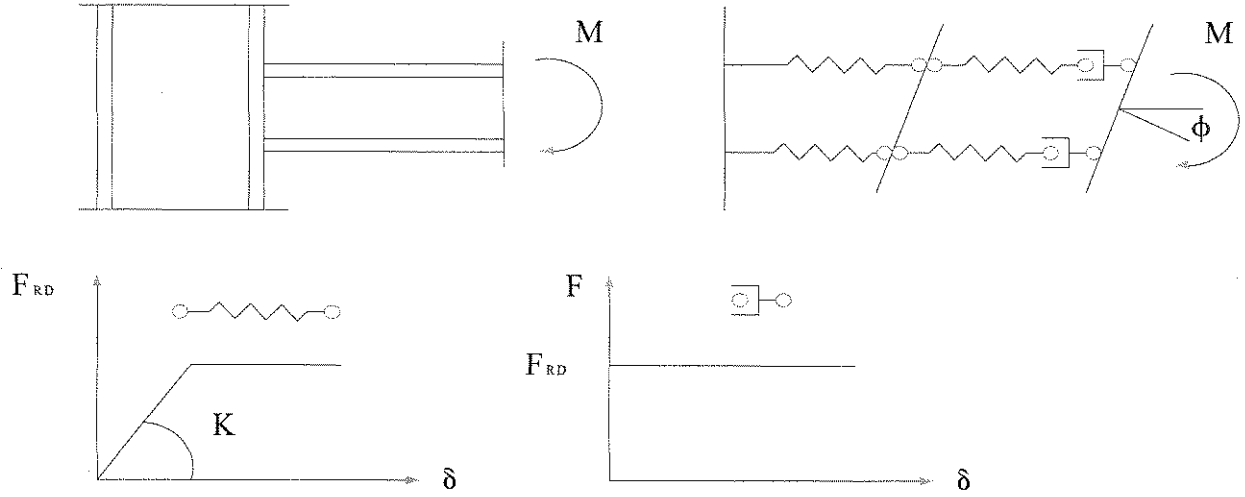


Şekil 2.2 Kaynaklı birleşimlerin bileşenleri²

Öncelikle kiriş gövdesini kolona bağlayan kaynakların birleşime yalnızca kesme kuvveti aktarırken kiriş başlık kaynaklarından herhangi bir dirençle karşılaşmadığı varsayılacaktır.

Kaynaklar yalnızca çok sınırlı bir deformasyona karşı koyabildiklerinden gevrek kopma davranışı sergilerler. Bu nedenden dolayı kaynak çatlağından her halükarda uzak duracak şekilde tasarım yapılmaktadır. Kaynak dikişi birleşimin global dönme deformasyonuna katkıda bulunmadığından bileşenlerden biri olarak kullanılmaz. Yalnız kaynak dikişi çatlaklarından kaçınılmalı ve belirgin dikiş dayanımı sağlayacak şekilde doğru kaynak dizayn kriterleri kullanılmalıdır. İlk üç bileşen (cws, cwc, cwt) birleşimin dönme rijitliğini ve eğilme dayanımını büyük ölçüde belirliyor. Buna mukabil son iki bileşen cfb bfc birleşimin eğilme dayanımına yalnız bir sınırlama koyuyor. Böylelikle birleşimin davranışı mekanik bir modelle özetlenebilir. Sınırlama getiren elemanlar rijit plastik bileşenler diğer elemanlar ise elasto plastik bileşenler olarak sembolize edilebilirler.

² Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 86 adlı eserden faydalananarak düzenlenmiştir.[3]



ELASTO PLASTİK BİLEŞEN RİJİT PLASTİK BİLEŞEN

Şekil 2.3 Mekanik Model ve Bileşenlerinin Davranışı³

Burada F_{RD} dizayn dayanımı

δ yerdeğiştirmedir.

Birleşimin pekleşme davranışının modellenmesi istenirse her bileşenin kuvvet yer değiştirme bağıntısında bir değişikliğe gidilmesi gerekir. Birleşimin tasarım eğilme dayanımı $M_{j,Rd}$ bileşenlerden en küçük tasarım dayanımına sahip olan bileşen tarafından belirlenir. Bu tasarım dayanımı şöyle ifade edilebilir.

$$F_{rd,min} = \min (F_{cws,rd} ; F_{cwc,rd} ; F_{cwt,rd} ; F_{cfd,rd} ; F_{bwfc,rd}) \quad (2.3)$$

Birleşimin tasarım moment dayanımında aşağıdaki ifadeye eşit olur.

$$M_{jrd} = F_{rdmin} \cdot h_t \quad (2.4)$$

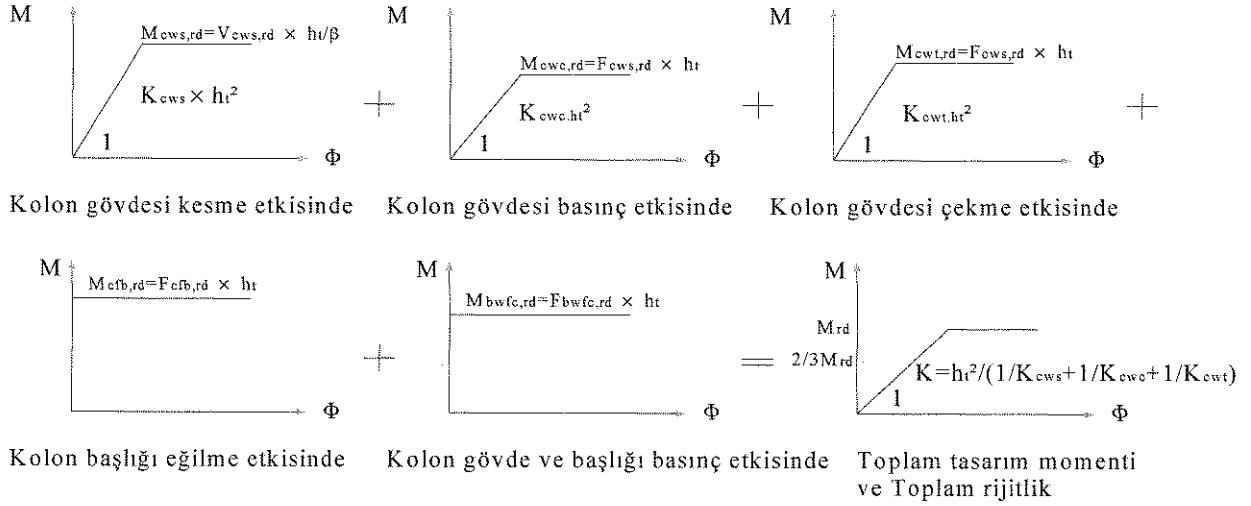
Burada h_t moment koludur.

Düğüm dönme rijitliğide şu formülle ifade edilebilir.

$$K_{\phi} = \frac{h_t^2}{\left(\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_{cwt}} \right)} \quad (2.5)$$

Bileşenlerin birbirinden bağımsız olmadığını bu noktada vurgulamak yerinde olur. Bu nokta mekanik model üzerinde vurgulanmadı; yalnız bileşenlerin kuvvet yer değiştirme ilişkileri belirlendikten sonra bu nokta netleşecek. Aslına bakılırsa bu bağıntılar farklı bileşenler arasındaki etkileşimi de dikkate alıyorlar.

³ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 87'den faydalanarak düzenlenmiştir.[3]

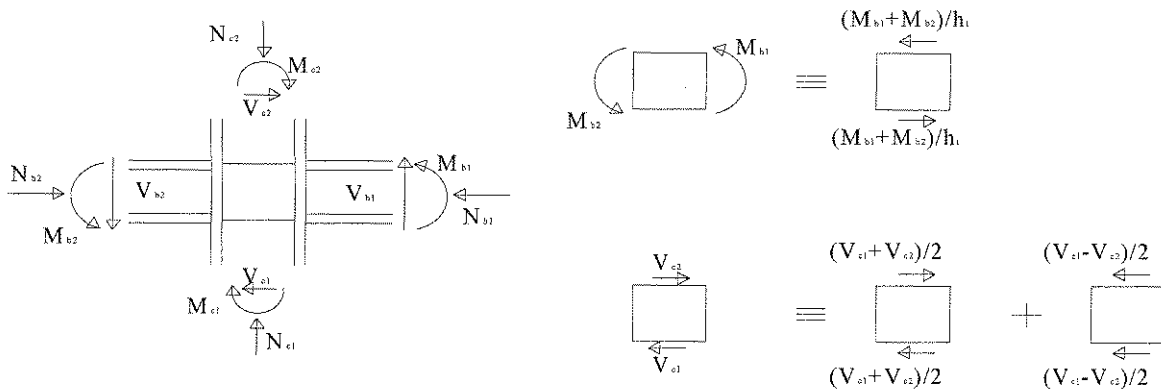


Şekil 2.4 Temel bileşen katkılarının birleştirilme şekli⁴

Şimdi bu beş bileşenden her birinin ayrı ayrı dayanımını ve rijitliğini belirlemeye yönelik bağıntılar analiz edilecek. Bununla birlikte kaynaklı düğüm noktalarının davranışını öngörmeye çalışan bileşen metodunun güvenilirliği teknik literatürden toplanan deneysel datalarla test edilecek.

2.2 Kesmeye maruz kolon gövdesi :

Bir iç kolon kiriş birleşimi etrafında oluşabilecek kuvvetler ve bu kuvvetlerden kolon kirişin kesiştiği panel bölgesine gelen kayma kuvvetleri aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.5 Düğüm noktası ve panel bölgesi iç kuvvetleri⁵

⁴ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 88 adlı eserden faydalanarak çizilmiştir.[3]

⁵ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 89'dan faydalanarak çizilmiştir. [3]

Böylece birleşimin sağ tarafındaki moment cinsinden panel bölgesindeki kesme kuvveti şöyle ifade edilebilir.

$$V_{cw} = \frac{(M_{b1} + M_{b2})}{h_t} - \frac{(V_{c1} + V_{c2})}{2} =$$

$$= \frac{M_{b1}}{h_t} \times \left[\left(1 + \frac{M_{b2}}{M_{b1}}\right) - \frac{h_t}{2M_{b1}} \times (V_{c1} + V_{c2}) \right] = \frac{M_{b1}}{h_t} \times \beta_1 \quad (2.6)$$

veya birleşimin sol tarafındaki moment cinsinden panel bölgesindeki kesme kuvveti şöyle ifade edilebilir.

$$V_{cw} = \frac{(M_{b2} + M_{b1})}{h_t} - \frac{(V_{c1} + V_{c2})}{2} =$$

$$= \frac{M_{b2}}{h_t} \times \left[\left(1 + \frac{M_{b1}}{M_{b2}}\right) - \frac{h_t}{2M_{b2}} \times (V_{c1} + V_{c2}) \right] = \frac{M_{b2}}{h_t} \times \beta_2 \quad (2.7)$$

Burada M_{b1} ve M_{b2} sırasıyla birleşimin sol ve sağ tarafından aktarılan momentlerdir.

V_{c1} ve V_{c2} sırasıyla alt ve üst kolondan aktarılan kesme kuvvetleridir.

β_1 ve β_2 parentez içine karşılık gelir.

Kesmeye maruz panel bölgesini temsil eden modeldeki yayın dayanımı , iç kuvvetlerin yukarıda gösterilen şekilde etkisi de dikkate alındığında şöyle ifade edilebilir.

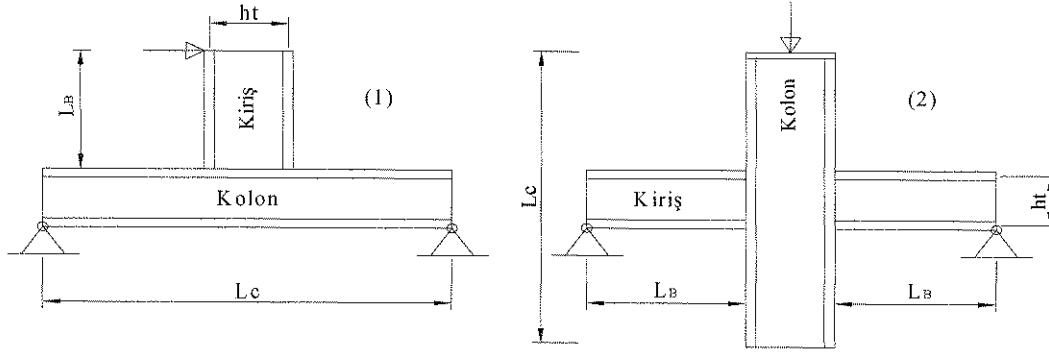
$$F_{cws,rd} = \frac{M_b}{h_t} = \frac{V_{cws,rd}}{\beta} \quad (2.8)$$

Burada $V_{cws,rd}$ kolon gövdesinin tasarım dayanımıdır.

Birleşimin sağ tarafı için $\beta = \beta_1$ $M_b = M_{b1}$ sol tarafı için $\beta = \beta_2$ $M_b = M_{b2}$ alınır.

Dış düğüm noktaları (birleşimler için) kesmenin kolona yararlı etkisi ihmal edilirse $\beta = 1$ alınabilir. İç birleşimlerde büyüklükçe eşit kiriş uç momentleri için $\beta = 2$ alınır. İç birleşimlerde büyüklükçe eşit ve birbirini dengeleyen (panel bölgesinde kesme oluşturmayan) moment durumunda $\beta = 0$ alınır. Aşağıda bir örneği gösterilen yapılan deneylerde kullanılan dış düğüm modeli göz önünde bulundurulursa yay dayanımı için şu bağıntı ortaya çıkar.

$$F_{cws,rd} = \frac{V_{cws,rd}}{1 - \frac{h_t}{L_c}} \quad (2.9)$$



Şekil 2.6 Deneylerde kullanılan dış (1) ve iç (2) düğüm modelleri⁶

Burada;

L_B : kiriş boyu

L_c : kolon boyunu gösteriyor.

Böylece $\beta = 1 - \frac{h_t}{L_c} = \frac{L_c - h_t}{L_c}$ katsayısı ile kolon gövdesi dizayn dayanımı $V_{cws,rd}$, yay

dayanımı $F_{cws,rd}$ 'ye çevrilmiş oluyor.

İç birleşim tipinde bu bağıntının dikkate alınmasına gerek yok çünkü panel bölgesi bu deneyde kesmeye maruz kalmıyor.

Panel bölgesindeki kesme kuvveti uniform dağılım göstermiyor. Tsai ve Popov (1988)'un [3] yaptığı sonlu elemanlar analizine göre en büyük gerilme seviyesine panelin ortasında ulaşıyor. Köşelerde ise gerilme azalması gözlemleniyor. Paneldeki ortalama gerilme maximum gerilmenin %80'ne eşit. Buna mukabil panel bölgesindeki gerilme uniform olarak tasarım yapılabilir. Bu kabul genelde yeter derecede geçerli sonuçlar veriyor. Kolon normal kuvvetinden kaynaklanan normal gerilmenin ihmal edilmesiyle panel bölgesinin tasarım kesme dayanımı aşağıdaki bağıntıyla tayin edilebilir.

⁶ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 90'dan faydalanarak çizilmiştir. [3]

$$V_{cws,rd} = \frac{f_{ycw} \times A_{vc}}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mo}} \quad (2.10)$$

Burada ;

f_{ycw} : kolon gövdesinin akma gerilmesi

A_{vc} : kolondaki kesme alanı

γ_{Mo} : kısmi güvenlik katsayısıdır.

Kaynaklı yapma kesitlerde kesme alanı gövde alanıyla çakışıyor buna mukabil profil kesitlerde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A_{vc} = A_c - 2 \times b_{fc} \times t_{fc} + (t_{wc} + 2 \times r_c) \times t_{fc} \quad (2.11)$$

Bunun anlamı, kesme alanına kolon flanşı içindeki gövde parçalarında dahil edilmesidir.

Burada;

A_c : Kolon kesit alanı

r_c : gövde flanş birleşiminin yarıçapı,

b_c : flanş genişliği

t_{fc} : flanş kalınlığı

t_{wc} : kolon gövde kalınlığıdır

EC3'e göre kesmeye maruz bir kolon gövdesi düzgün kaynaklanmış takviye levhaları ile güçlendirilir ve rijitleştirilirse bu levhaların kalınlığı kolon gövdesinden ince olmamalıdır.

Bu durumda panel bölgesinde kesmeye karşı koyan alan A_{vc} en fazla $b_s \cdot t_{wc}$ kadar artmış olur.

Burada b_s takviye levha genişliğidir. Takviye levhaları kolon gövdesinin her iki tarafında kaynaklansa bile bu kesme alanındaki artış dikkate alınmaz. (CEN, 1997) [3] Eğer kolon eksenel kuvveti ihmal edilemiyorsa kolon gövdesi kesme dayanımı Hencky-Von Mises akma kriteri kullanılarak şu şekilde hesaplanabilir.

$$V_{cws,Rd} = \frac{A_{vc} \times \tau_{y,cw}}{\gamma_{Mo}} \times \left[1 - \left(\frac{\sigma}{f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} = \frac{A_{vc} \times f_{y,cw}}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mo}} \times \left[1 - \left(\frac{\sigma}{f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

Burada ;

σ : Panel bölgesindeki ortalama normal gerilme

τ : kolon gövdesinin kesmede akma gerilmesidir

Basitleştirilmiş akma kriteri AISC-LRFD yönetmeliğinde (AISC, 1990) yer almıştır.[3] Bu yönetmeliğe göre kesme etkisindeki kolon gövde akma dayanımı şu şekilde ifade edildi.

$$\text{Eğer } N \leq 0,4 \times N_y \text{ ise } V_y = \Phi \times 0,6 \times f_y \times h_c \times t_{pz} \quad (2.13)$$

$$\text{Eğer } N \geq 0,4 \times N_y \text{ ise } V_y = \Phi \times 0,6 \times f_y \times h_c \times t_{pz} \times \left(1,4 - \frac{N}{N_y}\right) \quad (2.14)$$

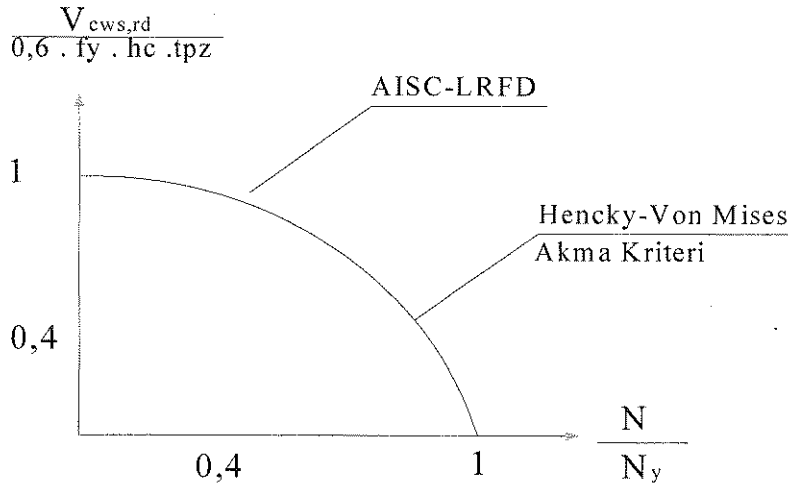
Burada ;

H_c : Kolon derinliği

N : Kolonun tasarım eksenel kuvveti

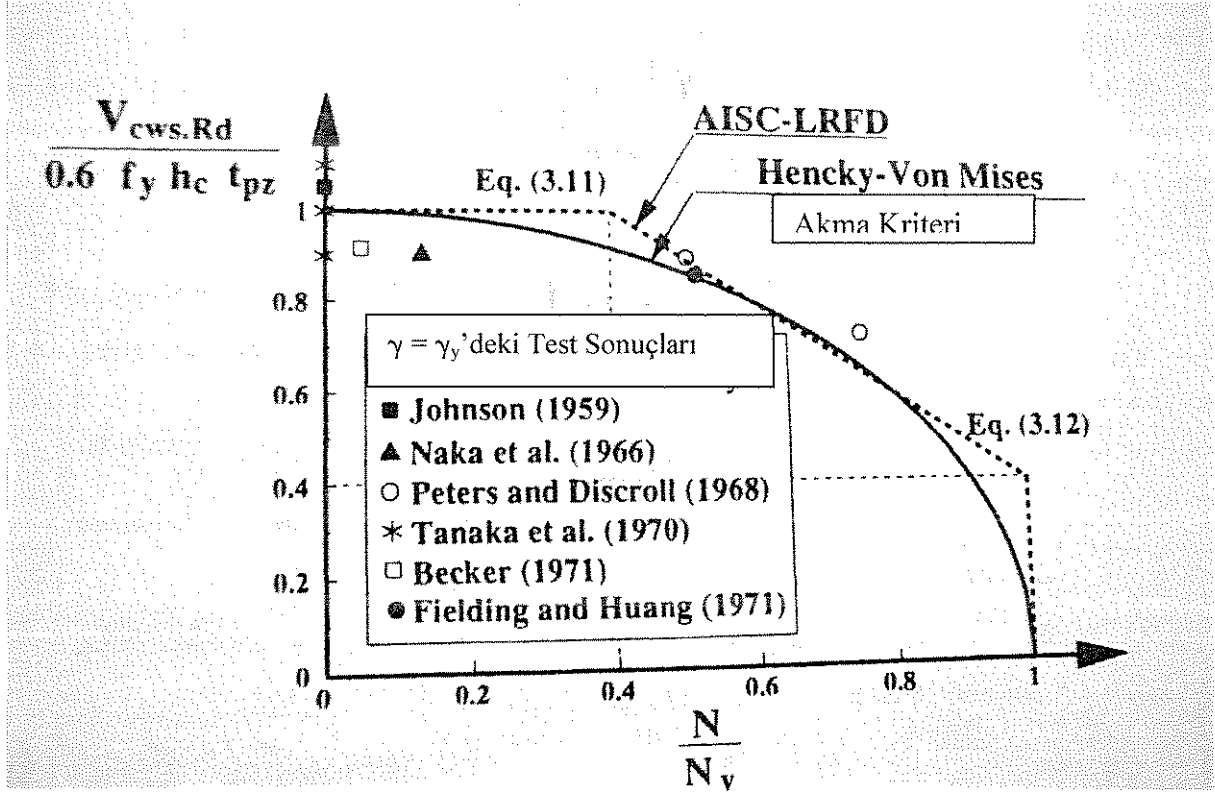
N_y : Kolon burkulma yükü

Φ : Dayanım faktörü



Şekil 2.7a Kesme kuvveti eksenel kuvvet etkileşimi sembolik gösterimi (Liew & Chen,1994)⁷ [3]

⁷ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 92'den faydalanarak çizilmiştir. [3]



Şekil 2.7b Kesme kuvveti eksenel kuvvet etkileşimi (Liew & Chen,1994)⁸ [3]

ϕ pratik olarak Avrupa'da pratikte kullanılan kısmi güvenlik katsayısının tersine eşit.

$$\phi = 0,9 = \frac{1}{\gamma_{Mo}} = \frac{1}{1,1} \quad (2.15)$$

Panel bölgesi takviye levhaları ile güçlendirilip rijitleştirildiğinde t_{pz} kalınlığı kaynaklı gövde takviye levhalarından kapsar. Amerikan yönetmeliğindeki bağıntılar sadelik açısından Henck Von Mises kriterinin lineerleştirilmiş halidir ve testlere tabii tutulmuştur.

Johnson (1959) [3], Naka et al (1966) [3], Peters and Discroll (1968) [3], Tanaka et al (1970) [3], Becker (1971) and Fielding and Huang (1971) [3]

EC3'teki (Hencky Von Mises) kesme dayanım alanı ile AISC-LRFD kesme dayanım alanı arasındaki farkı vurgulamada yarar var. Amerikan yönetmeliğindeki formül kesmeye maruz panel bölgesindeki ilk akma dayanımını vermeyi amaçlıyor. Öte yandan Avrupa pratiğindeki formül takviyesiz panel bölgesindeki plastik kesme dayanımını temsil ediyor.CEN 1997 Avrupa şartnamesinin revizyon taslağında kolon eksenel kuvvetinden

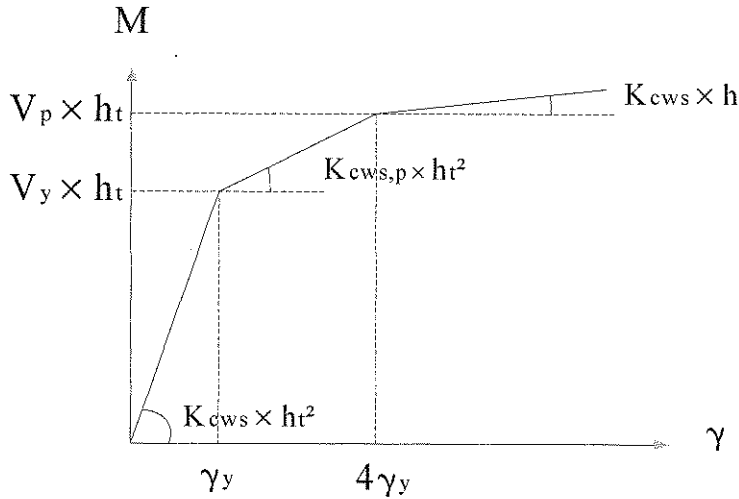
⁸ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 92'den faydalanarak çizilmiştir. [3]

kaynaklanan σ aksenal gerilmesinin kesme dayanımını azaltma etkisi 0,9 azaltma katsayısı ile dikkate alındı.ve Hencky Von Mises formülü şu hali aldı.

$$V_{cws,rd} = 0,9 \times \frac{A_{vc} \times f_{y,cw}}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mo}} \quad (2.16)$$

Azaltma katsayısının şartnamedeki değeri kolon aksenal kuvvetinin burkulma yükünün %45'ine ulaşıncaya dek güvenli tarafta kalıyor. Burada vurgulanması gereken bir kolonun deneyde veya pratikte belirli mertebede aksenal yüklemesi yoksa örneğin alçak yapılarda bu denklem panel bölgesinin dayanımını azda olsa küçük gösterebilir ve bağıntı aşırı güvenli tarafta kalmış olur.

Deneysel testler gösterdiği panel bölgesi uygun detaylandırıldığı taktirde belirgin akma sonrası dayanımı sergiledi (Slutter 1981 , Fielding and Huang 1971 Krawinkler et al 1971,1973) [3] Bu ek dayanım kolon flanşı ve süreklilik levhaları gibi komşu elemanların eğilmesine ve kolon flanşlarının tamamen eğilmesinden önce pekleşmenin kolon flanjının mafsallaşmasından sonrada gerçekleşmesi halinde panel bölgesinin trilineer (3 bölge) kırık çizgi) kesme kuvveti ve kesme deformasyonu davranış eğrisi model olarak kullanılabilir.(Krawinkler et al, 1971 1973)[3]



Şekil 2.8 Krawinkler ve diğerlerine ait üç parçalı lineer modelin sembolik gösterimi ⁹

Krawinkler modelinde panel bölgesindeki ilk akmaya karşılık gelen eğilme momenti

⁹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 94'den faydalanarak çizilmiştir. [3]

$$V_y \times h_t = \frac{f_y t_{pz} \times h_c \times h_b}{\sqrt{3} \beta} \quad (2.17)$$

Burada;

h_c : Kolon derinliği

h_b : Kiriş derinliğidir.

İlk akmaya karşılık gelen kesme birim uzaması aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\gamma_y = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times G} \quad (2.18)$$

Kesme etkisindeki kolon gövdesinin dönme rijitliği $K_{cws} \times h_t^2$,

$$K_{cws} \times h_t^2 = \frac{G \times h_c \times t_{pz} \times h_b}{\beta} \quad (2.19)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Burada ;

K_{cws} : Elasto plastik ve rijid plastik bileşenlerden oluşan mekanik modeldeki yayın eksenel rijitliğidir.

Krawinkler et al (1971,1973)'e göre [3] akmadan sonra panel bölgesinin açısal rijitliği kolon flanşının eğilmesi şeklinde nitelenebilir ve şöyle hesaplanır.

$$K_{cws,p} \times h_t^2 = \frac{24 \times E \times I_{fc}}{5 \times t_{fc}} \times \frac{1}{\beta} \quad (2.20)$$

Burada;

I_{fc} : kolon flanşının atalet momentidir ve değeri şu ifadeye karşılık gelir.

$$I_{fc} = \frac{b_c \times t_{fc}^3}{12} \quad (2.21)$$

Bu akma sonrası oluşan rijitlik kolon flanşının akmasına kadar devam eder ve buda panel bölgesinin kesme deformasyonuna uğramasına neden olur. Bu deformasyonda yaklaşık olarak $4 \gamma_y$ olarak öngörülebilir. Böylelikle bu deformasyona karşılık gelen moment de üç parçalı lineer grafikten şöyle ifade edilebilir.

$$V_p \times h_t = V_y \times h_t + 3 \times K_{cws,p} \times h_t^2 \times \gamma_y \quad (2.22)$$

Başka bir gösterim tarzıda şöyledir.

$$V_p \times h_t = V_y \times h_t \times \left(1 + \frac{3 \times \gamma_y \times K_{cws,p} \times h_t^2}{V_y \times h_t}\right) \quad (2.23)$$

Kayma birim uzamasının $\gamma_y = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times G}$, modüler oranın ;

$$\frac{E}{G} = 2 \times (1 + \nu) \quad (2.24)$$

olduğu hesaba katılırsa ve $V_y \times h_t$, $I \times f_c$ 'nin karşılıkları da dikkate alınırsa yukarıdaki eğilme momenti şöyle düzenlenebilir.

$$V_p \times h_t = V_y \times h_t \times \left(1 + 3,12 \frac{b_c \times t_{fc}^2}{h_c \times h_b \times t_{pz}}\right) \quad (2.25)$$

Kolon başlığının akması anlamına gelen bu dayanımın (direncin) oluşmasından sonra panel bölgesinin plastik rezervleri pekleşme etkisinden dolayı tükenmiş sayılmaz. Bu arta kalan dönme rijitliğide şöyle hesaplanabilir.

$$K_{cws,h} \times h_t^2 = \frac{E_h}{E} \times K_{cws} \times h_t^2 \quad (2.26)$$

Burada E_h malzemenin pekleşme modülüdür. Bu denklemler sonucunda kesme etkisindeki panel bölgesinin davranışı Krawinkler ve diğerlerinin oluşturduğu trilineer modelle temsil edilebilir. Burada kıyas açısından şunu not düşmenin faydası var. Bu eğilme momenti küçük bir sadeleştirmeye AISC-LRFD 1990 ve UBC (1994) gibi Amerikan yönetmeliklerinde de yer almıştır. Bu yönetmeliklere göre kesmeye maruz panel bölgesindeki plastik dayanım (direnc) şöyle ifade edilmiştir.

$$V_p = \varphi \times 0,6 \times f_y \times h_c \times t_{pz} \times \left(1 + \frac{3 \times b_c \times t_{fc}^2}{h_c \times h_b \times t_{pz}}\right) \quad (2.27)$$

AISC-LRFD'ye göre bu denklem N eksenel kuvvetinin burkulma yükünün %75'den küçük olması halinde geçerlidir. Eksenel kuvvet daha büyükse plastik dayanım aşağıdaki bağıntıdaki gibi azaltılır.

$$V_p = \varphi \times 0,6 \times f_y \times h_c \times t_{pz} \times \left(1,9 - \frac{1,2 \times N}{N_y}\right) \times \left(1 + \frac{3 \times b_c \times t_{fc}^2}{h_c \times h_b \times t_{pz}}\right) \quad (2.28)$$

V_p plastik dayanımının kolon flanjlalarının eğilmesindeki ek dayanımı dikkate aldığını yeniden vurgulamakta yarar var. Kiriş başlıkları hizasında süreklilik levhalarına sahip rijitleştirilmiş kirişlerde EC3 Annex J'de bir başka formülasyon önerilmiş. Aşağıdaki akma mekanizması baz alınarak çıkartılmış, rijitleştirmeden kaynaklanan kesme dayanımındaki artış şu şekilde hesaplanabilir.

$$\Delta V_{cws,rd} = \frac{4 \times M_{fc,rd}}{d_s} \quad (2.29)$$

Burada;

$M_{fc,rd}$: Kolon flanjinın plastik momenti

d_s : Süreklilik levhaları ağırlık merkezleri arasındaki mesafe

Eksenel gerilmesiz panel tasarım kesme dayanımı ile yukarıdaki bağıntı birleştirilirse moment kolu için $d_s = h_t$ kabul edilerek şu bağıntı elde edilir.

$$V_{cws,rd} = \frac{A_{vc} \times f_{ycw}}{\gamma_{Mo} \times \sqrt{3}} \times \left(1 + \frac{\sqrt{3} \times b_c \times t_{fc}^2 \times f_{y,cf}}{A_{vc} \times h_t \times f_{y,cw}}\right) \quad (2.30)$$

2.26 ve 2.29 bağıntıları iyi detaylandırılmış panel bölgesinin plastik kesme dayanımını tedarik etmeyi hedefliyor. İyi detaylandırılmışla kastedilen panel bölgesinin süreklilik levhaları ile rijitleştirilmesidir. İlginçtir ki $V_{cws,rd}$ ve V_p arasındaki oran kiriş ve kolon kesitleri arasındaki

seçime bağlıdır. Kiriş kesitleri IPE profilyiken $\frac{V_{cws,rd}}{V_p}$ oranı ortalama olarak kolon

HEA ise 1,13 , HEB ise 1,07 , HEM ise 0,97 oluyor.

Panel bölgesinin dönme rijitliği hakkında EC3, Krawinkler'in önerdiği

$K_{cws} \times h_t^2 = \frac{G \times h_c \times t_{pz} \times h_b}{\beta}$ denkleminde biraz farklı olan aşağıdaki formülasyonu

sunuyor.

$$K_{cws} \times h_t^2 = \frac{E}{2(1+\nu)} \times \frac{A_{vc} \times h_t}{\beta} \quad (2.31)$$

Böylelikle bileşenler metodu mekanik modelinin yay karşılığı olan eksenel rijitlik şöyle ifade edilir.

$$K_{cws} = \frac{G \times A_{vc}}{\beta \times h_t} = 0,38 \frac{E \times A_{vc}}{\beta \times h_t} \quad (2.32)$$

Kesmeye maruz kolon gövdesini güçlendirmek ve rijitleştirmek için diagonal levhalar kolon gövdesine kaynaklanabilir. Bu durumda ek dayanım şu şekilde hesaplanabilir.

$$\Delta V_{cws,rd} = A_{ds} \times f_{ys} \times \frac{d_c - t_{fc}}{L_d} \times X \quad (2.33)$$

$$L_d = \sqrt{(h_c - t_{fc})^2 + (h_b - t_{fc})^2} \quad (2.34)$$

Burada;

t_{fb} : Kiriş başlığının kalınlığı

L_d : Diagonal boyu

A_{ds} : Diagonal levhanın (rijitleştiricinin) alanı

f_{ys} : Diagonal levhanın akma gerilmesi

$X \leq 1$ diagonalin genel narınlığına bağlı burkulma katsayısıdır.

Panel bölgesindeki diagonal berkitmenin rijitleştirici etkisini dikkate alırken , paralel çalışan iki bileşenli bir model şeklinde düşünebiliriz. Birinci bileşen kolon gövdesinin kesmeye karşı rijitliği ise ikincisi mafsallı bir kafes sistem gibi çalışan diagonal berkitmenin rijitliğidir. Bu modele göre panel bölgesinin kesme rijitliği şöyle verilebilir.

$$K_{cws} = 0,38 \times \frac{E \times A_{vc}}{\beta \times h_t} \times \left(1 + \frac{E \times A_{ds} \times (h_c - t_{fc})^2}{L_d^3} \times \frac{\beta \times h_t}{G \times A_{vc}} \right) \quad (2.35)$$

2.3 Basınca maruz kolon gövdesi :

Bu bölüm üç kısımda incelenecek.

- 1) Ezilme dayanımı
- 2) Burkulma dayanımı
- 3) Başlangıç rijitliği

2.3.1 Ezilme dayanımı

Kolon gövdesi kiriş başlıklarından gelen tekil konsantre kuvvetlere maruzdur. Bu kuvvetler yatay normal gerilmeler oluştururlar. Bu gerilmeler de panel bölgesindeki kesme gerilmeleri ile ve kolon ucunda etkiyen eksenel kuvvet ve eğilme momentinden kaynaklanan düşey

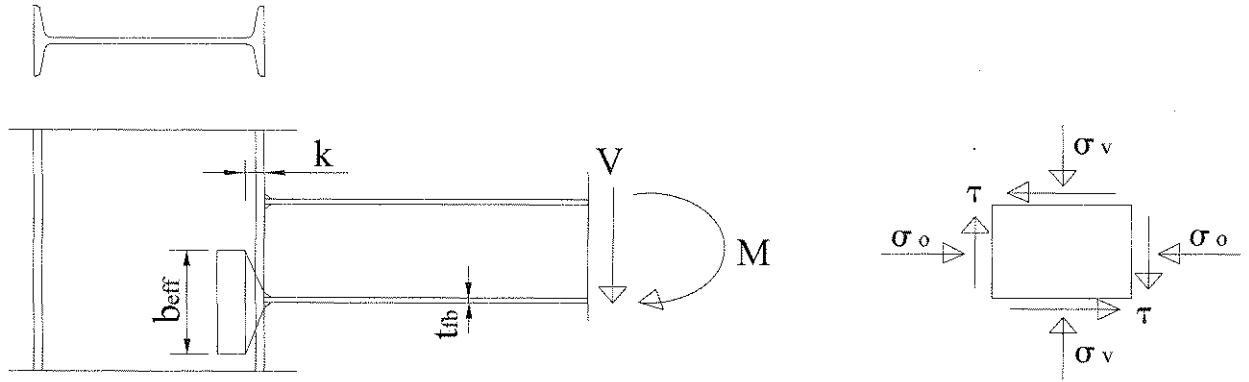
normal gerilmelerle etkileşime girer. Bu yüzden basınca maruz kolon gövdesinin tasarım dayanımı sadece kiriş başlığından kolon başlığına ve bitişindeki eğrisel bölgeye aktarılan bir kuvvet yayılımından ibaret değil ayrıca yerel (lokal) gerilmeler arasındaki etkileşime de bağlıdır. Bu yerel gerilme dağılımları kolon gövde panelinin ezilmesini arttırabilir veya burkulmasını sağlayabilir. Basınca maruz kolon gövde panelinin ezilme dayanımını öngörme kriteri bu bölümde incelenecek. Burkulma dayanımı ise bir sonraki bölümde araştırılacak.

AISC-LRFD (1990) gibi bazı şartnameler basınca maruz kolon gövdesinin dayanımını hesaplarırken yukarıda bahsedilen yerel gerilme etkileşimlerini ihmal ediyor.

$$F_{cwc,rd} = \Phi \times f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \quad (2.36)$$

Burada $b_{eff,cwc}$ basınç etkisindeki kolon gövdesinin etkili genişliği öyleki kiriş basınç flanjından aktarılan kuvvetin yayılmasını hesaba katıyor. (Witteven et al,1982) [3]

$$b_{eff,cwc} = t_{fb} + 5k \quad (AISC 1989) \quad (2.37)$$



Şekil 2.9 $b_{eff,cwc}$ 'nin bileşenleri ve basınç bölgesindeki gerilmeler¹⁰

Burada k hadde profillerde kolon başlığının dış yüzünden iç eğrisel köşe ayağına olan uzaklığı, kaynaklı yapma kesitlerde de ileride söz edilecek eşdeğer bir uzaklık alınır.

Lokal gerilmelerin etkisini işin içine katmak üzere öncelikle τ kayma gerilmesini hesaba katacak şekilde 2.35 denklemi yeniden düzenlenecek. Şimdilik düşey normal gerilme σ_v 'nin

¹⁰ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 97'den faydalanarak çizilmiştir. [3]

etkisi ihmal edilecek. Hencky von Mises akma kriterine göre aşağıdaki koşul sağlanırsa kesme ve basınç altında kolon gövdesinde local akma gerçekleşecek.

$$\left(\frac{F}{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}\right)^2 + 3 \times \left(\xi \times \frac{\beta \times F}{A_{vc}}\right)^2 = f_y^2, cw \quad (2.38)$$

Burada $\xi \leq 1$ katsayısı panel bölgesindeki kayma gerilmelerinin dağılımını gösteriyor. Daha öncede (Tsai ve Popov 1988)'de [3] belirtildiği gibi panelin orta kısmı max gerilmeye maruz kalırken kenarlara doğru azalıyor. Böylelikle basınca maruz panel bölgesindeki local (kolon başlığı yakınındaki) kayma gerilmesi ki bu yük basınç başlığından aktarılıyor ortalama gövde paneli kesme gerilmesinden daha az olduğu söylenebilir. Tsai ve Popov'un gerçekleştirdiği numerik simülasyonları baz alınarak $\xi=0,8$ değeri öneriliyor. 2.37'teki akma koşulundan şu bağıntıya ulaşılır.

$$F_{cwc,rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \times \rho}{\gamma_{Mo}} \quad (2.39)$$

Burada değeri $\rho \leq 1$ olan ve kesme etkileşimini dikkate alan bu katsayı şuna eşittir.

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2\right]^{1/2}} \quad (2.40)$$

Denklem 2.38 kolondaki eksenel kuvvet ve momentten kaynaklanan düşey normal gerilmenin (σ_v) etkisini hesaba katmıyor. σ_o , σ_v , τ gerilmeleri arasındaki bütünsel etkileşimi dikkate alan akma kriteri şu şekilde ifade edilir.

$$\left(\frac{F}{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}\right)^2 + \sigma_v^2 - \frac{F}{b_{eff,cwc} \times t_{wc}} \times \sigma_v + 3 \times \left(\xi \times \frac{\beta \times F}{A_{vc}}\right)^2 = f_y^2, cw \quad (2.41)$$

Burada normal gerilmeler basınç durumunda pozitif (+) değerini alır. Basınç bölgesindeki normal ve kesme gerilmelerinin (+) işaretleri şekil 2.9'da gösterilmişti. Sonuç olarak en genel ifadeyle basınca maruz kolon gövdesinin tasarım dayanımı $F_{cwc,rd}$ kiriş basınç başlığından aktarılan F kuvvetini ve denklem 2.40'ı dikkate alarak elde edildi.

$$F_{cwc,rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \times \rho \times k_{cwc}}{\gamma_{Mo}} \quad (2.42)$$

Burada düşey normal gerilmenin etkisini de dikkate alan faktör;

$$k_{cwc} = \frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} + \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.43)$$

Burada şunu not düşmek önem arz ediyor. Denklem 2.42'ye göre k_{cwc} 1'den büyük değerlerde alabiliyor. Bu da demek oluyor ki bazı durumlarda iki eksenli gerilme halinin basınca maruz kolon gövde dayanımına faydalı etkisi oluyor. Kiriş flanjından yayılan kuvveti karşılayan basınca maruz etkili kolon gövde genişliği daha önce $b_{eff,cwc} = t_{fb} + 5k$ (AISC 1989)'a göre verilmişti. EC3 Annex J (CEN, 1997)'de bunun farklı bir ifadesi kullanılıyor.

$$b_{eff,cwc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5k \quad (2.44)$$

Burada $k = t_{fc} + r_c$ hadde profillerde,

$k = t_{fc} + \sqrt{2} \times a_c$ ise kaynaklı yapma kirişlerde kullanılır.

a_c : Kolonda gövde başlık arası kaynak kalınlığı

a_b : Kiriş başlığını kolon başlığına bağlayan kaynak kalınlığıdır.

Denklem 2.43 kiriş başlığından çıkan kuvvetin 2.5/1 oranında kolon başlık kalınlığına ve gövde başlık birleşim noktasına dağıldığı varsayımıyla elde edildi. Bu deneylerle (Aribert ve Lachel, 1977; Aribert et al., 1990) [3] gözlenmiş değer kiriş başlık kalınlığından bağımsız kabul edilebilir.(Aribert et al., 1991) [3] Şunu belirtmek faydalı olacak ki EC3 Annex J kısmında basınca maruz panel bölgesindeki local gerilmelerin arasındaki etkileşimi dikkate aldığı halde ρ ve k_{wc} katsayılarını teorik olarak çıkarmadan kullanmıştır. Panel bölgesindeki kesme etkileşimini dikkate alan ρ , Jaspart et al.(1995)'in [3] önerdiği şu bağıntıyla hesaplanabilir.

$$0 \leq \beta \leq 0,5 \quad \text{için} \quad \rho = 1 \quad (2.45)$$

$$0,5 \leq \beta \leq 1 \quad \text{için} \quad \rho = \rho_1 + 2(1-\beta)(1-\rho_1) \quad (2.46)$$

$$1 \leq \beta \leq 2 \quad \text{için} \quad \rho = \rho_1 - (\beta-1)(\rho_2-\rho_1) \quad (2.47)$$

$$\text{Burada } \rho_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \times (b_{eff,cwc} \times t_{wc} / A_{vc})^2}} \quad (2.48)$$

$$\rho_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \times (b_{eff,cwc} \times t_{wc} / A_{vc})^2}} \quad (2.49)$$

Kolondaki normal gerilme etkileşimini dikkate alan k_{cwc} katsayısına gelince Zoetemeijer (1975)'e [3] göre şu şekilde hesaplanabilir.

$$k_{cwc} = 1,25 - 0,5 \times \frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \leq 1 \quad (2.50)$$

Dikkat edilmesi gereken nokta EC3 (CEN, 1997)'te de önerilen bu bağıntı iki eksenli basınç gerilmesi halinde kolon panelinin muhtemel burkulmasını da gözetiyor. (Guisse and Jaspart, 1995; Zoetmeijer, 1975) [3] Basınca maruz kolon gövdesi gövde takviye levhalarıyla bir taraftan güçlendirilirse EC3'e göre efektif gövde kalınlığı gövdenin bir buçuk katı ($1,5 \times t_{wc}$) , iki taraftan güçlendirilirse gövdenin iki katı alınır. ($2 \times t_{wc}$) Son olarak kiriş başlığı kalınlığında kiriş başlığıyla aynı çelik kalitesinde ve levha dış kenarları kiriş başlığınıninkilerle aynı hizada süreklilik levhaları kullanıldığında basınca maruz kolon gövdesi birleşim rijitliğine bir sınırlama koymuyor.

2.3.2 Burkulma dayanımı

Bir önceki kısımda bahsedildiği gibi basınca maruz kolon gövdesi ezilme ve burkulma sonucu devre dışı kalabilir. Basınca etkisindeki kiriş başlığından aktarılan basınç kuvvetini karşılayan panel bölgesinin ilgili kısmı yalnızca bu yatay basınç kuvveti etkisinde değildir. Aynı zamanda kesme gerilmeleri ve düşey normal gerilmeler etkisindedir. Bu local gerilmeler arasındaki etkileşim kolon gövdesinin sadece ezilme dayanımını değil burkulma dayanımını da etkiler. Ezilmeye kıyasla burkulma durumunda local gerilmeler arasındaki etkileşim daha karmaşıktır bu yüzden yaklaşık olarak hesaplanır. AISC'nin genel hükümlerine göre $F'_{cwc,rd}$ burkulma dayanımı şu şekilde hesaplanabilir.

$$F'_{cwc,rd} = \phi \times 10765 \times \frac{t_{wc}^3}{d_{wc}} \times \sqrt{f_{y,cw}} \quad (2.51)$$

Burada d_{wc} kolon gövdesinin net derinliğidir . Birimler Newton ve mm olarak alınır.

Denklem 2.50 Chen ve Newlin tarafından 1973'te [3] tek eksenli basınç gerilmesi altında basit mesnetlenmiş , etkili alan olarak kolon gövde plakası baz alınmış bir deneyden amprik olarak elde edilmiştir. Kolon gövdesinin basınç altında stabilite kontrolünün yapılmasının gerekliliği bir çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Aribert et al.,1990; Aribert and Moheissen, 1991; Faella et al., 1995; Jaspert et al.,1995).[3] Winter'in klasik bağıntısının kullanılması öneriliyor.

$$F'_{cwc,rd} = F_{cwc,rd} \times \left[\frac{1}{\bar{\lambda}} \times \left(1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}} \right) \right] \leq F_{cwc,rd} \quad (2.52)$$

Bu bağıntı $\bar{\lambda} > 0,67$ için kullanılıyor. $F_{cwc,rd}$ daha önce verilen

$$F_{cwc,rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \times \rho \times k_{cwc}}{\gamma_{Mo}} \text{ denkleminde hesaplanır. } k_{cwc} \text{ değerleri de}$$

daha önce verilen $k_{cwc} = 1,25 - 0,5 \times \frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \leq 1$ denkleminde elde edilir.

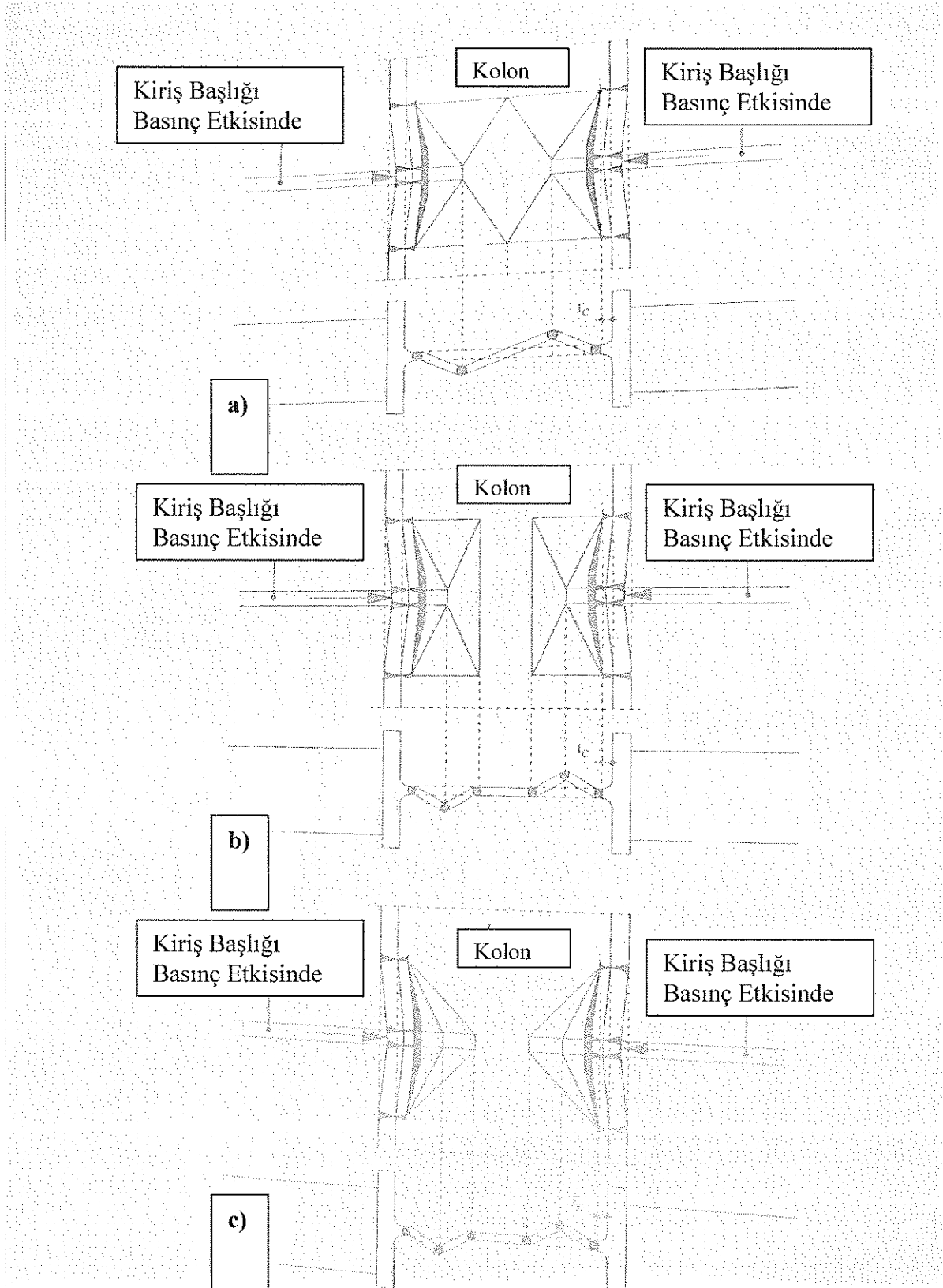
$\bar{\lambda}$ narinliği ise şu bağıntılardan hesaplanır.

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc} \times f_{y,cw}}{F_{cr}} \right)^{1/2} \quad (2.53)$$

$$F_{cr} = \frac{\pi \times E \times t_{wc}^3}{3 \times (1 - \nu^2) \times d_{wc}} \quad (2.54)$$

Görülebileceği üzere $\bar{\lambda} < 0,67$ değerleri $F'_{cwc,rd} = F_{cwc,rd}$ eşitliğine götürür.

Basınca maruz kolon gövdesinin burkulma dayanımını araştırmaya alternatif bir yaklaşımda deneysel testlerle gözlenebilen akma modlarını temsil edebilen akma çizgileri modellerini analiz etmektir. Simetrik yüklenmiş (panel bölgesi kesmeye maruz olmayan) iç düğüm noktalarında akma çizgileri modeli şekil 2.10'daki gibi göz önüne alınabilir. Kolon gövdesinin burkulmasına neden olan minimum konsantre yükün değeri 2.10-a)'dan elde edilmiştir.



Şekil 2.10 Kolon gövdesinin basınç bölgesi için akma çizgileri modeli (Aribert et al.,1990)¹[3]

¹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 102'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Basınca maruz kolon gövdesinin local burkulmasına neden olan limit yükü öngören Winter formülü bu bahsedilen akma çizgileri modelleriyle doğrulanmıştır.(Aribert et al.,1990)[3] Winter formülünü bir başka doğrulama çalışması da IPE, IPEA, HEA, HEAA ve HEB gibi hadde profilleriyle yapılan deney sonuçlarıyla bağıntının kıyaslanması şeklinde olmuştur (Aribert et al.,1990; Aribert and Moheissen, 1991).[3] Bu standart tip profiller kullanıldığında

$$\text{daha önce belirtilen } F'_{cwc,rd} = F_{cwc,rd} \times \left[\frac{1}{\lambda} \times \left(1 - \frac{0,22}{\lambda} \right) \right] \leq F_{cwc,rd} \quad \text{ve}$$

$$F_{cwc,rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \times \rho \times k_{cwc}}{\gamma_{Mo}} \quad \text{formülleri basınca maruz kolon gövdesinin dayanımını}$$

öngörmede iyi sonuçlar veriyor. Buna mukabil kolon giriş birleşimleri için HEM serisinden kolon kesitleri kullanılarak Braun'un yaptığı testlerin sonuçlarından ve SERICON data bankasının sonuçlarından (Weinand, 1992) [3] basınca maruz kolon gövdesi dayanımının olduğundan daha fazla bulunduğu tespit edildi. Bu muhtemelen kolon kesit geometrik özelliklerinin (t_{fc} , r_c) efektif genişlik değeri üzerindeki etkisinden kaynaklanıyor olmalı. Bu fenomeni dikkate almak için Faella et al., 1995 [3] tarafından kolon gövdesinin burkulma dayanımını hesaplamak üzere, kolon flanşının elastik yaylarla mesnetlenmiş bir giriş gibi modellenerek hesaplanmasına dayanan , etkili kolon gövdesi değeri önerildi. Bu modeldeki yaylar klasik Winkler hipotezine göre kolon gövdesinden kaynaklanan tutma etkisini temsil ediyordu. Bu sadeleştirilmiş modele dayanarak burkulma dayanımı için etkili genişliği hesaplayan şu bağıntı elde edilmiş oldu:

$$b_{eff,cwc}^* = t_{fb} + 2\sqrt{2} \times a_b + 2 \times \left[\bar{\psi} \left(\frac{d_{wc} \times b_{fc}}{3t_{wc} \times t_{fc}} \right)^{1/4} \right] \times k \quad (2.55)$$

Burada $k = t_{fc} + r_c$ hadde profillerde

$k = t_{fc} + \sqrt{2}a_c$ kaynaklı yapma kesitlerde kullanılan değerlerdir.

a_c = kolon gövde flanşı arasındaki kaynak kalınlığı

$\bar{\psi}$ = kolon gövdesinin mesnetlemesine bağlı bir azaltma katsayısı. Eldeki deney sonuçlarına dayanarak bu değer 0,75 olarak öneriliyor.

Basınca maruz kolon gövdesinin dayanımı için yapılan bu özel testler HEM kesitleriyle sınırlı olduklarından bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç var. Bu mukabil 2,54'teki köşeli parantez içindeki ifadenin ortalama değeri HEA kesitleri için 2,67 , HEB kesitleri için 2,34 olduğunu burda not düşmek yerinde olur ve böylelikle 2.54'ün sağladığı efektif genişlik

EC3'ün önerdiğine daha önce verilen $b_{eff,cwc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5k$ efektif genişliğine yaklaşıp. Diğer yandan HEM kesitleri için yukarıdaki parametre için ortalama değer 1,81 değerine eşit olur.

2.3.3 Başlangıç rijitliği

Basınca maruz kolon gövdesinin Şekil 2.2'deki yay modelindeki eksenel rijitliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$K_{cwc} = E \times \frac{b'_{eff,cwc} \times t_{wc}}{d_{wc}} \quad (2.56)$$

Burada rijitlik için hesaplanan $b'_{eff,cwc}$, dayanım için hesaplanan $b_{eff,cwc}$ 'den farklıdır.

Basınca maruz kiriş başlığından 45° lik açıyla yayılan kuvvete ait etkili genişlik aşağıdaki gibidir.

$$b'_{eff,cwc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 2k \quad (2.57)$$

Bu bağıntı Tschemmernegg ve Humer(1988a, 1988b) [3] tarafından da önerildi. Buna mukabil EC3 Annex J'de rijitlik için kullanılacak etkili genişlik $b'_{eff,cwc}$, dayanım için kullanılan etkili genişliğin % 70'i olarak alınmıştır.

$$b'_{eff,cwc} = 0,7 \times b_{eff,cwc} \quad (2.58)$$

Basınca maruz kolonun etkili gövde kalınlığı daha öncede vurgulandığı gibi bir takviye levhası varken $1,5t_{wc}$ iki levha varken $2t_{wc}$ olur.(CEN, 1997)

Son olarak süreklilik levhaları kullanılırken basınca maruz kolon gövdesinin deformasyonu azalır. Bu durumda süreklilik levhalarının rijitliği, rijitleştirilmemiş kolon gövdesine eklenir.

2.4 Çekmeye Maruz Kolon Gövdesi

2.4.1 Dayanım

Çekmeye çalışan giriş başlığından gelen konsantre tekil yükün kolon gövde panelinin çekme bölgesinde oluşturduğu lokal gerilmelerin dağılımı basınç bölgesindeki benzerdir. Bu lokal gerilmeler arasındaki etkileşim EC3 Annex J'de yalnız kesme kuvvetinin kuvvet taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi dikkate alınarak şu formülle ifade edilmiştir.

$$F_{cwt,Rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwt} \times \rho}{\gamma_{Mo}} \quad (2.59)$$

Burada $b_{eff,cwt} = b_{eff,cwc}$

2.58 deki formül 2.38 gibi σ_v düşey normal gerilmesini dikkate almıyor. Bunun için Hencky Von Mises akma kriteri basınç bölgesine uygulandığı gibi kullanılabilir. Yalnız bu sefer σ_o çekme gerilmesi olduğundan basınç gerilmesi olan σ_v den farklı işarete sahip:

$$\left(\frac{F}{b_{eff,cwt} \times t_{wc}}\right)^2 + \frac{F}{b_{eff,cwt} \times t_{wc}} \times \sigma_v + 3 \times \left(\xi \times \frac{\beta \times F}{A_{vc}}\right)^2 = f_y^2 \quad (2.60)$$

Bu denklemden gösterilebilirki çekmeye maruz kolon gövdesinin tasarım dayanımı şu bağıntıyla hesaplanabilir.

$$F_{cwt,Rd} = \frac{k_{cwt} \times t_{wc} \times b_{eff,cwt} \times \rho \times f_{y,cw}}{\gamma_{Mo}} \quad (2.61)$$

Burada $b_{eff,cwt} = b_{eff,cwc}$

ρ daha önce belirtilen $\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2\right]^{1/2}}$ formülüyle hesaplanır.

k_{cwt} , 2.42 bağıntısının ilk terimi eksili olarak , şu bağıntıyla ifade edilir.

$$k_{cwt} = -\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} + \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}}\right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}}\right)^2\right]^{1/2} \quad (2.62)$$

EC3'e göre takviye levhalarıyla güçlendirilmiş çekmeye maruz gövde panelinin çekme dayanımı bu levhaları kolon gövdesine bağlayan boyuna kaynağın kalınlığına bağlıdır. Eğer bu boyuna kaynaklar kaynak kalınlığı takviye levhasından fazla olan tam nüfuziyetli küt kaynak ise çekmeye maruz kolon gövdesinin etkili kalınlığı basınca maruz kolon gövdesinde olduğu gibi tek levha için $1,5t_{wc}$ iki taraflı takviye için $2t_{wc}$ kabul edilir. Eğer bu boyuna kaynaklar kaynak kalınlığı $\frac{t_s}{\sqrt{2}}$ ise yani levhaya bitişik kaynak kenarı yüksekliği levha derinliğinden fazlaysa çekmeye maruz kolon gövdesi etkili derinliği S235, S275, S355 çelikleri için $1,4t_{wc}$, S420 ve S460 çelikleri için $1,3t_{wc}$ alınır. Burada t_s : takviye levhası kalınlığıdır. Tıpkı basınca maruz durumdaki gibi kalite ve kalınlık açısından uygun süreklilik levhaları kullanılan çekmeye maruz kolon gövdesi, birleşim eğilme rijitliğini kısıtlayıcı bir bileşen olmaktan çıkar.

2.4.2 Başlangıç rijitliği

Çekme maruz kolon gövdesinin başlangıç rijitliği için basınca maruz kolon gövdesinin ilgili formülleri uyarlanabilir.

$$K_{cwt} = E \times \frac{b'_{eff,cwt} \times t_{wc}}{d_{wc}} \quad (2.63)$$

$$b'_{eff,cwt} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 2k \quad (2.64)$$

Burada daha önce belirtildiği gibi $k = t_{fc} + r_c$ hadde profillerde

$k = t_{fc} + \sqrt{2}a_c$ ise kaynaklı yapma kesitlerde kullanılan değerlerdir.

Kolon gövdesinin takviye levhaları ile güçlendirildiği durumda 2.62 denklemi efektif gövde kalınlığı çekmeye maruz gövdedeki gibi alınarak kullanılır.

Süreklilik levhalarının kullanımında ise basınca maruz kolon gövdesinde açıklandığı gibi bu levhalar kullanıldığında çekmeye maruz kolon gövdesindeki deformasyonlar azalıyor ve bu durumda süreklilik levhalarının rijitliği , henüz rijitleştirilmemiş kolon gövdesinin rijitliğine eklenmelidir.

2.5 Yerel Gerilme Etkileşiminde Dikkat Edilecekler

Önceki bölümlerde kolon panel bölgesindeki gerilme durumunun lokal gerilmeler arasındaki etkileşimlerden dolayı karmaşık olduğu vurgulanmıştı. Basınca ve çekmeye çalışan kiriş

flanjinaya komşu kolon gövdesinin basınç ve çekme alanları , kiriş flanjından aktarılan konsatire kuvvetler nedeniyle σ_o normal gerilme etkisinde ,kolon eksenel kuvvet ve momentinden kaynaklanan σ_v düşey normal gerilme etkisinde ve birde τ kayma gerilmesi etkisindedir. Kolon gövdesinin dizayn ezilme dayanımı ve dizayn çekme dayanımı daha önce verilen 2.41 ve 2.60 denklemlerinden de görüleceği üzere örtüşüyor ve aşağıdaki formda ifade edilebilir.

$$F_{rd} = \frac{k_{cw} \times t_{wc} \times b_{eff} \times \rho}{\gamma_{Mo}} \quad (2.65)$$

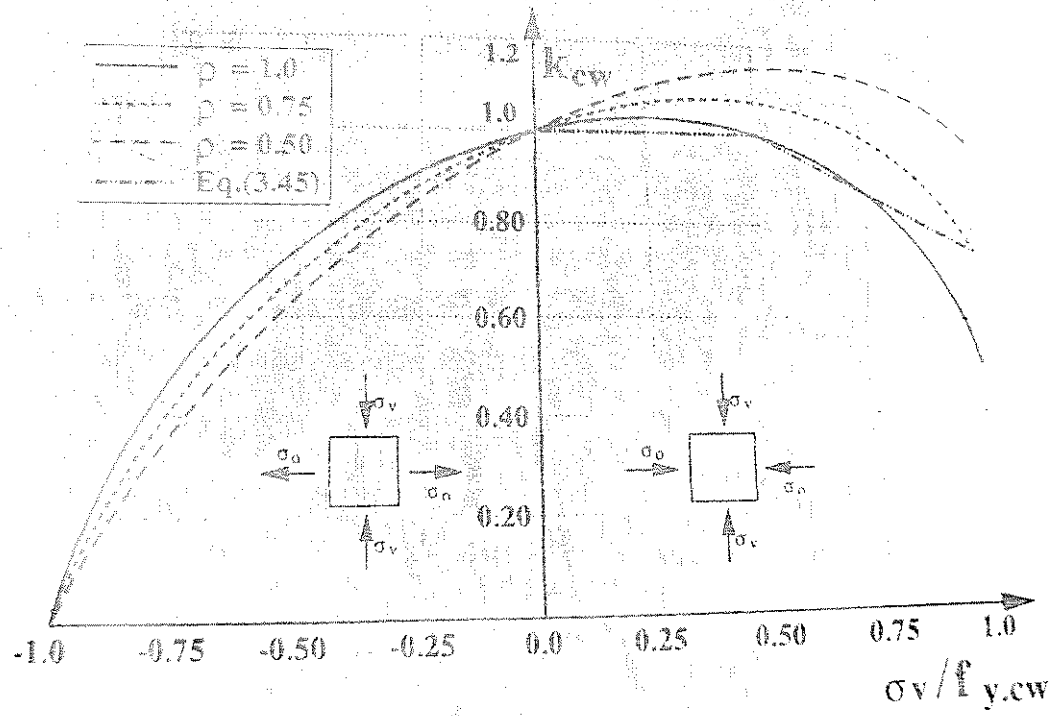
Burada etkili genişlik $b_{eff} = b_{eff,cwc} = b_{eff,cwt}$ olur.

$$k_{cw} = \pm \frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} + \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.66)$$

Kesme etkileşimini dikkate alan ρ daha önce verildiği gibi;

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

σ_o ve σ_v aynı işaretli olduklarında k_{cw} bağıntısında ilk terim (+), farklı olduklarında ilk terim (-) olarak kullanılır. Daha önce vurgulandığı gibi bazı yönetmeliklerde σ_o ve σ_v gerilme etkileşiminin panel çekme bölgesinde dikkate alınmamasına ramen 2.65 denklemi tasarım açısından bu etkileşimin önemli olabileceğini gösterdi. Şöyleki ρ vasıtasıyla kesme etkisinin şiddeti ve σ_o ve σ_v nin işaretlerine bağlı olarak k_{cw} , 1'den küçük değerler alabiliyor.Bu şekil 2.11'de açıkça görülüyor.



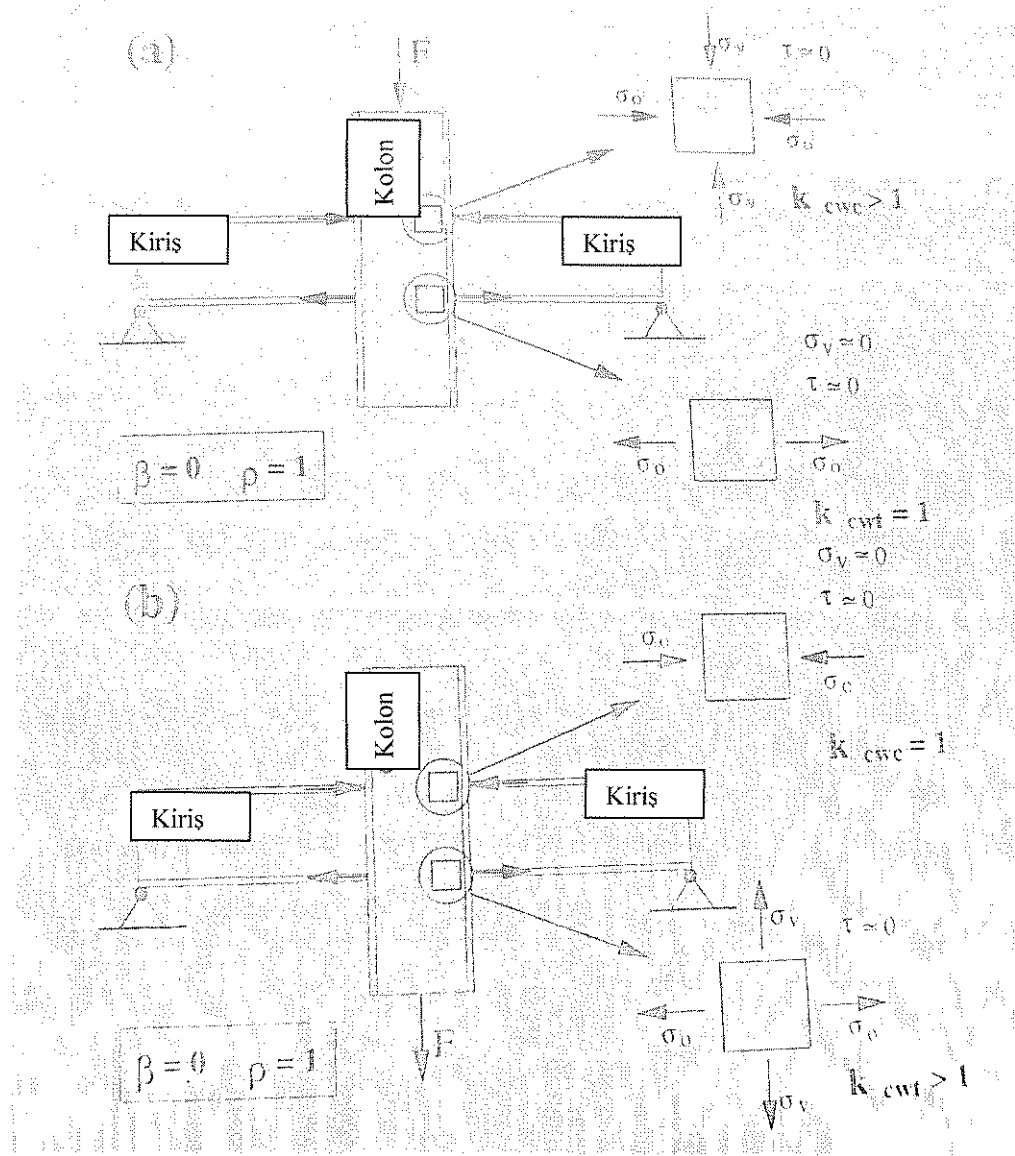
Şekil 2.11 Düşey normal gerilmenin ve kesme etkileşiminin dayanım faktörüne etkisi¹¹

Burada k_{cw} , ρ 'nun ve $\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}}$ 'nin bir fonksiyonu olarak verildi.

Burada σ_o , σ_v ve τ arasındaki etkileşim dolayısıyla bir çok durumda yük taşıma kapasitesindeki azalma ($k_{cw} < 1$) görülüyor.

Yukarıdaki sonuçların ışığında hem laboratuvar örneklerinde hemde gerçek binalarda ortaya çıkan bu gerilme etkileşimlerinin hangi yapısal durumlarda hesaplanması gerektiğine dikkati çekmek önem arz ediyor. Şekil 2.12'de yapımı muhtemel panel bölgesi kesmeye maruz olmayan ($\beta=0$ ve $\rho=1$) iki kolon kiriş birleşimi modelini göstermektedir.

¹¹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 107'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]



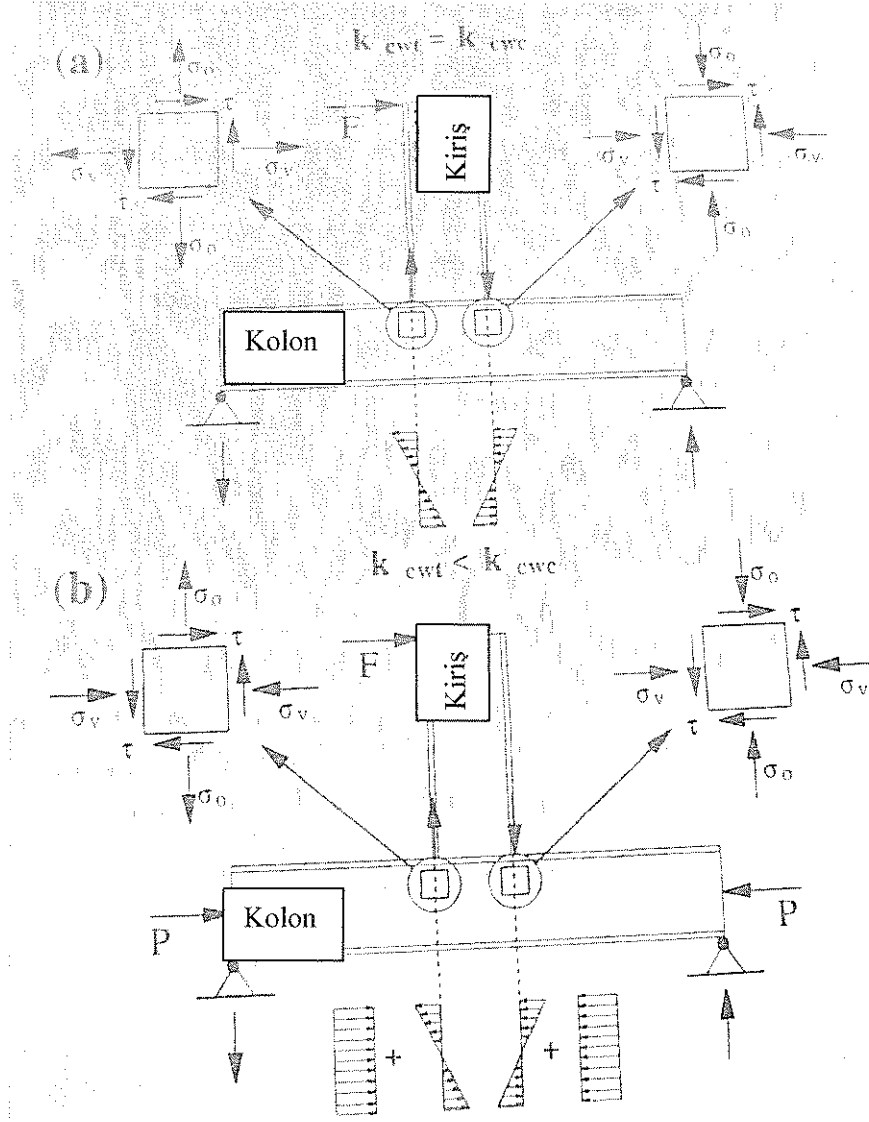
Şekil 2.12 Panel bölgesi kesmeye maruz olmayan modeller¹²

Birinci durumda 2.12 (a) basınç maruz kolon gövdesindeki yerel gerilme dağılımı aynı işarete sahip σ_0 ve σ_v gerilmeleriyle belirleniyor ve bu şekilde $k_{cwc} > 1$ oluyor. Buna ek olarak şekil 2,12a' nın sağ alt köşesinde çekmeye maruz kolon panelinde iki eksenli gerilme hali ihmal edilebilir ($\tau=0$ ve $\sigma_v=0$) Bu da kolon gövdesinin ezilme dayanımının çekme dayanımından fazla olduğu anlamına gelir. Bu nedenle eğer basınç dolayısıyla kolon gövdesi işlevini yitirirse bu durumdan yalnız burkulma sorumlu tutulabilir. Şekil 2.12 deki durum bileşenlerin k_{wc} değerleri açısından yer değiştirmeleri haline karşılık geliyor. Burada da çekme bölgesindeki σ_0 ve σ_v lokal gerilmeleri (çekme olmak üzere) aynı işaretlidir. (Yani

¹² Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 108'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

dayanım değiştirme faktörü $k_{wc} > 1$) Basınç bölgesinde iki eksenli gerilme hali ihmal edilebilir; böylelikle $k_{wc} = 1$. Bu durumda kolon gövdesinin işlevini yitirmesi ya ezilmeyle ya da burkulmayla alakalıdır. Bununla beraber bu durumda çekmeye maruz kolon bileşenindeki dayanım basınca maruz bölgeden fazla olduğundan çekmede bileşen güvenli tarafta kalır.

Şekil 2.13 deneylerde sıkça kullanılan panel bölgesi kesmeye maruz iki dış kolon kiriş birleşimi modelini göstermektedir.



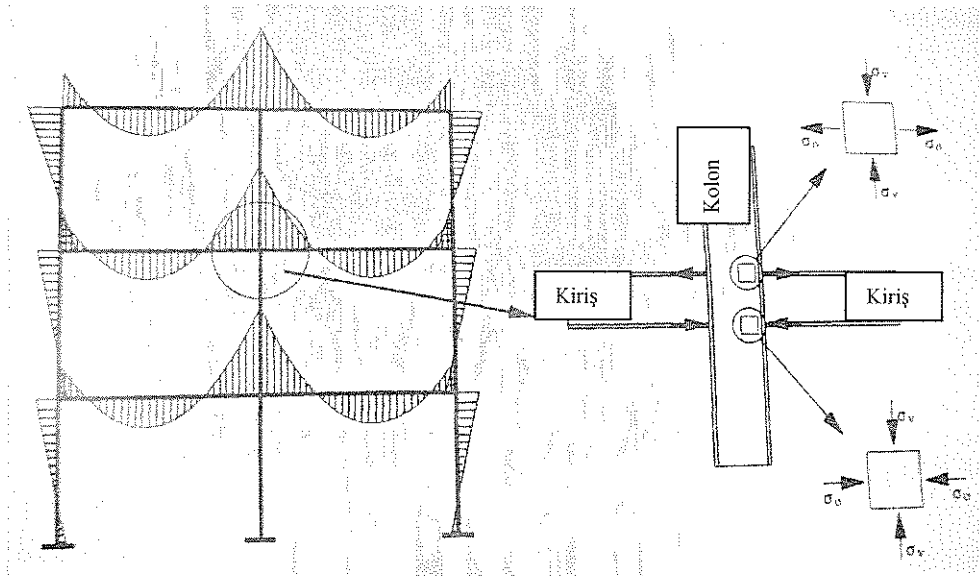
Şekil 2.13 Panel bölgesi kesmeye maruz modeller¹³

Birinci durum olan şekil 2,13(a)'da σ_o ve σ_v normal gerilmeleri çekme ve basınç bölgelerinde aynı işarete sahipler böylelikle $k_{cwc} = k_{cwt}$ olur. Bunun sonucu olarak basınca maruz panel

¹³ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 109'dan faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

bölgesinin ezilme dayanımı çekme bölgesinin dayanımıyla örtüşüyor. Buna mukabil basınca maruz kolon gövdesinin devre dışı kalması burkulma dolayısıyla gerçekleşebilir. Şekil 2.13b'deki ikinci durumda kolondaki eksenel kuvvetten dolayı basınç bölgesinde σ_o ve σ_v gerilmeleri aynı işarete sahipler çekme bölgesinde de ters işaretlere sahiptirler. Ancak σ_v gerilmesinin şiddeti kolon eğilme momentinin eş zamanlı tesiriyle azalır. Bu durumda çekmeye maruz kolon gövdesinin dayanımı basınca maruz kolon gövdesinin ezilme dayanımından az olur.

Yukarıdaki söylenenleri özetlemek gerekirse labaratuvardaki örneklerden çekmede devre dışı kalabilecek kolon gövdeleri şekil 2.12a ve 2.13b de verilmiştir ve sadece 2.13b'deki modelde çekmeye karşı kolon gövdesinin dayanımı σ_o , σ_v ve τ gerilmelerinin etkileşiminden etkilenmiştir. Bu deney sonuçlarına dayanarak Witteveen et al., 1982 deki lokal gerilme etkileşimi etkileri ihmal edilebilir düzeydedir yargısının nedeni açıklığa kavuştu. Öte yandan gerçek yapılardaki kiriş kolon birleşimlerindeki lokal gerilme dağılımları labarotuvarda ortamından elde edilen sonuçlardan oldukça farklı olabilir. Örnek olarak yalnızca düşey yüklere maruz bir yapıda (şekil 2.14) kolon gövdesindeki çekme bölgesi farklı işarete σ_o , σ_v normal gerilmelerine maruz ve σ_v gerilmesi de hatırı sayılır bir değerdedir. Bu durumda denklem 2.60 ve 2.61'e göre iki eksenli gerilme halinin bu birleşime ait çekmeye maruz kolon panel dayanımında belirgin bir etkisi var.

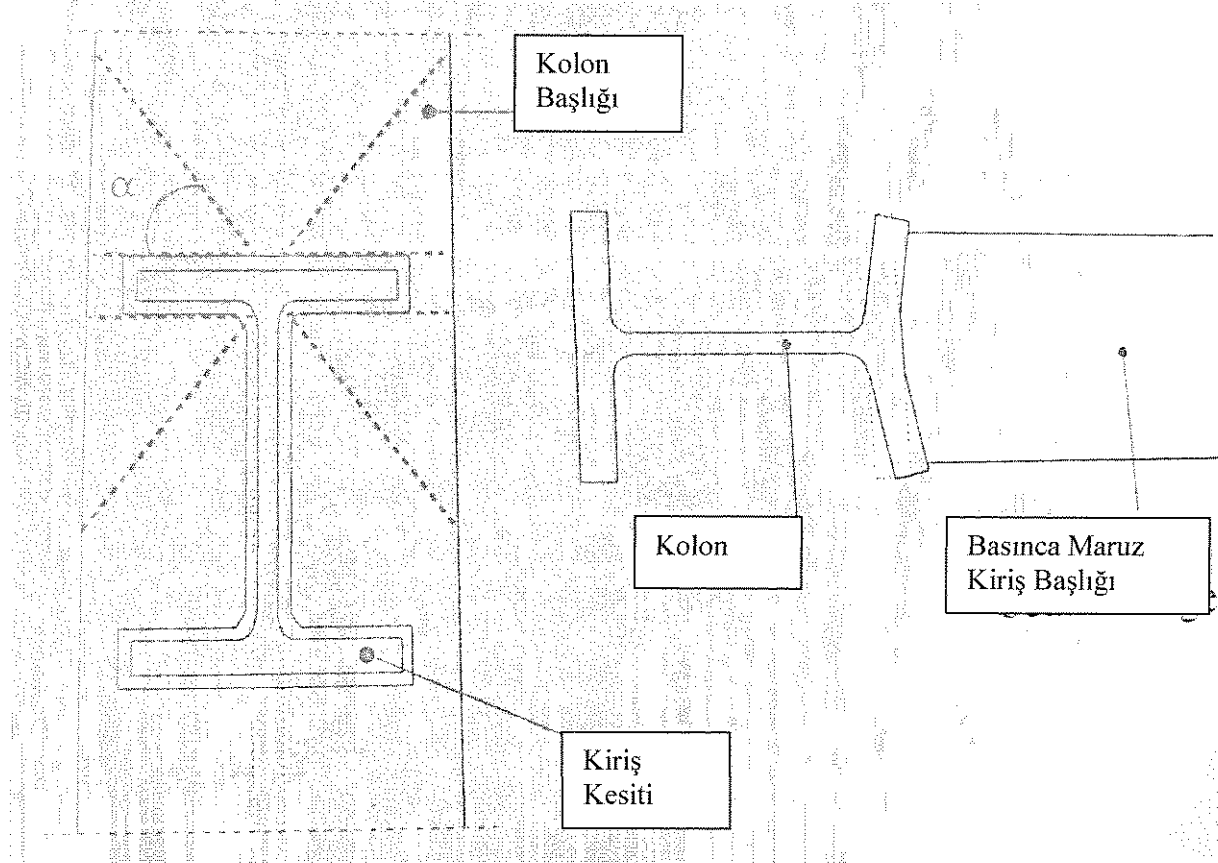


Şekil 2.14 Panel bölgesi kesmeye maruz olmayan modeller¹⁴

¹⁴Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 110'dan faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

2.6 Eğilmeye Maruz Kolon Başlığı

Süreklilik levhaları olmayan birleşimlerde, birleşimin eğilme rijitliği kolon başlıklarının lokal eğilmelerine bağlı olabiliyor. Bu lokal eğilmeler kolon başlıklarının akmasıyla sonuçlanabilir. Kiriş başlıkları tarafından aktarılan kuvvet iki kısım tarafından karşılanıyor. İlk kısım $t_{wc} + 2r_c$ kalınlığındaki orta bölge tarafından, ikinci kısım ise aşağıdaki şekilde akma mekanizması oluşturacak şekilde kolon başlıklarından karşılanıyor.



Şekil 2.15 Eğilmeye maruz kolon başlığının akma mekanizması¹⁵

Sonuç olarak eğilmeye maruz kolon başlığından aktarılabilen toplam kuvvet şöyle ifade edilir. (Witteven et al.,1982) [3]:

$$F_{cfb} = f_{y,bf} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2 \times r_c) + 7 \times t_{fc}^2 \times f_{y,cf} \quad (2.67)$$

Bu bağıntıdaki $7 \times t_{fc}^2 \times f_{y,cf}$ terimi şekil 2.15 teki akma mekanizmasından deneysel olarak tespit edilen , kolon flanşının işlevini yitirme yükünün alt sınırıdır.

¹⁵ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 111'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Denklem 2.66, EC3 Annex J'de de önerilmiş. Şöyle ki eğilmeye maruz kolon başlığının tasarım dayanımı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$F_{cfb,rd} = \frac{b_{eff,cfb} \times t_{fb} \times f_{y,bf}}{\gamma_{Mo}} \quad (2.68)$$

$$b_{eff,cfb} = t_{wc} + 2s + 7 \times k \times t_{fc} \quad (2.69)$$

Burada hadde profillerde $s = r_c$

Kaynaklı yapma kirişlerde ise $s = \sqrt{2} a_c$

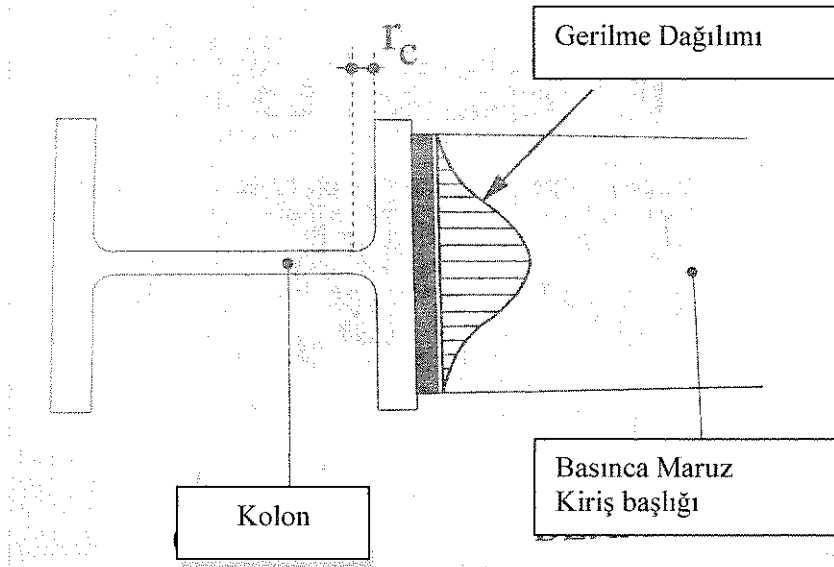
$$k = \frac{f_{y,cf} \times t_{fc}}{f_{y,bf} \times t_{fb}} \quad (2.70)$$

Burada $f_{y,cf}$ ve $f_{y,bf}$ sırasıyla kolon başlığının ve kiriş başlığının akma gerilmesidir.

(Faella et al., 1995) [3] tarafından elde olan deney verileriyle geniş çapta yapılan karşılaştırmalar sonucunda en zayıf bileşenin eğilmeye maruz kolon başlığı olması durumunda denklem 2.67 birleşimlerin eğilme dayanımlarını düşük gösteriyor. Bu sonucun nedeni çepeçevre kaynaklı birleşimlerde 2.67 denkleminin kullanılmasıyla kiriş gövdesinden de aktarılan eğilme momenti göz ardı edilmiş oluyor. Bu yüzden kiriş gövde kaynaklarından da aktarılan eğilme momentini dikkate almak için 2.67 bağıntısı şu bağıntıyla yer değiştirebilir:

$$F_{cfb,rd} = \frac{1}{\gamma_{Mo}} \left[b_{eff,cfb} \times t_{fb} \times f_{y,bf} + \frac{t_{wb} \times d_{wb}^2}{4 \times (h_b - t_{fb})} \times f_{y,bw} \right] \quad (2.71)$$

Burada d_{wb} ve $f_{y,bw}$ sırasıyla kiriş gövdesinin net derinliği ve akma gerilmesidir. Denklem 2.70'in geçerli olması için kiriş başlığı ve kolon başlığı arasındaki kaynağı da tahkik etmek gerekir. Kiriş başlığının orta kısmının , kolon gövdesi ve eğrisel boyun kısmı gibi rijit bir bölgeye bağlı iken kolon başlığının yerel burkulmasından kaynaklanan kiriş başlık kaynağındaki uniform olmayan gerilme dağılışı aşağıda gösterildiği gibidir:



Şekil 2.16 Kiriş başlığı kaynağındaki gerilme dağılımı¹⁶

Bunun sonucu olarak akma başlığın önce orta kısmında gerçekleşir. Bununla birlikte kaynağın deformasyon kapasitesinin çok az olması nedeniyle kaynağın yalnız bir kısmı etkilidir. Deneysel testler kiriş başlığı kaynağının şu şekilde hesaplanabileceğini göstermiştir (Bakker ve Voorn, 1974): [3]

$$b_{eff,w} = 2 \times t_{wc} + 7 \times t_{fc} \quad (2.72)$$

Denklem 2.71 deki kaynak alanı , kiriş başlık alanından az olmayan çepeçevre kaynaklı başlıklar için geçerlidir. Buna ilave olarak kiriş başlık kalınlığı kolon başlık kalınlığının 1.2 katından daha az olmalıdır. Böyle olduğunu varsayarsak kaynak kalınlığı kiriş başlık kalınlığından az olmayacak ve kiriş başlık kaynağının tasarım dayanımı şu şekilde hesaplanabilir.

$$F_{w,rd} = b_{eff,w} \times t_{fb} \times f_{vw} \quad (2.73)$$

Burada; f_{vw} : Kaynağın tasarım kesme dayanımıdır.

EC3'e göre f_{vw} şöyle ifade edilir:

$$f_{vw} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} \quad (2.74)$$

Burada f_u : profil çeliğinin kopma gerilmesi

¹⁶ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 112'den faydalananak düzenlenmiştir. [3]

β_w Fe360, Fe430, Fe510 çeliklerinde sırasıyla 0,80, 0,85, 0,90 değerlerine karşılık gelen korelasyon katsayısıdır. Son olarak γ_{Mw} : kaynak çeliğinin kısmi güvenlik katsayısıdır. ($\gamma_{Mw}=1,25$) Buna ek olarak EC3'te kaynak etkili genişliği taban levhasına eşit alınıyor:

($b_{eff,w} = b_{eff,cfb} = t_{wc} + 2s + 7 \times k \times t_{fc}$) Gevrek kırılmayı önlemek için kiriş başlığı kaynak kırılmadan akabilmelidir. Bunun için kaynak kalınlığını en az kiriş başlığı kadar alıp dayanımını kirişin akma dayanımından en az %40 daha fazla tutulursa şu denkleme ulaşılır (Witteven et al.,1982) [3]:

$$1,4 \times b_{eff,w} \times t_{fb} \times f_{y,bf} \geq b_{fb} \times t_{fb} \times f_{y,bf} \quad (2.75)$$

Bu ifade de şuna eşitlenir.

$$b_{eff,w} \geq \frac{b_{fb}}{1,4} \approx 0,7 \times b_{fb} \quad (2.76)$$

Eğer bu koşul sağlanmazsa EC3'te de belirtildiği gibi süreklilik levhaları kullanılmalıdır.

Şunu söylemek yerinde olacak ki AISC'ye göre aşağıdaki bağıntının sağlanması durumunda süreklilik (rijitleştirici) levhaları gerekir.

$$t_{fc} \leq \left(\frac{P_{bf} \times \xi}{f_{y,fc}} \right)^{1/2} \quad (2.77)$$

Burada; P_{bf} : kiriş başlığından aktarılan konsantre yük.

P_{bf} yalnız kalıcı ve hareketli yüklerden hesaplanıyorsa $x = 5/3$, rüzgar yükleri ve depremde hesaba dahilse $x = 4/3$ değerini alır.

2.77 koşulu ile süreklilik levhasız aktarılabilen en büyük kuvvet şu ifadeye eşittir.

$$P_{bf \max} = 6,25 \times \frac{t_{fc}^2 \times f_{y,cf}}{\xi} \quad (2.78)$$

Sonuç olarak şöyle özetlenebilir. Eğilmeye maruz kolon flanşının etkili genişliği AISC dizayn provision'a göre şu şekildedir.

$$b_{eff,cfb} = \frac{P_{bf \max}}{t_{fb} \times f_{y,bf}} = \frac{6,25 \times k \times t_{fc}}{\xi} \quad (2.79)$$

Burada k daha önce verilen $k = \frac{f_{y,cf} \times t_{fc}}{f_{y,bf} \times t_{fb}}$ ifadesinden bulunur.

2.7 Basınca Etkisindeki Kiriş Başlığı ve Gövdesi

Basınca maruz kiriş başlık gövde bileşeni , ek kiriş sisteminin dayanımına bir sınırlama getiriyor böylelikle bu bileşenin tasarım dayanımı kirişinkinden fazla olamaz ve şöyle ifade edilir:

$$F_{bfc,rd} = \frac{M_{b,rd}}{h_b - t_{fb}} \quad (2.80)$$

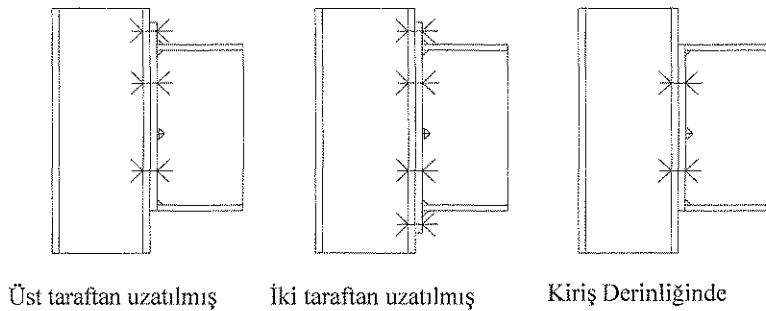
Diğer taraftan depreme dayanıklı yapılar için kiriş kolon birleşimleri belirli bir değerde dayanıma sahip olmaları gerekiyor. Örneğin EC8’de akmanın ekte değilde kiriş ucunda gerçekleşmesini sağlamak için ekin eğilme dayanımı kirişin eğilme dayanımından 1.2 kat fazla olması gereklidir. Kiriş kolon birleşiminin eğer varsa meydana getireceği dayanımın derecesini rakamlarla belirtmek gerekirse basınca maruz kiriş gövde ve başlık bileşeninin ($F_{bfc,rd}$) dayanımını diğer bileşenler ($F_{cws,rd}$, $F_{cwc,rd}$, $F_{cwt,rd}$, $F_{cfb,rd}$) arasındaki en küçük dayanımla kıyaslamak gerekir.

3. BULONLU ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLER

3.1 Giriş

Bulonlu alın levhalı birleşimler çelik yapıda oldukça yaygın kullanılır. Bunun nedeni detayının uygun şekilde tasarlanmasıyla mafsala yakın birleşimlerden rijit birleşimlere kadar yapısal çözümlere olanak veriyor olmasıdır. İstenirse bulon sayısı ve yerleri uygun şekilde seçilerek, uygun alın levhası kalınlığı ve geometrik şekli ve son olarak kolon panel bölgesi için rijitleştirici bir detay seçilerek dönme rijitliği ve eğilme dayanımı dengeli şekilde tasarlanabilir. Diğer taraftan kaynaklı birleşimlerde sadece süreklilik levhaları ve gövde takviye levhaları bir şekilde tasarım esnekliğini sağlıyor.

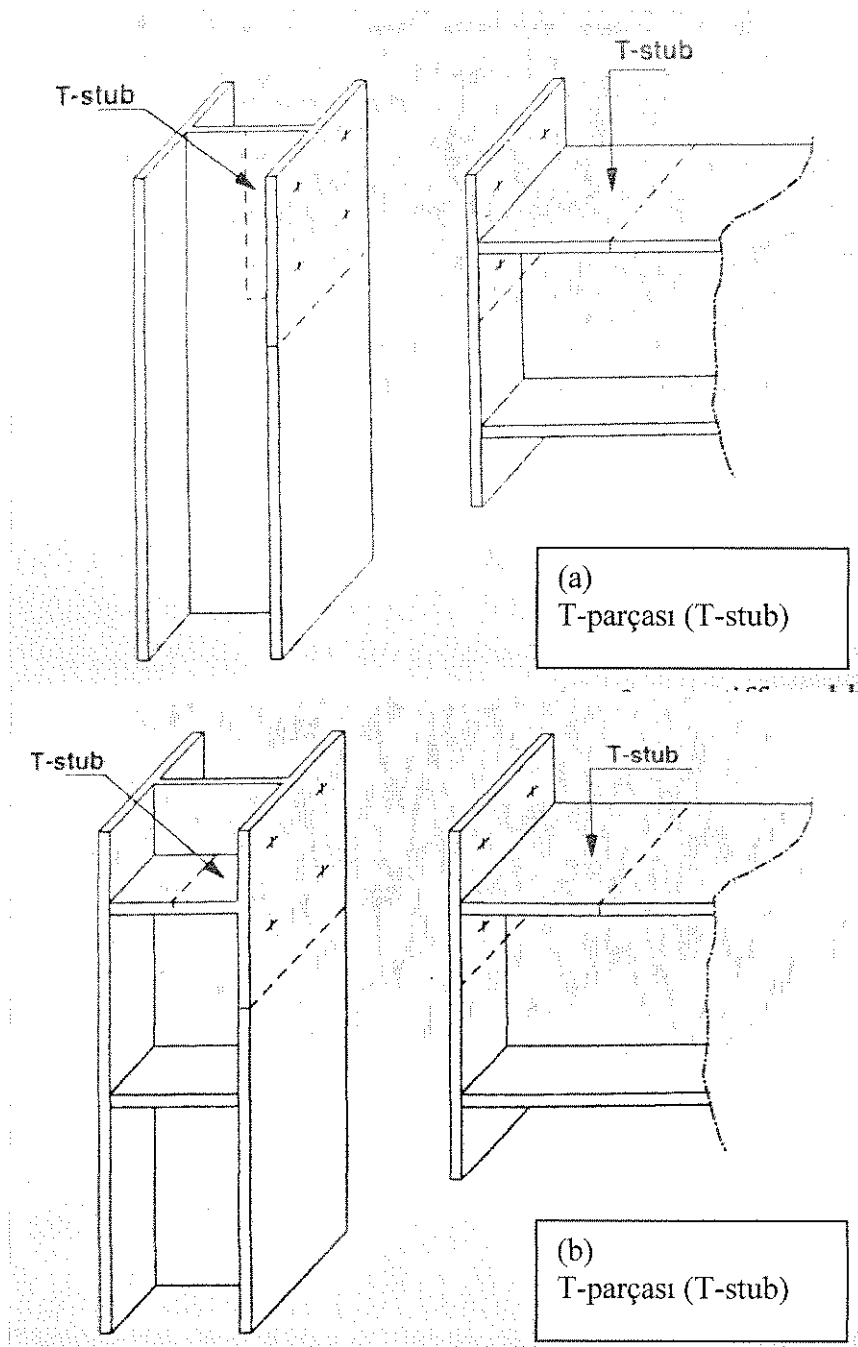
Alın levhalı birleşimler öncelikle bulon yerleşimine göre iki gruba ayrılabilirler: Uzatılmış alın levhalı ve kiriş derinliğinde alın levhalı birleşimler. Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde kendi içinde yalnız düşey yüklere maruz çerçevelerde sıklıkla kullanılan tek taraftan uzatılmış alın levhalı , rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlere de maruz kalabilecek çerçevelerde kullanılan iki taraftan uzatılmış alın levhalı birleşimler olarak ikiye ayrılır. Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde kolon başlığı üzerinde yer alan en azından bir sıra bulon kiriş başlıkları dışında kalır, diğer yandan kiriş derinliğinde alın levhalı birleşimlerde bulon sıralarının tümü kiriş başlıkları arasında yer alır.



Şekil 3.1 Alın Levhalı Birleşimlerin Farklı Şekilde Düzenlenmesi¹

¹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 172'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Uzatılmış alın levhalı birleşimlerin çekme bölgelerinde yalnız iki bulon sırası varsa bu bulon sıralarının davranışı eşdeğer T-parçası (T-stub) bileşeni ile modellenebilir. Şekil (3.2)

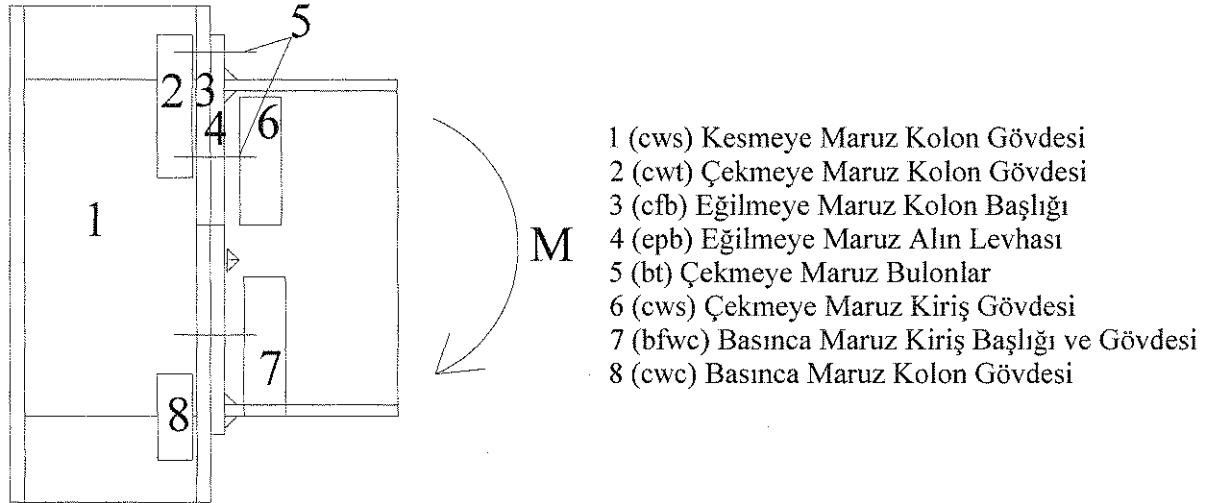


Şekil 3.2 Rijitleştirilmemiş (a) ve rijitleştirilmiş (b) bulonlu uzatılmış alın levhalı birleşimler için T-parçasının (T-Stub) tanımı ve yerleşimi (Yee ve Melchers, 1986)² [3]

Eğer çekme bölgesinde 3 veya daha fazla bulon sırası varsa bu bulon sıraları arasındaki etkileşimi dikkate almak için daha farklı bir prosedür izlenir.

² Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 136'dan faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

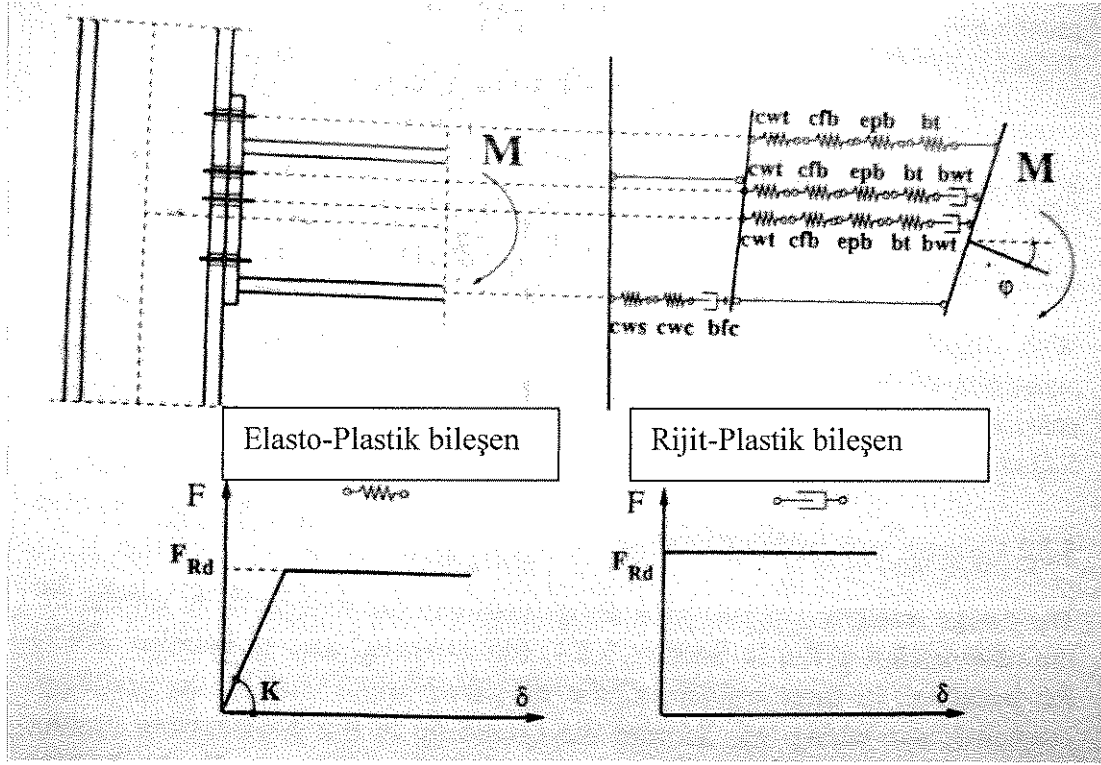
Bileşenler metodu (Yee ve Melchers, 1986; Jaspart, 1991; Faella et al, 1996; CEN, 1997) [3] bu bulonlu birleşim tipi içinde kullanılabilir yeterki düğüm noktasının davranışına etki eden temel bileşenler ortaya çıkarılsın. Böylelikle birleşimin bütünsel davranışını tahmin etmek aşağıdaki 8 bileşeni ilgilendiriyor.(CEN, 1997)



Şekil 3.3 Alın Levhalı Birleşimin Bileşenleri³

İlk 6 bileşen hem eğilme dayanımı hem de dönme rijitliğini etkiliyor. Diğer taraftan son 2 bileşen sadece düğüm noktası eğilme dayanımının hesaplanmasında dikkate alınmalıdır.

³ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 173'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]



Şekil 3.4 Mekanik Model⁴

Bu bileşenlerin bazıları çekme bölgesindeki bulon sıralarının sayısına ve yerleşimine bağlıdır. Bu bileşenler eğilmeye maruz kolon başlığı, eğilmeye maruz alın levhası, çekmeye maruz bulonlar, çekmeye maruz kolon gövdesi ve çekmeye maruz kiriş başlığıdır. Bu bileşenlerin her birinin katkıları bulon sıralarının bağımsız olarak ve birbiriyle etkileşimli olarak davranışları göz önünde bulundurularak hesaplanabilir.

Uzatılmış alın levhalı birleşimler için kullanılan mekanik model yukarıda verilmiştir. Burada eğilme dayanımı ve dönme rijitliğini etkileyen bileşenler elastik tam plastik elemanlar tarafından, birleşimin eğilme dayanımına yalnızca sınırlama getiren bileşenler rijit-plastik elemanlar tarafından modellendi. Birleşimin eğilme dayanımı $M_{j,Rd}$ aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^{n_b} h_i \times F_{i,Rd} \quad (3.1)$$

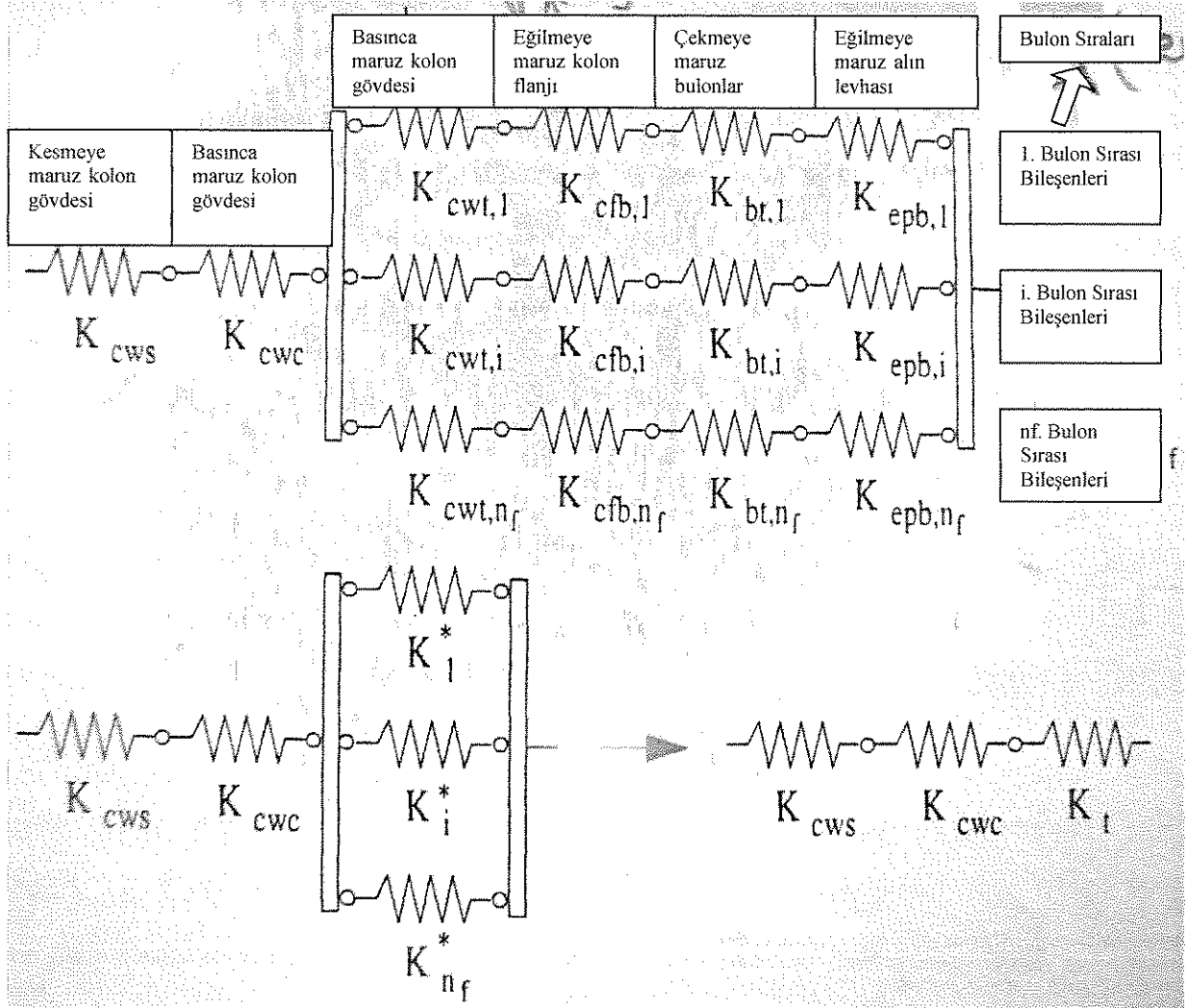
Burada; $F_{i,Rd}$: i. bulon sırasının dayanımı

n_b : Çekmeye maruz bulon sırası sayısı

h_i : i. bulon sırasının basınç merkezinden uzaklığı. Basınç merkezinin yeri basınç başlığının orta düzlemi olarak kabul edildi.

⁴ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 174 'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Herbir bulon sırasının direnci hesaplanırken basınç merkezine en uzak olan bulon sırası birinci bulon sırası olarak kabul edilir ve hesaba buradan başlanır. Basınç merkezine en uzak sıradan en yakın sıraya doğru hesaba devam edilir. Fark edilebileceği gibi i. bulon sırası hizasındaki bileşenlerin direnci bu bileşenlerden en küçüğünün direnci ile bu bileşenlerin toplam direncine bağlıdır. Şöyle ki i. ve ondan önceki bulon sıralarından oluşan olası tüm gruplarının toplam dayanımına i. sıranın dayanım katkısı olduğu dikkate alınır. Hatırlatmak gerekirse, bulon sıralarından bağımsız olarak, herhangi bir bulon grubunun dayanımı bu bulon gurubunu oluşturan bileşenlerden herhangi birinin dayanımını geçemez.



Şekil 3.5 Düğüm Noktası Dönme Rijitliği Hesabı İçin Prosedür⁵

⁵ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 175'ten faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Yukarıdaki şekilde EC3 Annex J (CEN, 1997) içinde önerilen prosedür gösterilmiştir. Gözlemlenebilirki, düğüm noktasının toplam rijitliği, tüm bileşenlerin uzama rijitliklerinin toplanarak elde edilir.

Prosedürdeki birinci basamakta her bir bulon sırası hizasındaki 4 bileşen için uzama deformasyonları hesaplanarak toplanır.

$$\frac{1}{K_i^*} = \frac{1}{K_{cwt,i}} + \frac{1}{K_{cfb,i}} + \frac{1}{K_{bt,i}} + \frac{1}{K_{epb,i}} \quad (3.2)$$

İkinci basamakta basınç bölgesi etrafında kiriş gövdesinin rijit dönme yaptığı kabulüyle çekme bulonlarının toplam rijitliğini K_t hesap edilmesi:

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^{nb} K_i^* \times h_i}{h_t} \quad (3.3)$$

Burada h_t : Eşdeğer moment kolu olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h_t = \frac{\sum_{i=1}^{nb} K_i^* \times h_i^2}{\sum_{i=1}^{nb} K_i^* \times h_i} \quad (3.4)$$

Son olarak düğümün başlangıç rijitliği, bulon sıralarından bağımsız cws ve cwc bileşenlerinin rijitliğini çekme bulon sıralarının eşdeğer toplam rijitliğiyle (K_t) uygun biçimde toplayarak hesaplanır.

$$K_\varphi = \frac{h_t^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_t}} \quad (3.5)$$

Bundan sonraki bölümde başlangıç dönme rijitliğinin tahmininden önce eğilme dayanımı öngörüsü için hesap aşamaları anlatılacak.

3.2 Eğilme Dayanımının Tahmini

3.2.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi

Kesmeye maruz kolon gövdesinin eğilme rijitliği tahmininde kaynaklı birleşimlerde anlatılanlara ek olarak burada farklı bir değerlendirmeye gerek kalmadığından oradaki hesap şekli, bulonlu birleşimde de kullanılabilir.

3.2.2 Basınca maruz kolon gövdesi

Bu düğüm bileşenine ait tasarım dayanımı kaynaklı birleşimlerde ezilme ve burkulma için anlatılan bağıntılardan hesaplanabilir. Bu denklemlerde alın levhasından ve alın levhası-kiriş başlığı bağlantısındaki kaynaklardan yayılan basınç kuvvetinin etkili genişlik üzerindeki etkisi uygun şekilde hesaba dahil edilmelidir: Annex J (CEN, 1997)'ye göre aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$b_{eff,cwc} = t_{fb} + 2 \times \sqrt{2} \times a_{pf} + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p \quad (3.6)$$

Burada hadde profillerde $s = r_c$, kaynaklı yapma profillerde ise $s = a_c \times \sqrt{2}$ kullanılır.

s_p : Basınç kuvvetinin alın levhasından 45° lik açıyla yayılma mesafesidir. Alın levhasının yeterli miktarda kirişin basınç başlığının altına uzatılması koşuluyla $2 \times t_{ep}$ 'ye eşit olur.

$a_{ep,f}$ ise giriş başlığı ve alın levhası arasındaki kaynak kalınlığıdır.

3.2.3 Eğilmeye maruz kolon başlığı

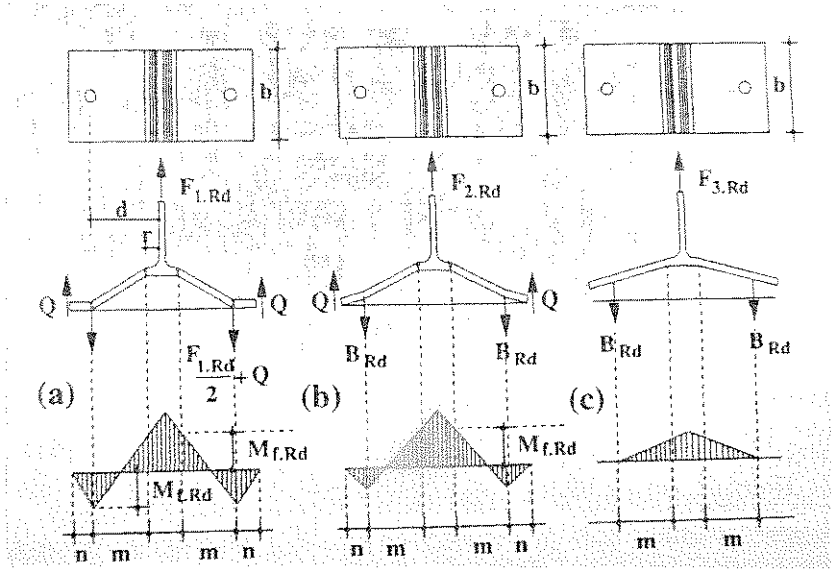
Eğilmeye maruz kolon başlığı efektif genişliğin doğru tanımlanmasıyla eşdeğer bulonlu T-parçası (T-Stub) ile modellenenebilir. Eğilmeye maruz kolon başlığı anlamına gelen eşdeğer bulonlu T-parçasının aksenal dayanımı 3 farklı göçme mekanizması göz önünde bulundurularak belirlenebilir.(Şekil 3.6) Çok ince başlık olması durumunda (mekanizma tip 1) bulonların devre dışı kalmasından önce başlık akar. Böylelikle göçme mekanizması 4 plastik mafsallın açığa çıkmasıyla oluşur. İki mafsallı çekip çıkarmaya çalışan kuvvetlerden oluşan eğilme momenti etkisinde bulon eksenlerinde, kalan 2 tanesi T-parçasının başlık-gövde birleşiminin ucundadır.

Bu durumda herbir bulon sırası için kolon başlığının geometrik özellikleri dikkate alınarak tasarım dayanımı şu şekilde ifade edilebilir.

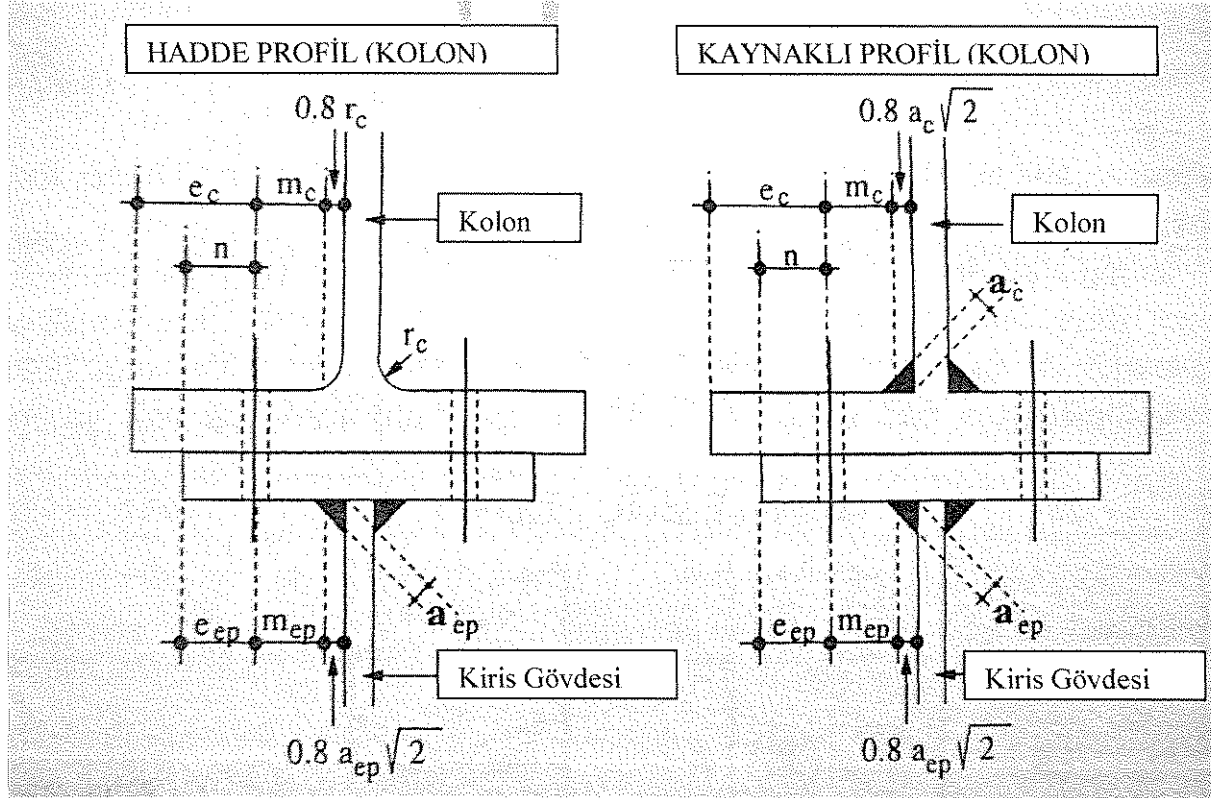
$$F_{cfb,1,Rd} = \frac{4M_{fc,Rd}}{m_c} \quad (3.7)$$

Burada $m_c = d_c - 0,8s$ d_c : bulon ekseninden kolon gövde yüzüne olan uzaklık

Hadde profillerde $s = r_c$ yapma profillerde $s = a_c \times \sqrt{2}$ (Şekil 3.7)



Şekil 3.6 Bulonlu T-parçalarının (T-stub) Göçme Şekilleri⁶



Şekil 3.7 m_c ve m_{ep} parametrelerinin tanımı⁷

$M_{cf,Rd}$ kolon başlığının eğilme dayanımı aşağıdaki gibi ifade edilir.

⁶ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 138'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

⁷ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 178'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

$$M_{fc.Rd} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{ycf}}{\gamma_{Mo}} \quad (3.8)$$

Burada;

$b_{eff.cfb}$: Eğilmeye maruz kolon başlığının etkili genişliği

t_{fc} : Kolon başlığı kalınlığı

f_{ycf} : Kolon başlığı akma gerilmesi

Kolon başlığı kalınlığı arttıkça göçme mekanizması bulonların da devre dışı kaldığı (mekanizma tip 2) şeklinde ortaya çıkabilir. Bu durumda 2 plastik mafsallık başlık-gövde birleşim kesitinde oluşurken bulonlarda devre dışı kalır. Tasarım dayanımı olarak aşağıdaki formül kullanılır.

$$F_{cfb.2Rd} = \frac{2 \times M_{fc.Rd} + 2 \times B_{Rd.n}}{m_c + n} \quad (3.9)$$

Burada $n = \min(e_c; e_{cp}; 1,25m_c)$ çekip çıkarmaya çalışan kuvvetin yeridir.

B_{Rd} her bir bulonun max dayanımı olarak EC3'te aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$B_{Rd} = \frac{0,9 \times A_b \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} \quad (3.10)$$

Burada;

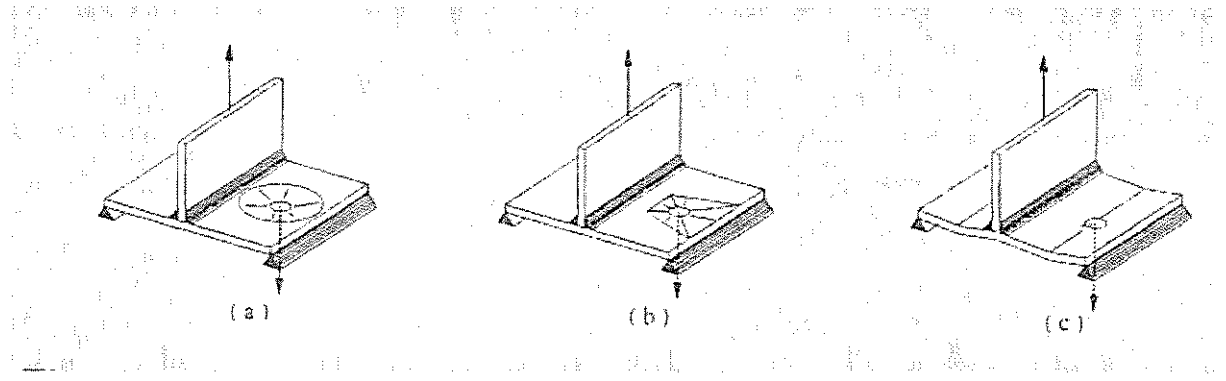
A_b : Bulon-direnç alanı

f_{ub} : Bulondaki maksimum gerilme

Kolon başlık kalınlığının daha da artırılmasıyla başlık akması gerçekleşmeden yalnız bulonların devre dışı kalması ile meydana gelen göçme mekanizması (mekanizma tip 3) gerçekleşir. Bu durumda eğilmeye maruz kolon başlığında aşağıdaki dayanım sınırı dikkate alınmalıdır.

$$F_{cfb.3.Rd} = 2 \times B_{Rd} \quad (3.11)$$

Bu son durum çekmeye maruz bulon direncine karşılık gelir. Bir bulon sırasının efektif genişliğini hesaplamak için gereken bağıntılar akma çizgisi mekanizmaları gözönüne alınarak elde edilebilir. (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 Bir bulon sıralı T-parçalarının (T-stub) akma mekanizmaları⁸

Plastik göçmenin kinematik teoremine göre göçme yükünü minimum yapmak için etkili genişlik şu şekilde seçilir:

$$b_{eff} = \min (b_{eff,1}, b_{eff,2}, b_{eff,3})$$

(a) Huni ve dairesel şeklindeki akma mekanizması için: $b_{eff,1} = 2\pi m$

(b) Dairesel olmayan şekilde akma mekanizması için: $b_{eff,2} = 4m + 1,25 n$

(c) Kiriş biçiminde akma mekanizması için: $b_{eff,3} = b$

Özellikle mekanizma Tip 1 için etkili genişliğin minimum değerini dairesel ve dairesel olmayan akma şekilleri belirliyor. Diğer taraftan göçme mekanizma Tip 2 için dairesel olmayan akma şekli etkili genişlik için kullanılıyor. Tablo 3.1’de efektif genişliği hesaplayan bağıntılar dairesel ve dairesel olmayan akma şekilleri için bulon sıralarının yerleri gözetilerek verilmiştir.

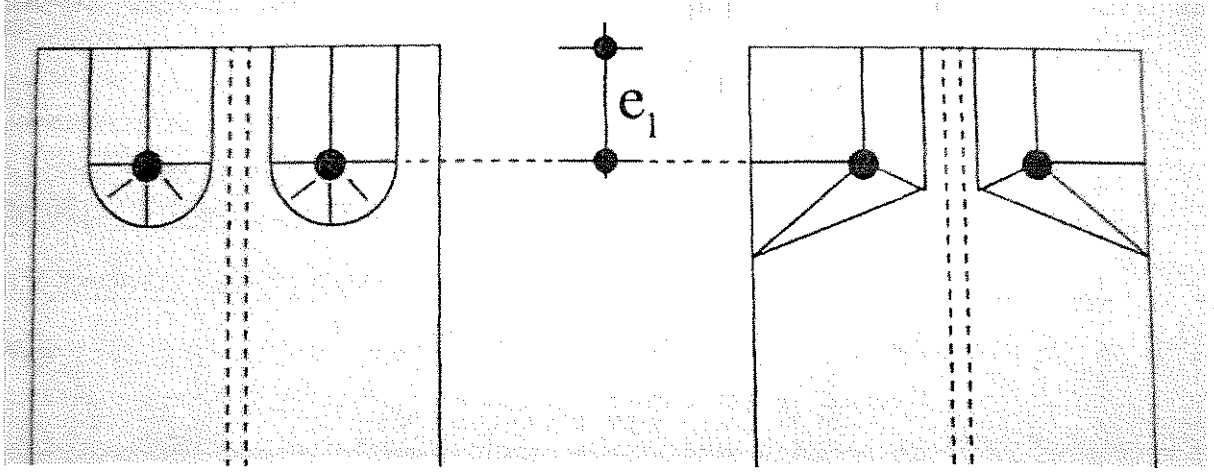
Tablo 3.1 Eğilmeye maruz kolon başlığında bir bulon sıralı T-parçaların (T-stub) akma mekanizmaları⁹

Göçme modu	İç Bulon Sırası İçin	Kolon Bitimine Komşu Bulon Sırası İçin	Rijitleştiriciye Komşu Bulon Sırası İçin
Dairesel Şekilde	$2\pi m$	$\min(2\pi m, \pi m + 2e_1)$	$2\pi m$
Dairesel Değil	$4m + 1.25e$	$\min(4m + 1.25e, 2m + 0,625e + e_1)$	αm

Burada $m = m_c$ ve $e = n = \min(e_c, e_{ep})$ olarak dikkate alınmalı. (Şekil 3.7) Tablo 3.1’de verilen kolon bitimine komşu bulonların akma mekanizması şekil 3.9’deki gibi oluşabilir.

⁸ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 141’den alınarak düzenlenmiştir. [3]

⁹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 179’den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]



Şekil 3.9 Kolon üst ucuna komşu bulon sıralarının akma çizgileri¹⁰

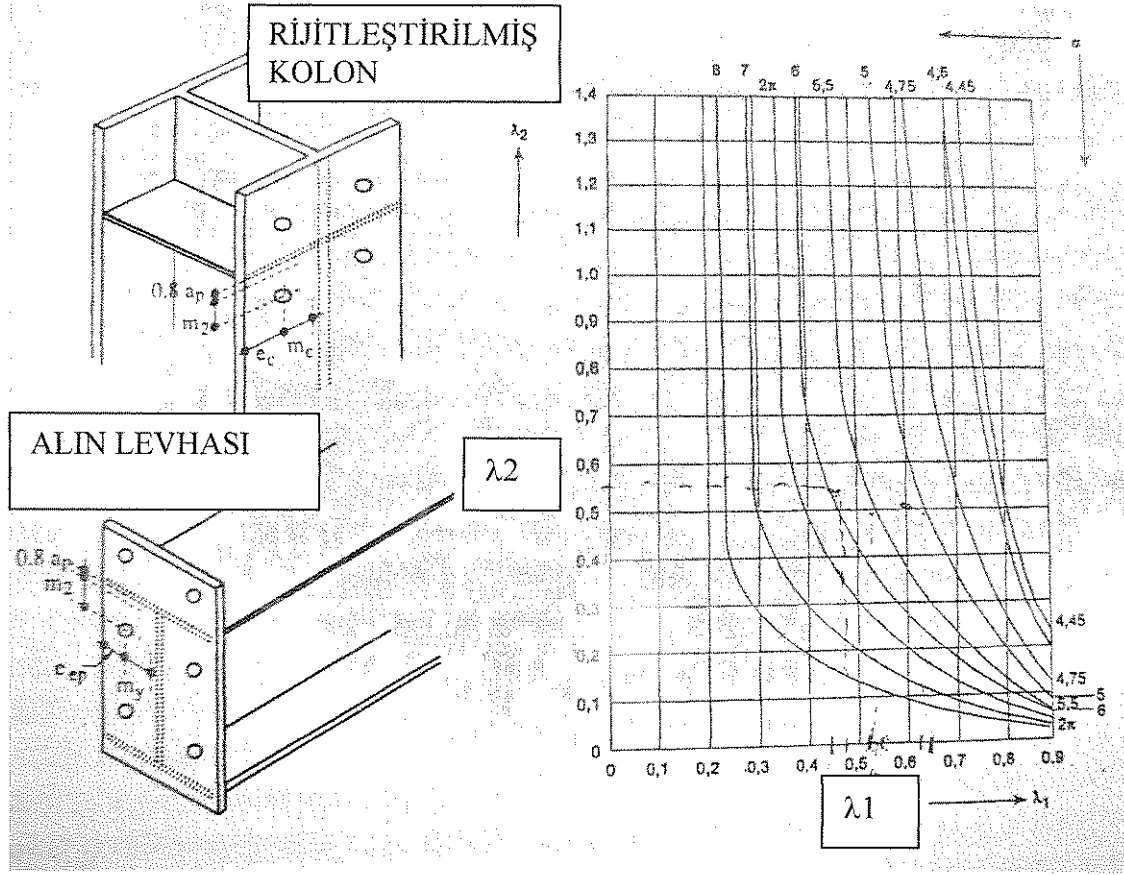
Eğer kolon süreklilik levhalarıyla rijitleştirildiyse kolon flanşının deformasyonu iyice sınırlandırılmış oluyor ve eşdeğer T parçasının 3 boyutlu davranışı daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmış oluyor. Böylelikle kolon gövdesine ve rijitleştiricisine göre bulon yerinin etkisini dikkate almak için efektif genişlik $b_{eff,cfb} = \alpha \times m_c$ bağıntısıyla hesaplanmalıdır.

(Tablo 3.1) EC3'e (CEN, 1997) göre α katsayısı λ_1 ve λ_2 parametrelerine göre şöyle ifade edilir.

$$\lambda_1 = \frac{m_c}{e_c + m_c}, \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{e_c + m_c} \quad (3.12)$$

Buradaki m_2 ve m_c şekil 3.10'da gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde α katsayısının da veren abaküs de verilmiştir.

¹⁰ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 180'den alınarak düzenlenmiştir. [3]



Şekil 3.10 α katsayısı (CEN, 1997)¹¹

Birden fazla sıra bulon olduğunda, bu sıralar arasındaki mesafeye göre 3 durum tespit edilebilir. 1. durumda her bir bulon sırası için ayrı akma çizgileri oluşur. 2. durumda bazı bulon sıraları bulon akma grupları oluşturur. 3. durumda ise bulon akma grubu bütün sıraları kapsar. (Şekil 3.11)

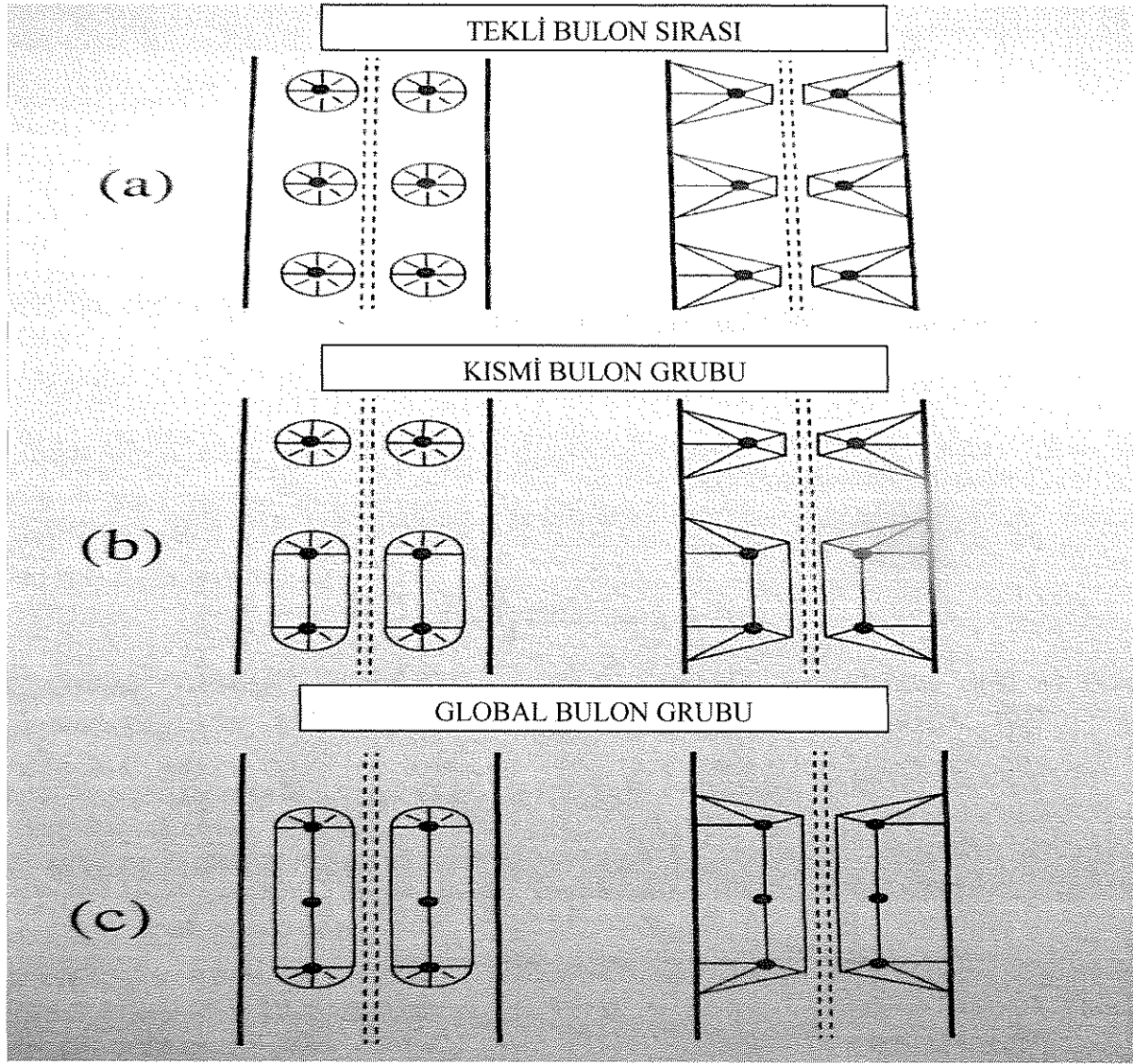
Bir bulon grubuna bağlı olduğu düşünülen her bir bulon sırası için, efektif genişlik tablo 3.2’de gösterilmiştir. Burada p : bulon sıraları arasındaki açıklıktır.

Tablo 3.2 Eğilmeye maruz kolon başlığında bir bulon grubuna ait bulon sırasının efektif genişliği (CEN, 1997)¹²

Göçme modu	İç Bulon Sırası İçin	Son Bulon Sırası	Kolon Bitimine Komşu Bulon Sırası İçin	Rijitleştiriciye Komşu Bulon Sırası İçin
Dairesel Şekilde	$2p$	$\pi m + p$	$\min(\pi m + p, 2e_1 + p)$	$\pi m + p$
Dairesel Olmayan	p	$2m + 0,625e + 0,5p$	$\min(e_1 + 0,5p, 2m + 0,625e + 0,5p)$	$0,5p + \alpha m + (2m + 0,625e)$

¹¹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 180’den faydalananarak düzenlenmiştir. [3]

¹² Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 182’den faydalananarak düzenlenmiştir. [3]



Şekil 3.11 Bulon sırası grupları için akma çizgisi modelleri¹³

Kolon başlığı takviye levhaları ile rijitleştirildiğinde mekanizma tip 1'in tasarım dayanımı takviye levhalarını içerecek şekilde aşağıdaki gibi uyarlanabilir.

$$F_{cfb.1Rd} = \frac{4 \times M_{fc.Rd} + 2 \times M_{bp.Rd}}{m_c} \quad (3.13)$$

Burada;

$M_{bp.Rd}$: Takviye levhalarının eğilme rijitliği olarak şu şekilde ifade edilir.

$$M_{bp.Rd} = \frac{b_{cf,eff} \times t_{bf}^2}{4} \times \frac{f_{ybp}}{\gamma_{Mo}} \quad (3.14)$$

¹³ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 181'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Burada;

t_{bp} : Takviye levhalarının kalınlığı

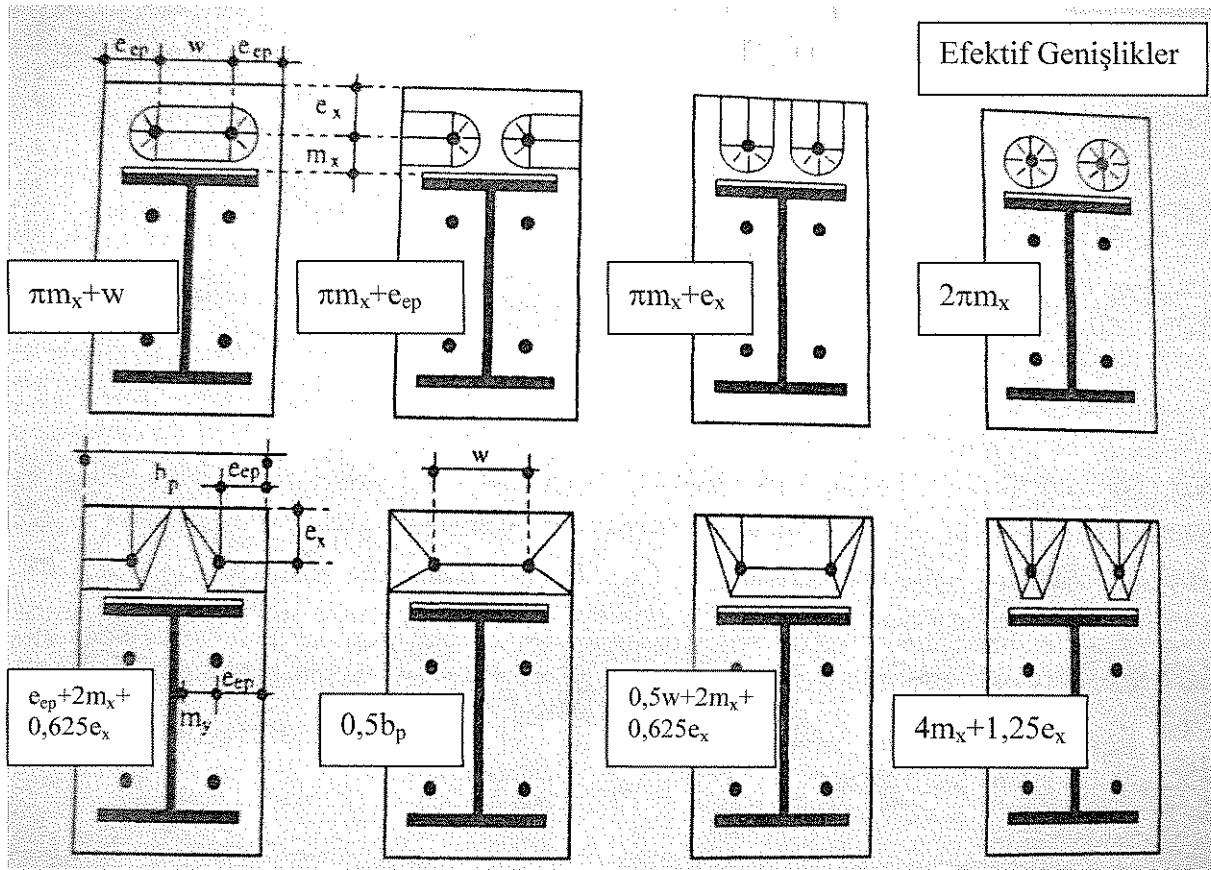
f_{yb} : Takviye levhalarının akma gerilmesidir.

Sonuç olarak eğilmeye maruz kolon başlığının tasarım dayanımı minimum olarak mekanizma tip 1, 2 ve 3 için sırasıyla (3.7), (3.9), (3.11) bağıntılarıyla , başlıkların takviye levhalarıyla güçlendirilmesiyle (3.13), (3.9), (3.11) bağıntılarıyla hesaplanır.

3.2.4 Eğilmeye maruz alın levhası

Eğilmeye maruz kolon flanşı gibi eğilmeye maruz alın levhasının dayanımı da T parçası ile modellenebilir. Bu nedenle alın levhası kalınlığı ve eşdeğer T parçasının efektif genişliği doğru bir şekilde tayin edilirse formülasyonlar bir önceki bileşendekilere benzer olarak sürdürülür.

Özellikle alın levhasının geometrik özellikleri dikkate alındığında (Şekil 3.12) mekanizma tip 1'e karşılık gelen dayanım şöyle ifade edilir.



Şekil 3.12 Kiriş başlığı dışındaki bulon sırasının göçme mekanizmaları ve efektif genişlikler¹⁴

¹⁴ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 183'den faydalananarak düzenlenmiştir. [3]

$$F_{epb.1Rd} = \frac{4 \times M_{ep.Rd}}{m_{ep}} \quad (3.15)$$

Burada $m_{ep} = m_x$ bulon sırasının kiriş başlığı dışında olması hali için,

$m_{ep} = m_y$ bulon sırasının başlıklar arası bölgede olması durumunda geçerlidir.

Her iki durumda da m_x ve m_y , $d - 0,8\sqrt{2} \times a_{ep}$ ile hesaplanır. Burada ; d bulon eksenini ile profilin ilgili yüzü arasındaki mesafe, a_{ep} kirişin alın levhasına bağlayan kaynak kalınlığıdır.

$$M_{ep.Rd} = \frac{b_{eff.ep} \times t_{ep}^2}{4} \times \frac{f_{yep}}{\gamma_{Mo}} \quad (3.16)$$

Burada; $b_{eff.ep}$ eğilmeye maruz alın levhasının efektif genişliği

t_{ep} : Alın levhası kalınlığı

f_{yep} : Alın levhası akma gerilmesidir.

Mekanizma tip 2 için eğilmeye maruz alın levhasının modellenmesinde kullanılan eşdeğer T parçasının tasarım dayanımı şu bağıntıya eşittir.

$$F_{epb.2Rd} = \frac{2 \times M_{ep.Rd} + 2 \times B_{Rd} \times n}{m_{ep} + n} \quad (3.17)$$

n eğilmeye maruz kolon başlığındaki gibi hesap edilir.

Tablo 3.3 Eğilmeye maruz alın levhasında tek bir bulon sırası için efektif genişlik (CEN, 1997)¹⁵

Göçme modu	İç Bulon Sırası İçin	Kiriş Çekme Flanjlı Dışında Kalan Bulon Sırası İçin	Rijitleştiriciye Komşu Bulon Sırası İçin
Dairesel Şekilde	$2\pi m_{ep}$	$\min(2\pi m_x, \pi m_x + w, \pi m_x + 2e_{ep}, \pi m_x + 2e_x)$	-
Dairesel Değil	$4m_{ep} + 1.25e_{ep}$	$\min(4m_x + 1.25e_x, e_{ep} + 2m_x + 0,625e_x, 0,5b_p, 0,5w + 2m_x + 0,625e_x)$	αm_{ep}

Tablo 3.3'te her bir bulon sırası için efektif genişlikler bildirilmiştir. Özellikle kirişin çekme flanjlının dışındaki bulon sırası için efektif genişlikler şekil 3.12'de çizilen göçme mekanizmaları için belirlenmiştir. Buna ilaveten kiriş flanjlaları arasında ve kiriş çekme flanjlına komşu olan bulon sıraları rijitleştiriciye komşu bulon sırası kategorisinde değerlendirilmelidir.

¹⁵ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 184'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Böylelikle eğilmeye maruz kolon flanjındaki α katsayısı burada da kullanılabilir ve şekil 3.10 ile hesaplanabilir. λ_1, λ_2 parametreleri aşağıdaki bağıntılara eşittir.

$$\lambda_1 = \frac{m_y}{e_{ep} + m_y}, \lambda_2 = \frac{m_2}{e_{ep} + m_y} \quad (3.18)$$

Buna ek olarak bir bulon grubuna bağlı olduğu düşünülen her bir bulon sırası için eşdeğer T parçasının efektif genişliği tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Eğilmeye maruz alın levhasında bir bulon grubuna ait bir bulon sırasının efektif genişliği (CEN, 1997)¹⁶

Göçme modu	İç Bulon Sırası İçin	Son Bulon Sırası İçin
Dairesel Şekilde	2p	$\pi m_{ep} + p$
Dairesel Değil	p	$2m_{ep} + 0,625e_{ep} + 0,5p$

Sonuç olarak eğilmeye maruz alın levhasının dizayn dayanımı her bir bulon sırası için (3.15), (3.17), (3.11): ($F_{epb,Rd,3} = 2B_{Rd}$) bağıntılarından elde edilen minimum değerdir.

3.2.5 Çekmeye maruz kolon gövdesi

Çekmeye maruz kolon gövdesi kaynaklı birleşimlerde analiz edilmişti. Kaynaklı birleşimler ile alın levhalı birleşimler arasındaki tek fark efektif genişliğin tanımından geliyor. Alın levhalı birleşimlerde efektif genişliği hesaplarken bulonlar birbiriyle etkileşimde olduğundan her bir bulon sırası için hem tek bir bulon sırasının davranışı hemde bir bulon grubuna ait olduğu düşünülerek davranışı tanımlanmalıdır. Neticede her bir bulon sırası için efektif genişlik eğilmeye maruz kolon başlığında olduğu gibidir. Bu varsayım hem eğilmeye maruz kolon başlığının hemde çekmeye maruz kolon gövdesinin aynı eşdeğer T parçası ile modellenmesine karşılık gelir.

Sonuç olarak bu bileşenin dayanımı, daha önce kaynaklı birleşimlerde verilen

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \text{olmak üzere,}$$

$$F_{cwt,Rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwt} \times \rho}{\gamma_{Mo}} \quad , \quad \left(\frac{F}{b_{eff,cwt} \times t_{wc}} \right)^2 + \frac{F}{b_{eff,cwt} \times t_{wc}} \times \sigma_v + 3 \times \left(\xi \times \frac{\beta \times F}{A_{vc}} \right)^2 = f_{y,cw}^2$$

¹⁶ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 184'den faydalananarak düzenlenmiştir. [3]

$$F_{cwt,Rd} = \frac{k_{cwt} \times t_{wc} \times b_{eff,cwt} \times \rho \times f_{y,cw}}{\gamma_{Mo}}, \quad k_{cwt} = -\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} + \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

(2.58), (2.59), (2.60), (2.61) bağıntılarıyla ve yukarıda tarif edilen efektif genişlik kullanılarak hesaplanabilir. Eğer kolon gövdesi gövde takviye levhalarıyla güçlendirilip rijitleştirilirse bunların katkısı da kaynaklı birleşimlerdeki çekmeye maruz kolon gövdesi kısmında açıklandığı şekilde dikkate alınır.

3.2.6 Basınca maruz kiriş başlığı ve gövdesi

Bu bileşen kaynaklı anlatıldığı şekilde kiriş eğilme dayanımını dikkate alarak sadece düğüm-kiriş sisteminin dayanımına bir sınır getiriyor. Kaynaklı birleşimlerdeki

$$F_{bfc,rd} = \frac{M_{b,rd}}{h_b - t_{fb}} \quad (2.79) \text{ bağıntısı burada da geçerlidir.}$$

3.2.7 Çekmeye maruz kiriş gövdesi

Bu bileşenin dayanımı çekmeye maruz kolon gövdesi bileşenine benzer değerlendirmeler ile tespit ediliyor. Aslında kirişin geometrik ve mekanik özellikleri hesaba katıldığında aşağıdaki bağıntı kullanılabilir.

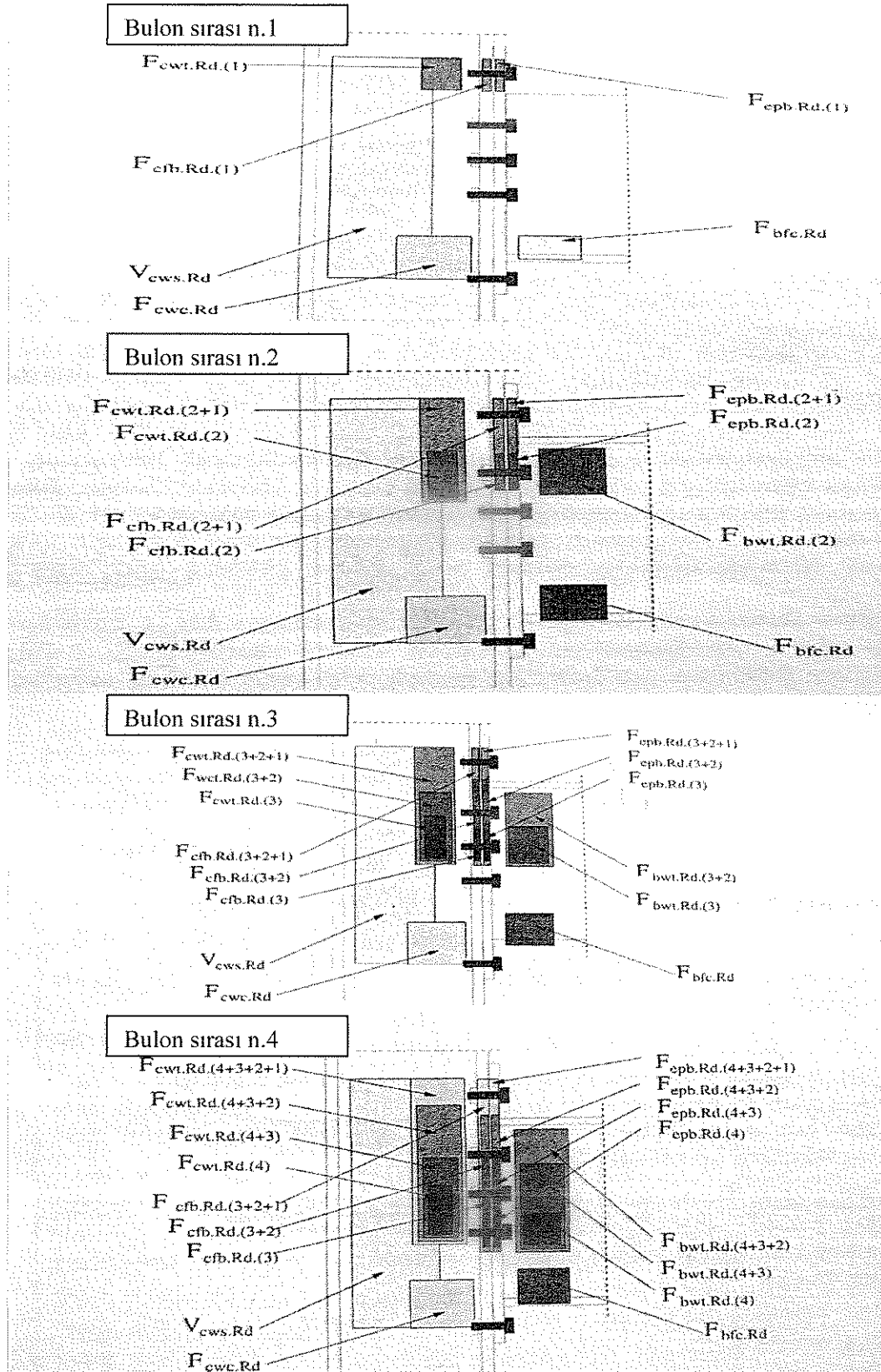
$$F_{bwt,Rd} = \frac{b_{eff,bwt} \times t_{wb} \times f_{y,bw}}{\gamma_{Mo}} \quad (3.19)$$

Kiriş gövdesinin efektif genişliği, her bir bulon sırasının davranışını tek bir bulon sırası gibi yada iki kiriş başlığı arasında yer alan bir bulon grubuna ait bulon sıraları gibi uygun şekilde hesap etmek gerekir. Diğer bir deyişle her bir bulon sırası için efektif genişlik eğilmeye maruz alın levhasında tarif edildiği gibi hesaplanmalıdır.

3.2.8 Birleşimin eğilme dayanımını hesaplama aşamaları (prosedürü)

Şekil 3.4'te çizilmiş olan mekanik modelin her bir elemanına karşı gelen her bir bileşenin tasarım dayanımını hesaplayan kriterler ve bağıntılar yukarıdaki bölümlerde verilmişti. Öte yandan tüm bileşenlerin birbirleriyle etkileşiminden doğan kısıtlamaları dikkate almak için detaylı bir matematiksel prosedür gereklidir.

Bu prosedür 1. bulon sırasından başlayarak her bir bulon sırasının tasarım çekme dayanımını $F_{li,Rd}$ hesap ediyor.



Şekil 3.13 Eğilme Dayanımı İçin Hesap Aşamaları (Prosedürü)¹⁷

¹⁷ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 186 ve 187'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Şöyle ki ilk önce her bir bulon sırası için, bileşenlerinden minimum dayanıma sahip olana göre dayanımlar belirlenir. Daha sonra her bir bulon sırası bileşeni için i'den önceki olası ardışık bulon sıra gruplarının dayanımını, i. sırayı dahil eden olası ardışık bulon sıra gruplarından çıkarmak suretiyle i.bulon sırasının, diğer bulon sıralarının oluşturabileceği gruplara dayanım katkısı hesaplanmış olur. Yine bu dayanımlardan en küçüğü tasarım dayanımı olarak alınır. Ayrıca olası her bir bulon grubunun dayanımı bulon sırası bileşenlerinin dayanımından bağımsız olan cwc , cws , $bffc$, bileşenlerinin dayanımını geçemez. Her bir bulon sırasının, birleşimin tasarım moment dayanımına katkısı, dayanım kuvveti $F_{ti,Rd}$ 'nin moment kolu ile diğer bir ifadeyle i. bulon sırasıyla girişin basınç başlığı eksenini (basınç merkezi) arasındaki h_i mesafesiyle çarpılması sonucu elde edilir.

Böylelikle uzatılmış alın levhalı birleşimler için birleşim dayanımının hesap aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

a) En zayıf bileşeni olarak 1. bulon sırasının dizayn çekme dayanımı $F_{t1,Rd}$ hesaplanır. (Şekil 3.13)

$$F_{t1,Rd} = \min \left\{ V_{cws,Rd} / \beta, F_{cwc,Rd}, F_{bffc,Rd}, F_{cfb,Rd(1)}, F_{cwt,Rd(1)}, F_{epb,Rd(1)} \right\} \quad (3.20)$$

Burada b, kaynaklı birleşimlerde anlatıldığı gibi birleşim çevresindeki çubuk uç kuvvetlerinin panel bölgesindeki kesme kuvveti üzerindeki etkisini gözetten bir katsayıdır.

b) Aşağıdaki eşitliklerin getirdiği sınırlamalarla 2.bulon sırasının minimum dizayn çekme dayanımı $F_{t2,Rd}$ hesaplanır.

$$1) F_{t2,Rd} = \min \left\{ V_{cws,Rd} / \beta - F_{t1,Rd}, F_{cwc,Rd} - F_{t1,Rd}, F_{bffc,Rd} - F_{t1,Rd} \right\} \quad (3.21)$$

Bu eşitlik ilk iki bulon sırasının bileşke dayanımına, cws , cwc , $bffc$ 'den kaynaklanan kısıtlamaları dikkate alıyor.

$$2) F_{t2,Rd} \leq F_{bwt,Rd(2)} \quad (3.22)$$

eşitliği çekmeye maruz giriş gövdesinin kısıtlamasını dikkate alıyor.

$$3) F_{t2,Rd} = \min \left\{ F_{cfb,Rd(2)}, F_{cfb,Rd(2+1)} - F_{t1,Rd} \right\} \quad (3.23)$$

eşitliği 2. bulon sırasını tek başına $F_{cfb,Rd(2)}$ ve 1. sıra ile birlikte $F_{cfb,Rd(2+1)}$ dikkate alarak eğilmeye maruz kolon flanjinin kısıtlamalarını gözetiyor.

$$4) F_{t2,Rd} = \min \left\{ F_{cwt,Rd(2)}, F_{cwt,Rd(2+1)} - F_{t1,Rd} \right\} \quad (3.24)$$

eşitliği bir önceki eşitliğe benzer bir sınırlama tek farkı cwt 'yi referans alıyor.

$$5) F_{t2,Rd} = F_{epb,Rd(2)} \quad (3.25)$$

eşitliği eğilmeye maruz alın levhasının kısıtlamalarını dikkate alıyor.

c) Birbirini izleyen çekme bulon sıralarının başka bir ifadeyle i. bulon sırasının tasarım dayanımı $F_{ti,Rd}$ (3.25-3.29) eşitliklerinin getirdiği sınırlamalarla bulunan minimum değerle hesap edilir.

$$F_{ti,Rd} = \min \left\{ \frac{V_{cws,Rd}}{\beta} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd}, F_{cwc,Rd} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd}, F_{bfc,Rd} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd} \right\} \quad (3.26)$$

eşitliği (3.21) deki sınırlamaya benzer yalnız burada i.bulon sırasının üstündeki tüm sıralar dahil edildi;

$$F_{ti,Rd} = \min \left\{ F_{cfb,Rd(i)}, F_{cfb,Rd(i+(i-1))} - F_{t(i-1),Rd}, \dots, F_{cfb,Rd(i+(i-1)+..+1)} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd} \right\} \quad (3.27)$$

$$F_{ti,Rd} = \min \left\{ F_{cwt,Rd(i)}, F_{cwt,Rd(i+(i-1))} - F_{t(i-1),Rd}, \dots, F_{cwt,Rd(i+(i-1)+..+1)} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd} \right\} \quad (3.28)$$

$$F_{ti,Rd} = \min \left\{ F_{epb,Rd(i)}, F_{epb,Rd(i+(i-1))} - F_{t(i-1),Rd}, \dots, F_{epb,Rd(i+(i-1)+..+1)} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd} \right\} \quad (3.29)$$

$$F_{ti,Rd} = \min \left\{ F_{bwt,Rd(i)}, F_{bwt,Rd(i+(i-1))} - F_{t(i-1),Rd}, \dots, F_{bwt,Rd(i+(i-1)+..+1)} - \sum_{j=1}^{i-1} F_{tj,Rd} \right\} \quad (3.30)$$

(3.27-3.30) bağıntıları (3.22-3.25) bağıntılarına benzer olmakla birlikte i. ve ondan önceki ardışık bulon sıralarından oluşabilecek bulon gruplarını dikkate alıyor. Örneğin i=3 olduğunda eşitlik 3.27 şu şekilde yazılır.

$$F_{t3,Rd} = \min \left\{ F_{cfb,Rd(3)}, F_{cfb,Rd(3+2)} - F_{t2,Rd}, F_{cfb,Rd(3+2+1)} - F_{t2,Rd} - F_{t1,Rd} \right\} \quad (3.31)$$

d) Son olarak giriş kolon birleşimine ait $M_{j,Rd}$ dizayn moment dayanımı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^{nr} h_i \times F_{ti,Rd} \quad (3.32)$$

Burada; h_i : i. bulon sırasının basınç merkezine uzaklığını,

N_r : Çekmeye maruz bulon sırası sayısını gösterir.

3.3 Başlangıç Dönme Rijitliğinin Tahmini

Şekil 3.4'te birleşimin eğilme dayanımı ve dönme rijitliğini tahmin etmek için kullanılan bir mekanik model tanıtıldı. Özellikle düğüm dönme rijitliğinin tahmini için gereken formüller temel bileşenlerin uzama rijitliklerinden başlayarak verildi. Bu formüller düğüm bileşenlerinin uzama rijitlikleri doğru şekilde tanımlandığı takdirde uygulanabilir. Aşağıda

teorik irdeleme ve deney kanıtlarını esas alarak verilen düğüm bileşenlerinin uzama rijitlikleri analiz edilecektir.

3.3.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi

Panel bölgesinin rijitliği için kaynaklı birleşimlerdeki gözlemler ve geliştirilen formulasyonlar burada da kullanılabilir. Özellikle şekil 3.3 ve 3.4'te çizilen kesmeye maruz kolon gövdesini modelleyen yayın eksenel rijitliği kaynaklı birleşimlerde de yer alan şu ifadeye eşittir.

$$K_{cws} = \frac{G \times A_{vc}}{\beta \times h_t} = 0,38 \times \frac{E \times A_{vc}}{\beta \times h_t} \quad (3.33)$$

Ayrıca rijitleştirici etkisi olan gövde takviye levhaları ve diagoneller içinde kaynaklı birleşimlerdeki formulasyona bakılabilir.

3.3.2 Basınca maruz kolon gövdesi

Kaynaklı birleşimlerde belirtildiği gibi basınca maruz kolon gövdesinin eksenel rijitliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$K_{cwc} = E \times \frac{b_{eff.cwc} \times t_{wc}}{d_{wc}} \quad (3.34)$$

Burada, denklem 3.6'da verilen $b_{eff.cwc} = t_{fb} + 2 \times \sqrt{2} \times a_{pf} + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p$ rijitlik hesabında kaynaklı birleşimlerde belirtildiği gibi kirişin basınç flanjından 45° lik kuvvet yayılımı esasına dayanan efektif genişliği gösteriyor. (Faella et al 1995a; 1995b; 1995c; Humer ve Tschemmernegg, 1988) [3] Eğer kolon süreklilik levhalarıyla rijitleştirildiyse, rijitleştiricilerin uzama deformasyonu kaynaklı birleşimlerdeki gibi dikkate alınır.

3.3.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi

i. bulon sırası için çekmeye maruz kolon gövdesini modelleyen yay elemanının rijitliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$K_{cwt} = E \times \frac{b_{eff.cwt} \times t_{wc}}{d_{wc}} \quad (3.35)$$

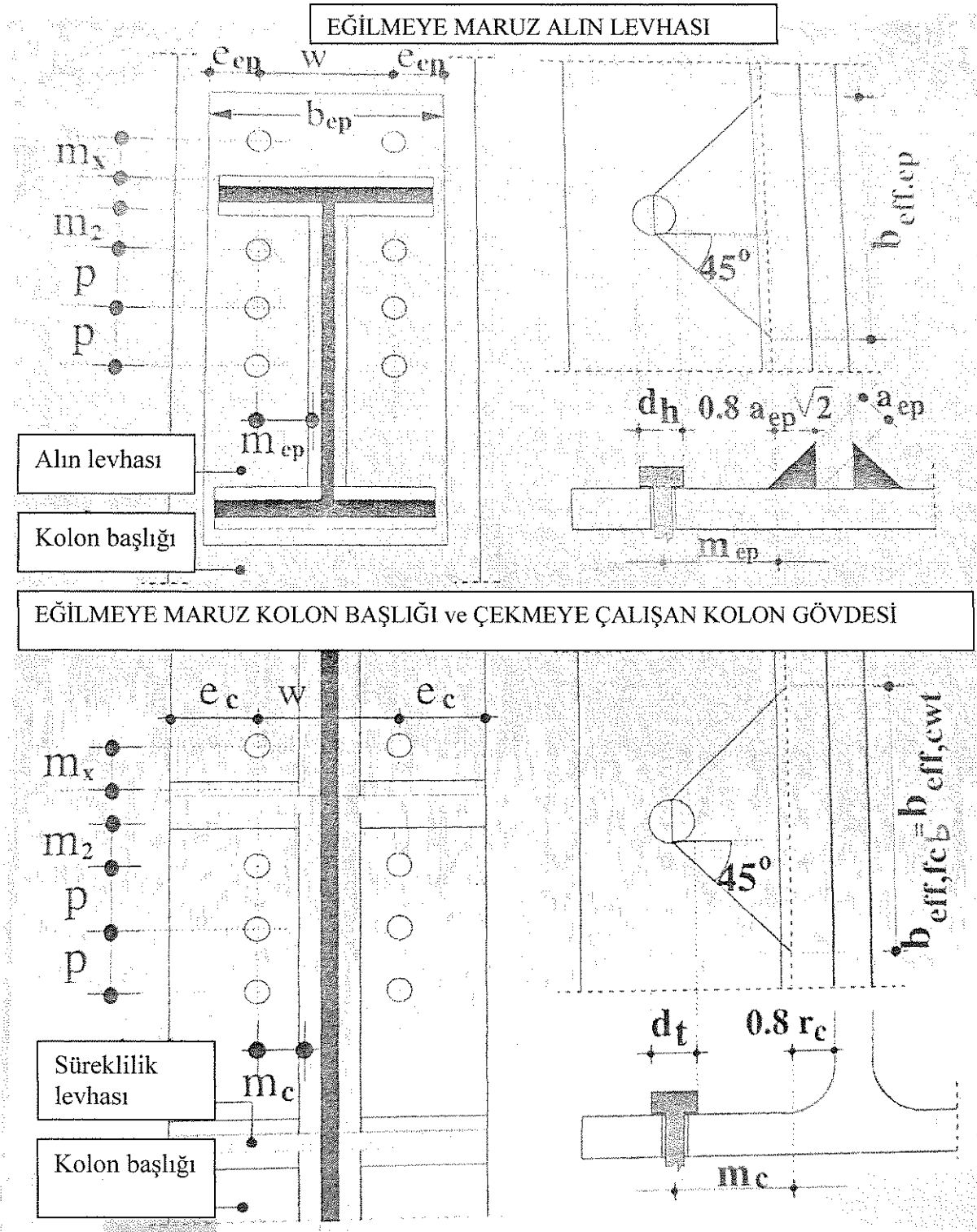
Bu ifade kaynaklı birleşimlerde kullanılan ifade ile örtüşse bile uygulamasında bazı önemli farklılıklar dikkate alınmalıdır. Bu denklem her bir bulon sırasının içinde eşdeğer T parçasına karşılık gelen efektif genişlik uygun şekilde hesap edilerek kullanılır. Eldeki deney sonuçları (Faella et al., 1995a, 1995c, 1996) [3] ile yapılan çok sayıda karşılaştırma sonucunda efektif genişlik tekil bulon kuvvetleri sonucu bulon başı kenarından başlayıp 45° lik yayılma sonucu meydana gelen eşdeğer ankastre yüzey dikkate alınarak hesap edilir. Bulon sıralarının farklı yerleri için efektif genişlikleri hesaplayan bağıntılar tablo 3.5'te sembollerin notasyonları şekil 3.14'te verilmiştir. Burada iki taraflı yerleşim ve rijitleştirici elemanların varlığı dikkate

alınmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçların ışığında (Faella et al.,1996; 1998) [3] her bulon sırasının eşdeğer T-parçasına ait efektif genişliğini hesaplamak için verilen yukarıdaki formüller sadece çekmeye maruz kolon gövdesi (cwt) için değil, eğilmeye maruz kolon başlığı (cfb) ve eğilmeye maruz alın levhası (epb) içinde kullanılabilir.

Tablo 3.5 cwt, cfb, epb bileşenleri için efektif genişlikler¹⁸

Bulon Sırasının Yeri	Efektif Genişlik
Kiriş çekme başlığı dışında yer alan alın levhası bulon sırası	$b_{eff} = \min \left\{ d_h + 2m_x; \frac{b_{ep}}{2}; e_{ep} + \frac{d_h}{2} + m_x; m_x + \frac{d_h}{2} + \frac{w}{2} \right\}$
Bir rijitleştiriciye komşu olan bulon sırası	$b_{eff.1} = \min \left\{ d_h + 2m; \frac{d_h}{2} + \frac{p}{2} + m \right\}$ cwt ve cfb durumunda $m=m_c$, epb durumunda $m=m_{ep}$ kullanılır.
	$b_{eff.2} = \min \left\{ d_h + 2m; \frac{d_h}{2} + m + e_{ep} \right\}$ cwt ve cfb durumunda sırasıyla 1. ve 2. bulon sırası için $m=m_x$, $m=m_2$, epb durumunda $m=m_2$ kullanılır cwt ve cfb durumunda $e=e_c$, epb durumunda $e=e_{ep}$ kullanılır.
	$K_{cfb} = E \times \frac{0,5 \times b_{eff.1} \times t_{fc}^3}{m_c^3} + E \times \frac{0,5 \times b_{eff.2} \times t_{fc}^3}{m_2^3}$ $K_{epb} = E \times \frac{0,5 \times b_{eff.1} \times t_{ep}^3}{m_c^3} + E \times \frac{0,5 \times b_{eff.2} \times t_{ep}^3}{m_2^3}$
Diğer iç bulon sırası	$b_{eff} = \min \left\{ d_h + 2m; \frac{pi}{2} + \frac{pj}{2}; \frac{d_h}{2} + m + \frac{pi}{2} \right\}$ cwt ve cfb durumunda $m=m_c$ epb durumunda $m=m_{ep}$ kullanılır. pi, pj komşu bulon sıralarından olan uzaklıktır.
Diğer uçtaki bulon sırası	$b_{eff} = \min \left\{ d_h + 2m; \frac{d_h}{2} + \frac{pi}{2} + m \right\}$ cwt ve cfb durumunda $m=m_c$ epb durumunda $m=m_{ep}$ kullanılır. pi komşu bulon sıralarından olan uzaklıktır.

¹⁸ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 193'ten faydalanarak düzenlenmiştir. [3]



Şekil 3.14 Efektif Genişlik Hesabı İçin Gerekli Parametreler¹⁹

¹⁹ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 194'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

3.3.4 Eğilmeye maruz kolon başlığı ve eğilmeye maruz alın levhası

Daha öncede belirtildiği gibi eğilmeye maruz kolon başlığı ve alın levhası eşdeğer T parçası ile modellenebilir. Herbir bulon sırası için bu eşdeğer T parçası bulon sırasının yerine bağlı olarak efektif genişlik ile tanımlanabilir. Herbir bulon sırasına ait eşdeğer T parçasının efektif genişliğini hesaplama kriterleri, çekmeye maruz kolon gövdesinde bulon başı kenarından 45° ile yayılan bulon kuvveti baz alınarak Tablo 3.5'te verilmişti. Efektif genişlik doğru şekilde hesaplanır hesaplanmaz herbir bulon sırasını c_{fb} 'yi veya e_{pb} 'yi modelleyen yay elemanının rijitliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir. Bu değer eğilmeye maruz kolon başlığına karşılık gelen yay elemanının rijitliği olarak şöyle ifade edilir.

$$K_{c_{fb}} = E \times \frac{0,5 \times b_{eff,cf} \times t_{fc}^3}{m_{fc}^3} \quad (3.36)$$

Eğilmeye maruz alın levhasını modelleyen yay elemanının rijitliği ise benzer ifadeyle aşağıda verilmiştir.

$$K_{e_{pb}} = E \times \frac{0,5 \times b_{eff,ep} \times t_{ep}^3}{m_{ep}^3} \quad (3.37)$$

Burada şu noktayı vurgulamak yararlı olacaktır: c_{fb} ve e_{pb} 'yi modelleyen yay elemanlarının rijitliğini hesaplayan yukarıdaki formüller, bu bölümde anlatılan prosedür ile dayanım hesabında kullanılan b_{eff} 'in 0,85 katını rijitlik hesabında dikkate almayı öneren EC3 (CEN, 1997)'nin prosedürü arasındaki temel farkı belirler.

3.3.5 Çekmeye maruz bulon sırası

Herbir bulon sırası için çekmeye maruz bulonları modelleyen yay elemanlarının rijitliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$K_b = E \times \frac{1,6 \times A_b}{L_b} \quad (3.38)$$

Burada A_b : Bulonun direnç alanı

L_b : Bağlanan plakaların ve cıvataların kalınlığı, somun ve bulon başının yarım kalınlıkları cinsinden hesap edilen bulon uzunluğudur.

3.3.6 Öngermeli bulonların dönme rijitliğine etkisi

Bulonlarda öngirme, bulonlu alın levhalı birleşimlerin dönme rijitliğini belirgin şekilde etkiliyor.(Agerskov, 1976;Bursi, 1990; Jaspert ve Maguoi, 1995; Faella et al., 1998) [3]

Özellikle öngermeli bulonların iki etkisi üzerine vurgu yapılırsa. ilk etki bulon ve birleştirilmiş levha sisteminin eksenel rijitliğinde bir artış oluşturmaktadır. Bu etki şu bağıntıyla ifade edilir.

$$K_{bp} = K_b + K_p \quad (3.39)$$

Burada;

K_{bp} : Tek bulon levha sisteminin eksenel rijitliği

K_b : Tek bulonun eksenel rijitliği

K_p : Öngirme sonucu levhaların sıkıştırılması ile doğan katkı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$\frac{K_p}{K_b} \approx 4.10 + 3.25 \times \frac{t_p}{d_b} \quad (3.40)$$

Burada t_p birleştirilen levhaların (burada kolon başlığı ve alın levhası) ortalama kalınlığıdır.

İkinci etki ise bulondaki öngermenin , bulonların tutma görevi üzerindeki etkisidir. Analiz ve deneysel bilgiler ışığında bu etki daha önce verilen K_{cfb} , K_{epb} rijitliklerini bir Ψ katsayısı ile uygun şekilde düzelterek hesaba katılabilir.Bu Ψ katsayısı, başlıkların eğilme rijitliğinin bulon eksenel rijitliğine oranını ifade ediyor. Böylelikle öngermeli bulon kullanıldığında, eğilmeye maruz kolon flanşını modelleyen yay elemanının rijitliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$K_{cfb} = \Psi_{cf} \times E \times \frac{0.5 \times b_{eff,cf} \times t_{fc}^3}{m_c^3} \quad (3.41)$$

Benzer şekilde eğilmeye maruz alın levhasını modelleyen yay elemanının rijitliği şöyle hesaplanabilir.

$$K_{epb} = \Psi_{ep} \times E \times \frac{0.5 \times b_{eff,ep} \times t_{ep}^3}{m_{ep}^3} \quad (3.42)$$

Yukarıdaki Ψ_{cf} , Ψ_{ep} katsayılarının eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$\Psi_{cf} = 0.57 \times \left(\frac{t_{fc}}{d_b \times \sqrt{m_c / d_b}} \right)^{-1.28} \quad (3.43)$$

$$\Psi_{ep} = 0.57 \times \left(\frac{t_{ep}}{d_b \times \sqrt{m_c / d_b}} \right)^{-1.28} \quad (3.44)$$

Bulon öngermelerini hesaba katan yukarıdaki bağıntıların güvenilirliğini analiz edebilmek için SERICON (Weinand, 1992) ve SCDB (Kishi ve Chen, 1986) [3] bilgi bankalarından toplanan deney sonuçlarıyla kıyaslanmak üzere bileşenler metodu uygulandı. Bu nedenle öngermeli bulon kullanılan birleşimler seçildi.(Testler Humer, Kalyonov, Packer ve Grundy tarafından gerçekleştirildi) [3]

Tablo 3.6 Öngermeli birleşimler için tahmin edilen değerler ile deney sonuçlarının kıyaslanması²⁰

Öngermeli Deney Sonuçları			Öngermesiz Hesap		Öngermeli Hesap	
Yazarlar	Kod	$K_{\phi.exp}$	$K_{\phi.c}$	$\frac{K_{\phi.c}}{K_{\phi.exp}}$	$K_{\phi.c}$	$\frac{K_{\phi.c}}{K_{\phi.exp}}$
J.A.Packer ve diğerleri (1977)	J1	15605	11937	0,71	12784	0,82
J.A.Packer ve diğerleri (1977)	J2	7638	8343	1,09	10320	1,35
J.A.Packer ve diğerleri (1977)	J3	7638	5267	0,69	8377	1,10
P.Grundy ve diğerleri (1980)	T1	371102	198196	0,53	235411	0,63
P.Grundy ve diğerleri (1980)	T3	375000	198229	0,53	239260	0,64
Kalyonov ve diğerleri (1991)	T110001	490385	282244	0,58	388345	0,79
Kalyonov ve diğerleri (1991)	T110002	137937	111470	0,81	124638	0,90
Kalyonov ve diğerleri (1991)	T110005	135149	116489	0,86	131893	0,98
C. Humer (1987)	T109003	18746	27761	1,48	32573	1,74
C. Humer (1987)	T109004	74135	53181	0,72	62759	0,85
C. Humer (1987)	T109005	67915	72035	1,06	84194	1,24
C. Humer (1987)	T109006	115704	110224	0,95	127783	1,10
ORTALAMA DEĞER				0,83		1,01
STANDART SAPMA				0,28		0,32

²⁰ Structural Steel Semirigid Connections, sayfa 201'den faydalanarak düzenlenmiştir. [3]

Öngerilmeli deney sonuçlarıyla kıyaslandığında elde edilen sonuçların analizinden formüllerde bulon öngerilmesinin dikkate alınmasıyla birleşimlerin dönme rijitliğinin tahmini değeri için, formüllerde öngerilmenin dikkate alınmadığı duruma göre ortalama daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıktığı söylenebilir. (Tablo 3.6)

Başka bir ifadeyle hesap rijitliğinin ($K_{\phi,c}$), deney sonucu rijitliğine ($K_{\phi,exp}$) oranları toplandığında öngerilmeli durumda ortalama değer 1,01 iken , öngerilmemiş durumda 0,83'e eşittir.

Yalnız burada vurgulanması gereken, yukarıdaki deney kodlarının hangi birleşim detayına ait olduklarının bilinmesi sonuçlar üzerine yorum yaparken önem kazanır. Şöyle ki; tablo üzerinde en sağ sütundaki kimi (hesap sonucu/deney sonucu) oranlarının 1'in üzerine çıkıyor olması, bu düğüm noktalarının hesaplanan rijitliklerinin deney sonuçlarından büyük çıktığını göstermektedir.

4. SAYISAL UYGULAMA : SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK RİJİT

ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN İKİ KATLI ÇELİK OFİS BİNASININ ÇERÇEVE YÜKLEME ANALİZİ VE DİZAYN AŞAMALARI

Deprem yönetmeliği (DBYBHY 2007) gözönünde tutularak TS 648'e göre boyutlandırma yapıldı. Sistemin statik çözümünde Etaps yapısal analiz programı kullanıldı. Ön boyutlandırmada kirişler geniş başlıklı hafif HE-A, ara ve kenar kolonlar geniş başlıklı HE-B profillerinden teşkil edilmiştir. Çelik kalitesi St 37 seçildi.

Birleşim malzemesi olarak bulonlarda 4.2.3.2 ye göre deprem yükleri etkisinde olan elemanların birleşim ve eklerinde ISO 10.9 diğer birleşim ve eklerde ve kolon ankrajlarında ISO 5.6 tipi kullanılacaktır. Kaynak ile ilgili koşullarda DY 2007 4.2.3.3 geçerlidir.

4.1 Yayılı Yükler

- Döşeme Zati Ağırlığı

Kaplama+harç +sıva = 1,34 kN/m²

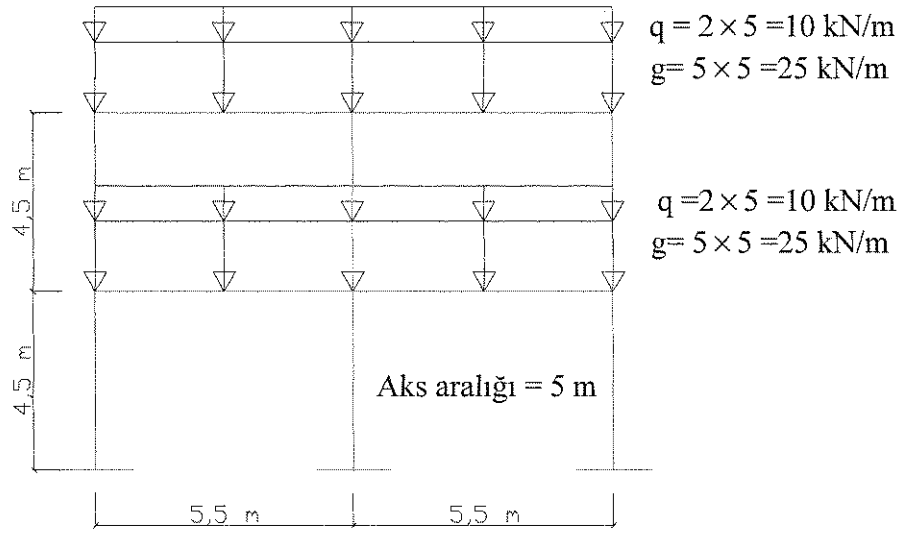
10 cm hasırlı beton = 3,125 kN/m²

Galvanizli sac = 0,1 kN/m²

Asma tavan + tesisat = 0,35 kN/m²

Toplam sabit yük Σg = 5 kN/m² (İki katta da aynı kabul edildi)

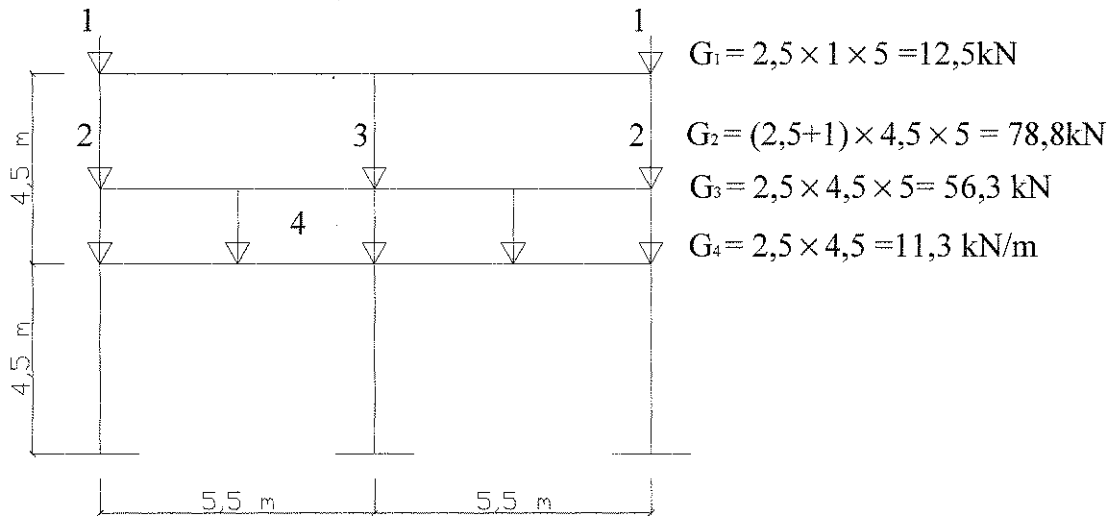
- Hareketli yük q = 2 kN/m² (TS 498)



DÜŞEY YÜKLER

Şekil 4.1 Düşey Yükler

- Cephe Yüğü = 1 kN/m²
- Duvar yüğü = 2,5 kN/m²
- Parapet yüğü = 2,5 kN/m² (1 metre yüksekliğinde)



DUVAR PARAPET CEPHE YÜKLERİ

Şekil 4.2 Duvar Parapet Cephe Yüğü

- Rüzgar Yüğü (TS 498)

Rüzgarın basınç uyguladığı cepheye gelen yük:

$$W = C_p \times q = 0,8 \times 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

Rüzgarın çekme uyguladığı cepheye gelen yük:

$$W = C_p \times q = 0,4 \times 0,5 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

C_p : Rüzgar basıncı katsayısı

q : Yerden yüksekliğe bağlı rüzgar basıncı

$q = 0,5 \text{ kN/m}^2$ (Tüm yapı yüksekliği için sabit kabul edildi)

4.2 Kat Yükleri

4.2.1 Kat düşey yükleri

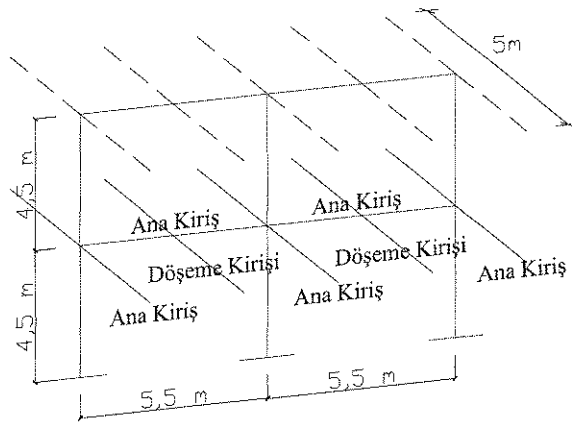
4.2.1.1 Çatı katı yükleri

a) Ana Kiriş Ağırlığı

$$\begin{aligned} \text{(IPBl) HEA 240 kabulüyle : } 7,85 \times A \times \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right) \times (2 \times L + 3 \times L_{aks}) &= \\ &= 7,85 \times 76 \times \left(\frac{10}{10000}\right) \times (2 \times 5,5 + 3 \times 5) = 15,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Döşeme Kirişi (ikincil kiriş) Ağırlığı

$$\begin{aligned} \text{(IPBl) HEA 220 kabulüyle : } 7,85 \times A \times \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right) \times (2 \times L_{aks}) &= \\ &= 7,85 \times 64 \times \left(\frac{10}{10000}\right) \times (2 \times 5) = 5 \text{ kN} \end{aligned}$$



Şekil 4.3 Sistemde Çerçeve Aksına Dik Yönde Diğer Elemanların Konumları

c) Döşeme Ağırlığı : $2 \times (\Sigma g \times L_{aks} \times L) = 2 \times (5 \times 5 \times 5,5) = 275 \text{ kN}$

d) Düşüm Noktalarına Parapet Yüğü:

$$2a \text{ det} \times (2,5 \times h \times L_{aks}) = 2 \times (2,5 \times 1 \times 5) = 25 \text{ kN}$$

e) Cephe kaplaması : $2 \times (1 \times \frac{H}{2} \times L_{aks}) = 2 \times (1 \times \frac{4,5}{2} \times 5) = 22,5 \text{ kN}$

Çatı Katı Zati yükler toplamı : $\Sigma G = 343 \text{ kN}$

f) Çatı Katı Hareketli yükler toplamı:

$$\Sigma Q = 2 \times (2 \times L) \times L_{aks} = Q = 110 \text{ kN}$$

4.2.1.2 Ara katı yükleri

a) Ana Kiriş Ağırlığı

(IPBl) HEA 240 kabulüyle: $= 15,6 \text{ kN}$

b) Döşeme Kirişi Ağırlığı

(IPBl) HEA 220 kabulüyle : $= 5 \text{ kN}$

c) Döşeme Ağırlığı : $= 275 \text{ kN}$

d) İç ve dış duvar yükü + doğrama :

$$2,5 \times H \times [2 \times L + 2 \times L_{aks}] = 2,5 \times 4,5 \times [2 \times 5,5 + 2 \times 5] = 236 \text{ kN}$$

e) Cephe kaplaması : $2 \times (1 \times H \times L_{aks}) : 2 \times (1 \times 4,5 \times 5) = 45 \text{ kN}$

f) Kolon Ağırlığı :

Ara kolonun ağırlığı HEB 260 kabulüyle : $7,85 \times 93 \times 10/10000 = 0,73 \text{ kN/m}$

Dış kolonun ağırlığı HEB 240 kabulüyle : $7,85 \times 83 \times 10/10000 = 0,65 \text{ kN/m}$

Toplam Kolon Ağırlığı :

$$4,5 \times [(1 \times 0,73 + 2 \times 0,65)] = 9,1 \text{ kN}$$

Ara Katı Zati yükler toplamı : $\Sigma G = 586 \text{ kN}$

g) Ara Katı Hareketli yükler toplamı:

$$\Sigma Q = 2 \times (2 \times L) \times L_{aks} = 2 \times (2 \times 5,5) \times 5 = 110 \text{ kN}$$

Depremde harekete geçen yükü dikkate almak için n hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hareketli yük azaltılır.

Tablo 4.1 Yapı Kat Ağırlıkları

KAT NO	G: (kN)	Q:(kN)	W:TOPLAM YÜK	W _i :ΣG+nΣQ
2	343	110	453	376
1	586	110	696	619
Σ				995

4.2.2 Yatay yükler

4.2.2.1 Rüzgar yükleri

- Çatı katına etkiyen rüzgar yükü (basınç):

$$W_2 = C_p \times q \times L_{aks} \times \frac{H}{2} = 0,8 \times 0,5 \times 5 \times \frac{4,5}{2} = 4,5 \text{ kN}$$

- Normal kata etkiyen rüzgar yükü (basınç):

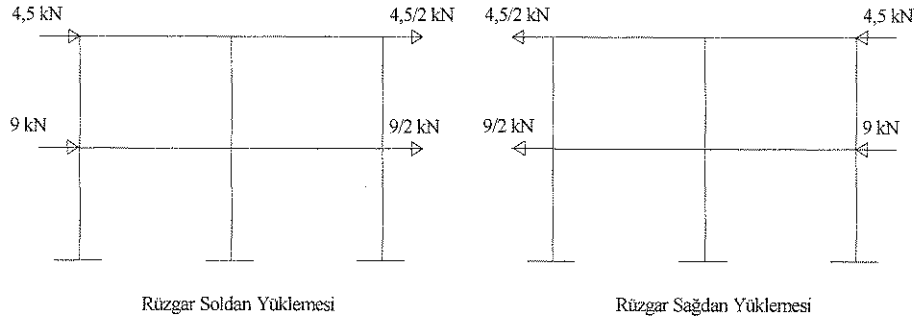
$$W_1 = C_p \times q \times L_{aks} \times H = 0,8 \times 0,5 \times 5 \times 4,5 = 9 \text{ kN}$$

- Çatı katına etkiyen rüzgar yükü (çekme):

$$W_2 = C_p \times q \times L_{aks} \times \frac{H}{2} = 0,4 \times 0,5 \times 5 \times \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ kN}$$

- Normal kata etkiyen rüzgar yükü (çekme):

$$W_1 = C_p \times q \times L_{aks} \times H = 0,4 \times 0,5 \times 5 \times 4,5 = 4,5 \text{ kN}$$



Şekil 4.4 Rüzgar Soldan-Sağdan Yüklemeleri

4.2.2.2 Deprem yükleri

- Deprem bölgesi : 2. derece
- Etkin Yer ivmesi Katsayısı : $A_0 = 0,3$
- Yerel Zemin Sınıfı : Z_2

(En üst tabakası 15 metreden fazla ayrılmış ve çatlaklı kayalar; sıkı çakıl ve kum çok katı kil ve siltli kil veya en üst tabaka kalınlığı 15 metreden az yumuşak süreksiz düzlemli çok ayrılmış kayalar, orta sıkı çakıl ve kum; katı kil ve siltli kil.)

- Zemin Sınıfı Spektrum Karakteristik Periyodları :

Z_2 için; $T_A=0,15$ sn ve $T_B=0,40$ sn

- Bina Önem Katsayısı = 1 (İnsanların az yığıldığı binalar işyerleri için)
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı : R

Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar için süneklik düzeyi normal çerçeve için : $R_x = 5$

- İşyerleri için (büro) hareketli yük katılım (azaltma) katsayısı : $n = 0,3$
- $T_1 = 0,80$ sn (Etaps Analizi)
- $T_1 > T_B$ için Spektrum katsayısı DY 2007'den;

$$S_{T1} = 2,5 \times \left(\frac{T_B}{T_1} \right)^{0,8} = 1,44 \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} A_{T1} &= A_0 \times I \times S_{T1} \text{ Spektral ivme katsayısı olmak üzere} \\ &= \text{Etkin yer ivmesi katsayısı} \times \text{Bina önem katsayısı} \times \text{Spektrum katsayısı} \\ &= 0,3 \times 1 \times 1,44 = 0,43 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Yapı ağırlığı kat ağırlıklarının toplamı olarak bina ağırlığı;

$$W = \sum W_i = \sum (G_i + n \times Q_i) = 995 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Deprem yükünü azaltma katsayısı yapı süneklik düzeyine bağlı olarak :

$$R_{AT1} = R = 5 \quad (T_A < T \text{ iken})$$

Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (Taban Kesme Kuvveti) V_t olmak üzere,

$$\begin{aligned} V_t &= \frac{W \times A_{T1}}{R_{AT1}} \geq 0,1 \times A_0 \times I \times \sum W_i = \\ &= \frac{995 \times 0,43}{5} = 85,6 \text{ kN} \geq 0,1 \times 0,3 \times 1 \times 995 = 29,9 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.4)$$

- Deprem yükü, yapı ağırlığı $\times$ spektral ivme katsayısı ($W \times A_{T1}$) şeklinde doğrusal olmayan elastik ötesi davranış gerektiren bir yüklemedir.
- Yapı R_{AT1} deprem yükü azaltma katsayısıyla doğrusal elastik davranışa göre yük alıyor. Sünek olduğu için doğrusal olmayan elastik ötesi davranışta enerji yutabiliyor.

- Yapının kat seviyelerine uygulanacak yatay yükleri olan kat kuvvetleri ;

$$F_i = (V_t - \Delta_{FN}) \times \frac{W_i \times H_i}{\sum W_j \times H_j} \quad (4.5)$$

Burada Δ_{FN} binanın çatı katına etkiyen ek eş değer deprem yüküdür.

$$\Delta_{FN} = 0,0075 \times N \times V_t \quad (4.6)$$

Kat Kesme kuvveti $V_i = V_{i+1} + F_i$ şeklinde hesaplanır.

Tablo 4.2 Çerçeve Doğrultusunda Deprem Yükleri

KAT NO	H_i (metre)	W_i (kN)	$W_i \times H_i$ (kNm)	$F_i = V_t \times W_i H_i / \sum W_j H_j$	V_i (kN)
2	9	376	3384	47,0	47,0
1	4,5	619	2785,5	38,6	85,6
Σ			6169,5		

Deprem yüklerinin etkiye noktaları kat döşemelerinin düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışması ve her iki doğrultuda simetrik olması nedeniyle kat kütle merkezine etkitilmiştir.

4.3 Yük Kombinasyonları

Statik hesap sonucu elde edilen iç kuvvetler aşağıdaki şekilde birleştirilir.

- 1- Düşey Yük : G+Q
- 2- Düşey Yük + Deprem : G+Q $\pm$ E
- 3- Zati Yük + Deprem : 0,9G $\pm$ E
- 4- Düşey Yük+ Rüzgar : G+Q $\pm$ W
- 5- Zati Yük + Rüzgar : 0,9G $\pm$ W

Süneklik düzeyi normal çerçeveler için büyütme katsayısı $\Omega_0 = 2$ alınarak DY 2006 4.2.4'e göre arttırılmış deprem yükleri kombinasyonları aşağıda verilmiştir.

- 6- Düşey Yük + $\Omega_0 \times$ Deprem : G+Q $\pm 2E$
- 7- Zati Yük + $\Omega_0 \times$ Deprem : 0,9G $\pm 2E$

4.4 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması

DY 2007 2.10.1.'e göre kontrol yapılır. Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, Δ_i ,

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.7)$$

ile elde edilecektir. d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdegistirmeleri göstermektedir. (DY 2007 2.10.1.1)

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler

için etkin görelî kat ötelemesi, δ_i , $\delta_i = R \times \Delta$ ile elde edilecektir. (DY 2007 2.10.1.2) **(4.8)**

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon

veya perdelerde, hesaplanan etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri

$$(\delta_i)_{\max}, \frac{d_{i\max}}{h_i} \leq 0,02 \text{ koşulunu sağlayacaktır. (DY 2007 2.10.1.3)} \quad \mathbf{(4.9)}$$

Koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanacaktır. (DY 2007 2.10.1.4)

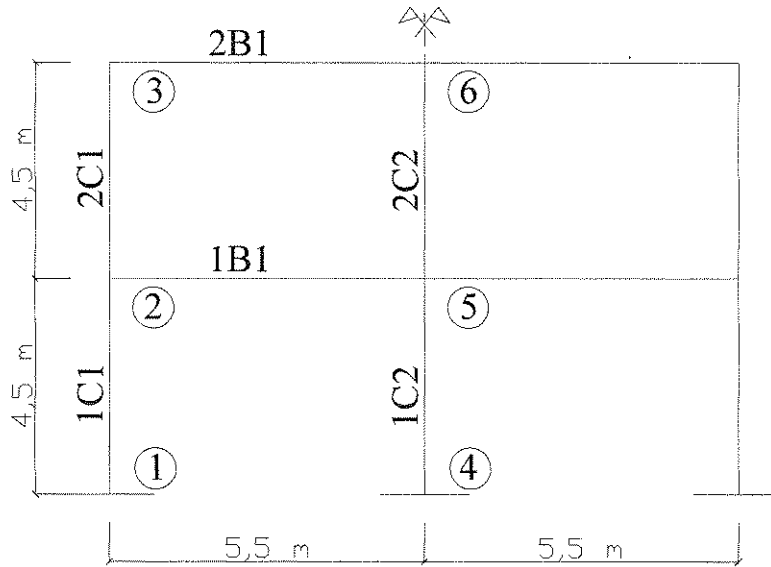
Tablo 4.3 Çerçeve Düzleminde Kat Ötelemeleri

Kat No	$h_i(\text{cm})$	$d_i(\text{cm})$	$D_{i\max}$	$d_{i\max}=R \times D_{i\max}$	$\Theta=d_{i\max}/h_i$	Üst Sınır
2	450	1,83	0,86	4,30	0,0096	0,02
1	450	0,97	0,97	4,85	0,0108	0,02

4.5 Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması

4.5.1 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması

4.5.1.1 Kesit seçimi



Şekil 4.5 Düğüm No ve Eleman İsmi

Tablo 4.4 Elverişsiz Kombolar -Mesnet Yüzü Çubuk Uç Kuvvetleri

Çubuk No:	Düğüm No:	Elverişsiz Kombolar- Mesnet Yüzü Çubuk Uç Kuvvetleri (kN-m)								
		GQ			GQE			GQW		
		M	V	N	M	V	N	M	V	N
1B1	2	71	115	0	116	132	0	46	100	0
	5	137	139	0	178	155	0	163	140	0
2B1	3	43	84	0	63	92	0	33	81	0
	6	109	108	0	125	115	0	119	112	0
1C1	1	14	9,5	296	64	29	331	37	19	283
	2	25	9,5	296	55	29	331	39	19	283
2C1	2	42	19	100	69	32	112	48	22	97
	3	35	19	100	62	32	112	43	22	97
1C2	4	0	0	560	126	47	560	58	22	560
	5	0	0	560	67	47	560	33	22	560
2C2	5	0	0	221	53	27	221	10	6,6	221
	6	0	0	221	59	27	221	17	6,6	221

Çerçeve 1. kat kirişinde (1B1), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait tasarım kesit zorları aşağıdaki gibidir.

$$Md_{sol} = 116 \text{ kNm} = 11600 \text{ kNcm}$$

$$Md_{sağ} = 178 \text{ kNm} = 17800 \text{ kNcm}$$

$$Vd_{sağ} = 155 \text{ kN}$$

$$W = \frac{M}{\sigma_{Hz} em} = \frac{17800}{16} = 1113 \text{ cm}^3 \quad (4.10)$$

$\sigma_{Hz} em = 16$ Esas ve ilave yükler için emniyet gerilmesidir.

Seçilen Kesit : HE300A (IPB1 300)

$$W_x = 1260 \text{ cm}^3; \quad I_x = 18260 \text{ cm}^4; \quad t_f = 1,4 \text{ cm}; \quad s = 0,85 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}; \quad h = 29 \text{ cm}$$

4.5.1.2 Kompaktlık koşulu kontrolü

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kiriş enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Başlık genişliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (4.11)$$

$$\frac{15}{1,4} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 10,7 < 14,9 \text{ (HE 300 A için)}$$

Gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{h - 2t_f}{s} \leq 5 \times \sqrt{E_s / E_a} \quad (4.12)$$

$$\frac{26,2}{0,85} \leq 5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 30,8 < 149,5 \text{ (HE 300 A için)}$$

4.5.1.3 Yanal doğrultuda burkulma kontrolü

DY 2007 4.3.6.3'e göre betonarme döşemelerin çelik kirisler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde , kirişlerin üst ve alt başlıkları yanal doğrultuda mesnetlenecektir koşuluna uyulması zorunlu değildir.

Buna ramen kiriş alt başlığı tamamen tutulu sayılamayacağından burada kiriş alt başlığının mesnet bölgesindeki burkulma tahkiki yapılmıştır.

TS 648 3.3.4.2'ye göre basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde basınç emniyet gerilmesi şu şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} < 0,6 \times \sigma_a \quad (4.13)$$

l_b : Kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arası uzaklık

$$l_b = 5,5 \text{ m}$$

C_b : Uç momentlerine bağlı bir katsayı

$$C_b = 1,75 - 1,05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0,3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 < 2,3 \text{ olmalı} \quad (4.14)$$

$$C_b = 1,75 - 1,05\left(\frac{11600}{17800}\right) + 0,3\left(\frac{11600}{17800}\right)^2 < 2,3$$

$$C_b = 1,19 < 2,3$$

h : Kesit başlıkları arasında dıştan dışa mesafe

A_b : Basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin 1/3

$$\begin{aligned} \text{Gövde yüksekliği : } h_1 &= h - 2 \times t \\ &= 29 - 2 \times 1,4 = 26,2 \text{ cm} \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Basınç Alanı : } A_b &= b \times t + h_1 \times s/6 \\ &= 30 \times 1,4 + 26,2 \times 0,85/6 = 45,71 \text{ cm}^2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times 1,19}{550 \times 29 / 45,71} = 28,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = 28,72 > 14,1 \text{ olduğundan } \sigma_{Bx} = 14,1 \text{ kN/cm}^2 \text{ kullanılır.}$$

$$\sigma = \frac{M_d}{W} = \frac{17800}{1260} = 14,13 \text{ kN/cm}^2 < 18,75 \text{ kN/cm}^2 (\sigma = 14,1 \times 1,33)$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{V_d}{(h - 2t) \times s} = \\ &= \frac{155}{(29 - 2 \times 1,4) \times 0,85} = 6,96 \text{ kN/cm}^2 < 10,5 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\text{Sehim değeri G+Q yüklemesi için } f = 0,41 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm} \quad (4.18)$$

Burada f hareketli ve kalıcı yük etkisindeki sehimdir.

Üst kat 2B1 kirişinin kesit tesirleri daha küçük olduğundan HE300A kesiti burada da kullanılacak.

4.5.2 Kolonların boyutlandırılması

4.5.2.1 Kesit seçimi

Güçlü kolon zayıf kiriş koşulundan yararlanarak seçim yapıldı.

DY2007 Madde 4.3.2 uyarınca çerçeve türü sistemlerde veya perdeli çerçeve sistemlerin çerçevelerinde gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasiteleri toplamı o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının $1.1 \times D_a$ katından daha büyük olacaktır.

Burada D_a pekleşme etkisini dikkate alan arttırma katsayıları

St 37 çeliğinden imal edilen hadde profilleri için $D_a = 1,2$ (DY2007, sayfa 68, tablo 4.1)

$$M_{pa} + M_{pu} \geq 1.1 \times D_a \times (M_{pi} + M_{vi} + M_{pj} + M_{vj}) \quad (4.19)$$

Burada M_{vi} , M_{vj} terimleri zayıflatılmış kiriş enkesitleri veya uçlarında guseler oluşturulması halinde , kiriş uçlarındaki olası plastik mafsallardaki kesme kuvvetlerinden dolayı, kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momentlerini göstermektedir.

M_{pa} : Düğüm noktasına yukardan bağlanan kolonun alt ucundaki eğilme momenti kapasitesi

M_{pu} : Düğüm noktasına aşağıdan bağlanan kolonun üst ucundaki eğilme momenti kapasitesidir.

Kolon eğilme momenti kapasitelerinin hesabında depremin yönü ile uyumlu olarak bu moment kapasitelerini en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri gözönüne alınacaktır.

M_{pi} , M_{pj} : Düğüm noktası etrafındaki kiriş uç kesitlerinin eğilme momenti kapasiteleridir.

Tek katlı binalarda ve çok katlı binaların kolonları üst kata devam etmeyen düğüm noktalarında denklem (4.19)'in sağlanıp sağlanmadığına bakılmayacaktır.

(DY2007, sayfa 71)

İki katlı rijit büro çerçevesinde ortadaki bir düğüm noktasının çevresi için denklem (4.19) kullanılarak şu ifade yazılabilir Normalde kolona ait akma gerilmesinin yerine azaltılmış

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} \text{ ifadesi kullanılır.} \quad (4.20)$$

Buradaki formülde A (kesit alanı) bilinmediğinden ön boyutlandırma için N_d dizayn normal kuvvetinin azaltıcı etkisi dikkate alınmamıştır :

$$\text{İç düğüm noktası için ; } 2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a \quad (4.21)$$

$$W_p = 2 \times S_x \text{ kolon veya kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti} \quad (4.22)$$

S_x : Kolon veya kiriş kesitinin yarısının statik momenti

HE 300 A kirişi için; $S_x = 692 \text{ cm}^3$

$$W_{pkolon} > 1,32 \times (2 \times 692) = 1826 \text{ cm}^3 \text{ olmalı}$$

Normal kuvvetin azaltıcı etkisi de dikkate alınarak orta kolon için bir numara büyük geniş başlıklı IPB 320 (HE-B) profili seçildi.

Seçilen profil kesiti, basınç kuvvetinin akma gerilmesini azaltıcı etkisi dikkate alınarak güçlü kolon zayıf kiriş durumuna göre kontrol edilirse;

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} = 23,5 - \frac{560}{161} = 20 \text{ kN/cm}^2$$

$$2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a$$

$$2 \times 2149 \times 20 \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times 1384 \times 23,5$$

85960 ≥ 85863 olduğundan iç düğüm için seçilen kolon profili uygun.

$$\text{Dış düğüm noktası için ; } 2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a \quad (4.23)$$

$W_p = 2 \times S_x$ kolon veya kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti

S_x : Kolon veya kiriş kesitinin yarısının statik momenti

HE300A kirişi için; $S_x = 692 \text{ cm}^3$

$$W_{pkolon} > \frac{1,32 \times (2 \times 692)}{2} = 913 \text{ cm}^3 \text{ olmalı}$$

Kirişin başlık genişliği dikkate alınarak IPB 300 (HE-B) profili seçildi.

Seçilen profil kesiti, basınç kuvvetinin akma gerilmesini azaltıcı etkisi dikkate alınarak güçlü kolon zayıf kiriş durumuna göre kontrol edilirse;

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} = 23,5 - \frac{331}{149} = 21,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a$$

$$2 \times 1053 \times 21,3 \geq 1.1 \times 1.2 \times 1384 \times 23,5$$

44812 ≥ 42931 olduğundan dış düğüm için seçilen kolon profili uygundur.

4.5.2.2 Kompaktlık (narinlik) koşulu kontrolü

HE-B 320 karakteristik değerleri aşağıda verilmiştir. (Orta kolon için : 1C2)

$W_x = 1930 \text{ cm}^3$ Kesitin mukavemet momenti

$S_x = 1070 \text{ cm}^3$ Kesitin statik momenti

$W_{xp} = 2149 \text{ cm}^3$ Kesitin plastik mukavemet momenti

$I_x = 30820 \text{ cm}^4$ Kesitin atalet momenti

$t_f = 2,05 \text{ cm}$ Kesitin başlık kalınlığı

$s = 1,15 \text{ cm}$ Kesitin gövde kalınlığı

$b = 30 \text{ cm}$; Kesitin başlık genişliği

$h = 32 \text{ cm}$ Kesitin yüksekliği

$i_x = 13,8 \text{ cm}$ Kesitin kuvvetli eksen yönünde atalet yarıçapı

$i_y = 7,57 \text{ cm}$ Kesitin zayıf eksen yönünde atalet yarıçapı

$A = 161 \text{ cm}^2$ Kesit alanı

$G = 127 \text{ kg/m}$ Profilin bir metresinin ağırlığı

Çerçeve orta alt kolonunda (1C2), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir.

$M_{da} = 12600 \text{ kNcm}$ (kolon alt ucu dizayn momenti)

$M_{du} = 6700 \text{ kNcm}$ (kolon üst ucu dizayn momenti)

$N_d = 560 \text{ kN}$

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kolon enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Eğilme ve aksenal basınç etkisindeki I kesitleri için 4.11'de verilen başlık genişliği / kalınlığı

koşulu : $\frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a}$

$$\frac{15}{1,9} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 7,89 < 14,9 \text{ (HE 320 B için):}$$

Eğilme ve aksenal basınç etkisindeki I kesitleri için gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$|N_d / (\sigma_a \times A)| > 0,1 \text{ için } \frac{h_g}{t_g} \leq 2,08 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \times \left(2,1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \text{ olmalıdır.} \quad (4.24)$$

Denklemde;

$$h_g = h - 2 \times t \text{ kolon gövde yüksekliği} \quad (4.25)$$

t_g : kolon gövde kalınlığıdır

$$h_g = 32 - 2 \times 2,05 = 27,9$$

$$560 / (23,5 \times 161) = 0,15 > 0,1 \text{ için } \frac{27,9}{1,15} = 24,26 < 121,4 \text{ olduğundan kesit uygun.}$$

HE-B 300 karakteristik değerleri aşağıda verilmiştir. (Kenar kolon : 1C1)

$$W_x = 1680 \text{ cm}^3 \quad \text{Kesitin mukavemet momenti}$$

$$S_x = 934 \text{ cm}^3 \quad \text{Kesitin statik momenti}$$

$$W_{xp} = 1868 \text{ cm}^3 \quad \text{Kesitin plastik mukavemet momenti}$$

$$I_x = 25170 \text{ cm}^4 \quad \text{Kesitin atalet momenti}$$

$$t_f = 1,9 \text{ cm} \quad \text{Kesitin başlık kalınlığı}$$

$$s = 1,1 \text{ cm} \quad \text{Kesitin gövde kalınlığı}$$

$$b = 30 \text{ cm;} \quad \text{Kesitin başlık genişliği}$$

$$h = 30 \text{ cm} \quad \text{Kesitin yüksekliği}$$

$$i_x = 13 \text{ cm} \quad \text{Kesitin kuvvetli eksen yönünde atalet yarıçapı}$$

$$i_y = 7,58 \text{ cm} \quad \text{Kesitin zayıf eksen yönünde atalet yarıçapı}$$

$$A = 149 \text{ cm}^2 \quad \text{Kesit alanı}$$

$$G = 117 \text{ kg/m} \quad \text{Profilin bir metresinin ağırlığı}$$

Çerçeve kenar alt kolonunda (1C1), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir.

$M_{da} = 6400 \text{ kNcm}$ (kolon alt ucu dizayn momenti)

$M_{du} = 5500 \text{ kNm}$ (kolon üst ucu dizayn momenti)

$N_d = 331 \text{ kN}$

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kolon enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için 4.11'de verilen başlık genişliği / kalınlığı

$$\text{koşulu : } \frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a}$$

$$\frac{15}{1,7} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 8,8 < 14,9 \text{ (HE 300B için):}$$

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$|N_d / (\sigma_a \times A)| \leq 0,1 \text{ için } \frac{h_g}{t_g} \leq 5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \times \left(1 - 1,7 \times \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \text{ olmalıdır.}$$

Denklemde;

$h_g = h - 2 \times t_f$ kolon gövde yüksekliği

t_g : kolon gövde kalınlığıdır

$$h_g = 30 - 2 \times 1,9 = 26,2$$

$$331 / (23,5 \times 149) = 0,09 < 0,1 \text{ için}$$

$$\frac{26,2}{1,1} = 23,8 \leq 5 \times \sqrt{21000 / 23,5} \times \left(1 - 1,7 \times \left| \frac{331}{23,5 \times 149} \right| \right) = 125,4 \text{ olduğundan kesit uygun.}$$

4.5.2.3 G+Q+E yüklemesi için basınç+eğilme etkisinde normal gerilme kontrolü

Kesit tesirleri büyük olan HE-B 320 orta kolon için (1C2) gerilme tahkiki yapılacaktır.

TS 648 (Aralık 1980) 3.4' ten

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}) \times \sigma_{Bx}} \leq 1,00 \quad (4.26)$$

σ_{eb} : Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme

$$\sigma_{eb} = \frac{560}{161} = 3,48 \text{ kN/cm}^2$$

σ_{bem} : Doğrultulara göre narinliklerden büyük olanına bağlı TS 648 Çizelge 8'den bulunan basınç emniyet gerilmesidir.

Basınç çubuğu bir çerçeve kolonu ise burkulma boyu l_k , G_i kolon uç değerlerine bağlı olarak TS 648 sayfa 10 çizelge 5'ten K katsayıları ile $l_k = K \times l$ şeklinde elde edilir.¹ (4.27)

l_k : Basınca çalışan çubukların mesnetlenme şartına bağlı burkulma boyu

$$G_i = \frac{\sum I_c / l_c}{\sum I_b / l_b} \quad (4.28)$$

I_c : Dügüme rijit bağlanan kolonların atalet momenti (cm^4)

l_c : Dügüme rijit bağlanan kolonların boyu (cm)

I_b : Dügüme rijit bağlanan kirişlerin atalet momenti (cm^4)

l_b : Dügüme rijit bağlanan kirişlerin boyu (cm)

Kolon ucu ankastre temele bağlı ise bu uç için $G_i=1$ alınır.

$$G_j = \frac{2 \times 30820 / 4,5}{2 \times 18260 / 5,5} = 2,06$$

$K = 1,44$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

Kolonda burkulma boyu;

$$l_k = K \times l = 450 \times 1,44 = 648 \text{ cm}$$

Narinlik;

$$\lambda_{kx} = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{648}{13,8} \cong 47 \quad (4.29)$$

Burkulma katsayısı $w = 1,23$ (ST 37 çeliği için)

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,23} = 13 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.30)$$

Basınca çalışan alan :

$$A_b = t \times b + s \times \left(\frac{h - 2 \times t}{2} \times \frac{1}{3} \right) =$$

$$A_b = 2,05 \times 30 + 1,15 \times \left(\frac{32 - 2 \times 2,05}{2} \times \frac{1}{3} \right) = 66,85 \text{ cm}^2$$

Yalnız eğilme momenti varken gerilme şöyle ifade edilir.

$$\sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{12600}{1930} = 6,53 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.31)$$

$C_m = 0,85$ (Yanal deplasmanı mümkün olan sistemlere ait değer.)

C_m : Uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklenmeyi gözönüne alan bir katsayıdır.

¹ Öztürk.A.Zafer ,Çelik yapılar kısa bilgi ve çözülmüş problemler,Birsen Yayınevi 2.baskı,sayfa 37

$$\sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l / i)^2} = \frac{82900}{(1,44 \times 450 / 13,8)^2} = 37,6 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.32)$$

σ'_{ex} : Asal eksenler etrafında burkulma için hesaplanan ve Euler gerilmesinden türetilen gerilmeler.

$$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0,3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 < 2,3 \text{ olmalı} \quad (4.33)$$

$$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{6700}{12600}\right) + 0,3\left(\frac{6700}{12600}\right)^2 < 2,3$$

$C_b = 2,39$ olduğundan $C_b = 2,3$ olarak alınır.

Basınç başlığı dolu kesitli ve yaklaşık şekilde dikdörtgen olduğundan yanal burkulmada basınç emniyet gerilmesi;

$$\sigma_B = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 2,3}{450 \times 32 / 66,85} = 896,9 \leq 0,6 \times \sigma_a$$

$\sigma_B > 0,6 \times \sigma_a$ ise $\sigma_B = 0,6 \times 23,5 = 14,1$ olur.

l_b = basınç başlığının yanal doğrultuda burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arası uzaklık.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) \times \sigma_{Bx}} \leq 1,00$$

$$\frac{3,48}{13} + \frac{0,85 \times 6,53}{\left(1 - \frac{3,48}{37,6}\right) \times 14,1} = 0,70 \leq 1$$

Yapılan basınç çubuğu genel kontrolüne göre boyutlar uygundur.

4.5.2.4 G+Q+ Ω E yüklemesi için basınç ve çekme kapasite kontrolleri

Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler İçin

G+Q+2E kombinasyonundan gelen normal kuvvet;

N= 560 kN

Eksenel basınç kapasitesi:

$$N_{bp} = 1,7 \times \sigma_{bem} \times A \quad (4.34)$$

$$= 1,7 \times 13 \times 161 = 3558 \text{ kN}$$

$N < N_{bp}$ olduğundan basınç kapasitesi yeterlidir.

4.5.3 Kiriş kolon birleşim bölgeleri²

4.5.3.1 Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler için DY 2007 koşulları

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin moment aktaran kiriş kolon birleşimlerinde aşağıdaki üç koşulun sağlanması gerekmektedir.

1) Birleşim en az 0,04 radyan görelî kat ötelemesi açısını(görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği) sağlayacak kapasitede olması istenmektedir. Bunu sağlamak için deneysel veya analitik yöntemlerle geçerliliği kanıtlanmış olan detayların kullanılması gerekmektedir. Geçerliliği kanıtlanmış 6 tip bulonlu ve kaynaklı birleşim detayı örneği ve bu birleşimlerin uygulama sınırları DY 2007 bilgilendirme eki 4A'da verilmiştir.

2) Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme dayanımı , birleşen kirişin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasitesinin $0,8 \times 1,1 \times D_a$ katından daha az olmaması istenmektedir.

$$M_{\text{birleşim}} = 0,8 \times 1,1 \times D_a \times (M_{p_{\text{kiriş}}}) = 0,8 \times 1,1 \times D_a \times (2 \times S_x \times \sigma_a) \quad (4.35)$$
$$= 0,8 \times 1,1 \times 1,2 \times (2 \times 692 \times 23,5) = 34345 \text{ kNcm}$$

Bununla birlikte bu dayanımın üst limiti düğüm noktasına birleşen kolonlar tarafından birleşime aktarılan en büyük eğilme momenti ile uyumlu olacaktır

$$\text{HE320B için; } M_{\text{birleşim}} < M_{\text{dü1C2}} = 6700 \text{ kNcm}$$

$$\text{HE300B için; } M_{\text{birleşim}} < M_{\text{da2C1}} = 6900 \text{ kNcm}$$

Düşey yükler ve deprem yükü azaltma katsayısı $R=1,5$ değeri için hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisi altında meydana gelen eğilme momentini aşmayacaktır.

$$\text{HE320B için } M_{\text{birleşim}} < M_{\text{dü}} = 22358 \text{ kNcm} \quad (R=1,5 \text{ için})$$

$$\text{HE300B için } M_{\text{birleşim}} < M_{\text{dü}} = 12500 \text{ kNcm} \quad (R=1,5 \text{ için})$$

Sonuç olarak;

$$\text{HE320B için } M_{\text{birleşim}} = 6700 \text{ kNcm olur.}$$

$$\text{HE300B için } M_{\text{birleşim}} = 6900 \text{ kNcm olur.}$$

Zayıflatılmış kiriş enkesitleri kullanılması veya kiriş uçlarında guseler oluşturulması halinde, kolon yüzündeki eğilme momenti kapasitesi, kiriş plastik momenti ile kiriş ucundaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momenti toplanarak hesaplanacaktır.

$$M_f = M_{pr} + V_p \cdot x^3 \quad (4.36)$$

M_f : Kolon yüzündeki moment

² Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik 2007 (2.baskı) [8]

³ FEMA 350, 2000 [11]

V_p : Oluşan kiriş mafsallındaki plastik kesme kuvveti

x : Bu plastik kesme kuvvetinin kolon yüzüne uzaklığı

4) Birleşimin boyutlandırmasında esas alınacak V_e kesme kuvveti şu şekilde hesaplanır:

$$V_e = V_{dy} \pm 1,1 \times D_a \times \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l_n} \quad (4.37)$$

Burada;

V_{dy} : Kirişin kolona birleşen yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvvetidir.

l_n : Kiriş uçlarındaki olası plastik mafsalları arasındaki uzaklıktır.

D_a : Akma gerilmesi artırma katsayısı

M_{pi}, M_{pj} : Kirişin sol ve sağ ucunda hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında aşağıdaki gerilme sınır değerleri kullanılır.

Tam penetrasyonlu kaynak için : σ_a (4.38)

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak ve köşe kaynağı için : $1,7 \sigma_{em}$ (4.39)

Bulonlu birleşimler için : $1,7 \sigma_{em}$ (4.40)

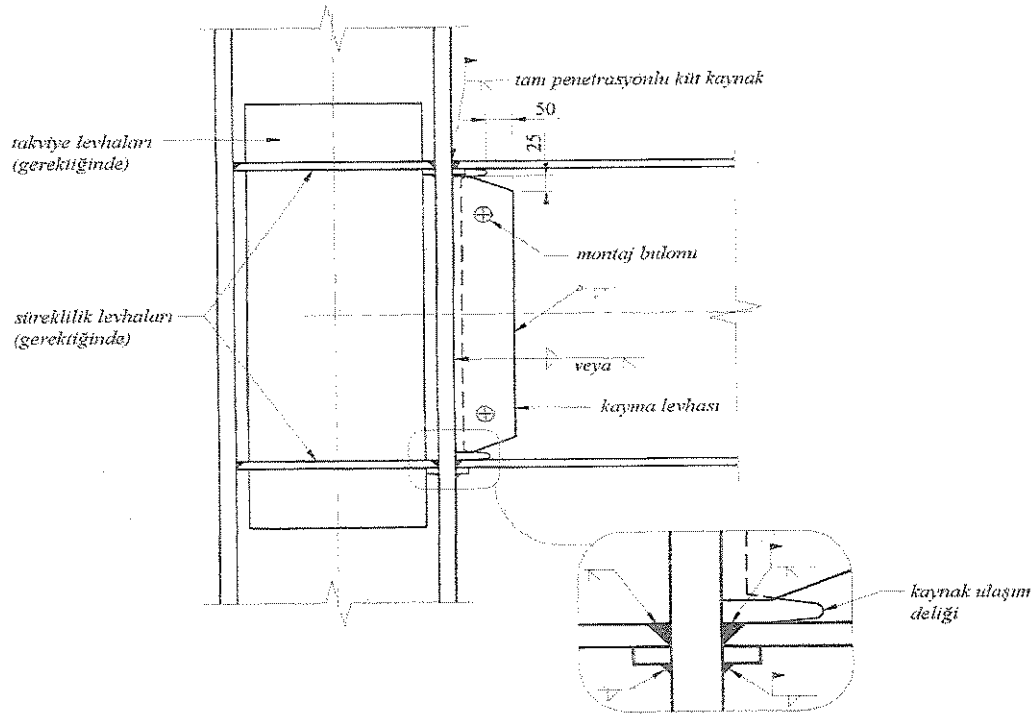
Burada σ_{em} birleşim elemanlarına ait normal, kayma ve ezilme gerilmelerini göstermektedir.

4.5.3.2 Kaynaklı birleşim detayı ve konstruktif kurallar

Bu birleşim tipi için DY 2007 ve [4]'den alınan konstruktif detay açıklamaları şöyle ifade edilebilir.

- 1) Kiriş üst ve alt başlığı kolon başlığına yarım V tam penetrasyonlu (nüfuziyetli) küt kaynak ile birleştirilecek. Üst başlık birleşiminde kaynak karşılama levhası yerinden çıkarılırsa yerine, çıkarılmazsa altına minimum 5 milimetrelilik köşe kaynağı çekilir. Alt başlıkta ise kaynak karşılama levhası yerinden alınarak yerine minimum 5 milimetre kalınlığında köşe kaynağı çekilir.
- 2) Kayma levhası derin nüfuziyetli küt kaynak veya köşe kaynak ile kolona bağlanmaktadır.
- 3) Kiriş gövde kalınlığına eşit kalınlıkta kayma levhası
- 4) Kiriş Gövdesine kayma levhasını birleştiren köşe kaynağının kalınlığı $= 0,7 \times$ kayma levhası
- 5) Montaj bulonları sayısı montaj yüklerine göre seçilecektir.
- 6) Süreklik levhası ve panel bölgesi takviye levhası gerektiğinde kullanılacaktır.
- 7) Kaynak ulaşım deliği için şu detaylar kullanılabilir.

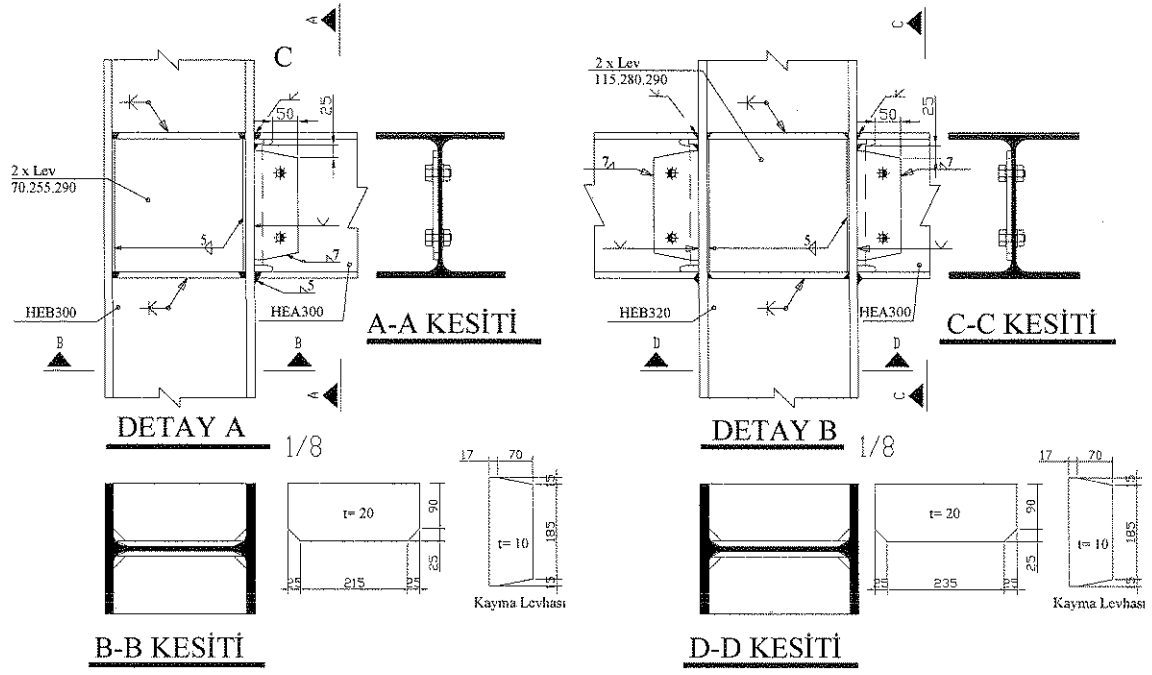
Tablo 4.5 Kaynaklı Kiriş Kolon Birleşim Detayı ve Uygulama Sınırları⁴



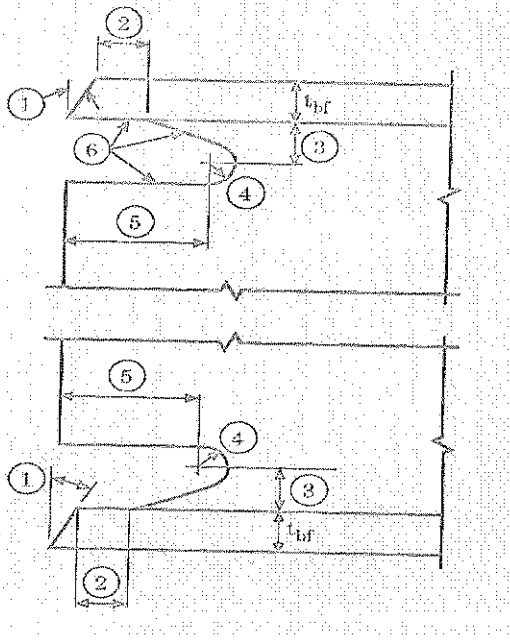
**KAYNAKLI KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM DETAYININ
UYGULAMA SINIRLARI**

Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	≤ 1000 mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	≥ 7
Kiriş başlık kalınlığı	≤ 25 mm
Kolon enkesit yüksekliği	≤ 600 mm
Kaynak ulaşım deliği	gerekli
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

⁴ Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Haziran 2007, sayfa 90'dan alınarak düzenlenmiştir.[8]



Şekil 4.6 Kaynaklı Rijit Kiriş Kolon Birleşim Detayı

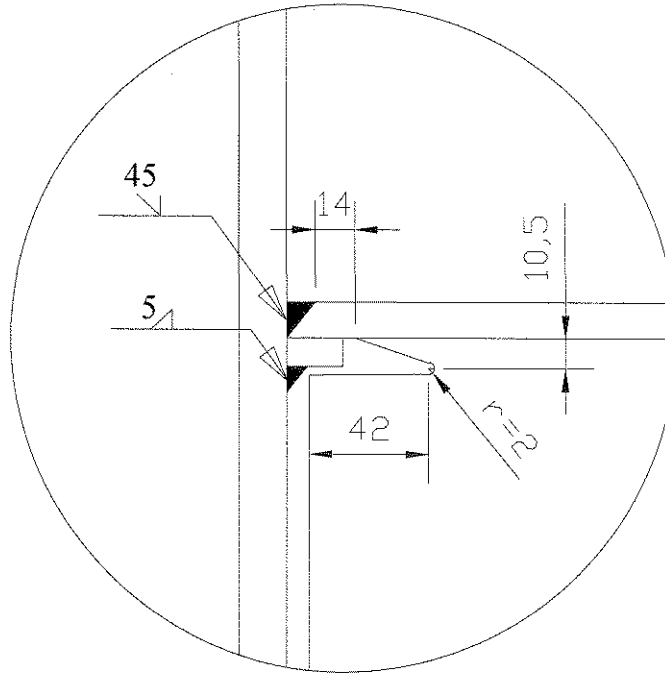


Şekil 4.7 Kaynak ulaşım deliği geometrisi

Buradaki ölçüm değerleri şöyle ifade edilebilir:

- 1) Kaynak standartlarında olan yarım V küt kaynak dikişi ağzı geometrisi
- 2) t_{bf} kiriş flanş kalınlığı kadar mesafe bırakılır.
- 3) $0,75 t_{bf}$ mesafe bırakılır.
- 4) 2 mm

5) $3 \times t_{bf}$ mesafe bırakılacak



Şekil 4.8 Örneğe ait kaynak ulaşım deliği geometrisi

1994 Amerika'daki Northridge depreminden önce yaygın olarak kullanılan bu birleşim tipinde deprem sonrası araştırmalar neticesinde şu değişiklikler yapılmıştır.

- Uygun çentik mukavemetine sahip kaynak malzemesi kullanımı koşulu getirilmiştir.
- Özellikle alt başlıkta kaynak karşılama parçasının yerinden alınması ve ilave köşe kaynak çekilmesi uygulanmaktadır.
- Geliştirilmiş kaynak ulaşım deliği geometrisi devreye sokulmuştur.
- Kaynak kalitesinin kontrolü için etkin yöntemler kullanılması koşulu getirilmiştir.

4.5.3.3 Panel (kayma) bölgesi tasarım aşamaları : [4], [8], [11]

1) Kiriş üzerinde oluşması muhtemel mafsallardaki plastik moment taşıma kapasitesi hesaplanır.

$$M_{pr} = W_p \times \sigma_y \quad (4.41)$$

Burada;

M_{pr} : Plastik mafsalda oluşacak muhtemel moment

W_p : Etkin plastik mukavemet momenti $= 2 \times S_x$

S_x : Statik moment

σ_y : Çeliğin akma gerilmesi

$$M_{pr} = 2 \times 692 \times 23,5 = 32524 \text{ kNcm (HE300A)}$$

2) Üzerinde yayılı ve ortasında tekil yük olan iki ucu plastik mafsallı kiriş üzerinde bir uca göre moment denge denklemi kurulursa plastik mafsallardaki V_p kesme kuvveti şu ifadeye eşit olur:

$$V_p = \frac{M_{pr} + M_{pr} + P_b \times l' / 2 + q_b \times l'^2 / 2}{l'} \quad (4.42)$$

$P_b = 0$ kiriş üzerindeki tekil kuvvet

$$q_b : \text{Kiriş üzerindeki kalıcı ve hareketli yükler} = g+q+G_4 = 25+10+11,3 = 463 \times 10^{-3} \text{ kN/cm}$$

l' : kirişte mafsallardaki noktalar arasındaki mesafedir.

Bu tip birleşimlerde kolon yüzünden itibaren plastik mafsallın yeri $x = d_b/2 = 29/2 = 14,5 \text{ cm}$

d_b : HE300A için kiriş derinliğidir.

d_{c1} : HE300B için kolon derinliğidir

d_{c2} : HE320B için kolon derinliğidir

$$l' = L - (d_{c1}/2 + d_b/2) - (d_{c2}/2 + d_b/2) = 550 - (30/2 + 29/2) - (32/2 + 29/2) = 490 \text{ cm}$$

$$V_p = \frac{2 \times 32524 + 0 + 463 \times 10^{-3} \times 490^2 / 2}{490} = 248 \text{ kN}$$

3) Kolon eksenindeki M_c ve kolon yüzündeki M_f momentleri hesaplanır.

• HE320B için;

$$M_c = M_{pr} + V_p \times (d_b/2 + d_{c2}/2) \quad (4.43)$$

$$= 32524 + 248 \times (29/2 + 32/2) = 40088 \text{ kNcm}$$

$$M_f = M_{pr} + V_p \times d_b/2 \quad (4.44)$$

$$= 32524 + 248 \times 29/2 = 36120 \text{ kNcm}$$

• HE300B için;

$$M_c = M_{pr} + V_p \times (d_b/2 + d_{c1}/2) = 32524 + 248 \times (29/2 + 30/2) = 39840 \text{ kNcm}$$

$$M_f = M_{pr} + V_p \times d_b/2 = 32524 + 248 \times 29/2 = 36120 \text{ kNcm}$$

$$C_{pr} = \frac{\sigma_y + \sigma_u}{2 \times \sigma_y} = \frac{23,5 + 36}{2 \times 23,5} = 1,266 \quad (4.45)$$

C_{pr} : Gerilme peklemesini, ek güçlendirme ve bağlantıları gözetken katsayı

$$C_y = \frac{1}{C_{pr} \times \frac{W_{pb}}{W_{xb}}} = \frac{1}{1,266 \times \frac{1384}{1260}} = 0,72 \quad (4.46)$$

W_{pb} : Kirişin plastik mafsall bölgesinde plastik mukavemet modülü

W_{xb} : Kirişin plastik mafsalsal bölgesinde (elastik) mukavemet modülü

C_y : Kolon yüzünde oluşan momenti azaltma katsayısı

Azaltılmış kolon yüzü momenti M_{yf} ;

$$M_{yf} = C_y \times M_f \quad (4.47)$$

$$= 0,72 \times 36120 = 26006 \text{ kNcm}$$

4) Gerekli panel bölgesi kalınlığının tespiti:

- HE320B için;

$$t_p = \frac{C_y \times M_c \times \frac{h - d_b}{h}}{0,9 \times 0,6 \times \sigma_{ac} \times D_a \times d_c \times (d_b - t_{bf})} \quad (4.48)$$
$$= \frac{0,72 \times 40088 \times \frac{450 - 29}{450}}{0,9 \times 0,6 \times 23,5 \times 1,2 \times 32 \times (29 - 1,4)} = 2,00 \text{ cm}$$

- HE300B için;

$$t_p = \frac{C_y \times M_c \times \frac{h - d_b}{h}}{0,9 \times 0,6 \times \sigma_{ac} \times D_a \times d_c \times (d_b - t_{bf})} = \frac{0,72 \times 39840 \times \frac{450 - 29}{450}}{0,9 \times 0,6 \times 23,5 \times 1,2 \times 30 \times (29 - 1,4)} = 2,12 \text{ cm}$$

h : Panel bölgesi altındaki ve üstündeki kat yükseklikleri ortalaması

DY 2007'ye göre kiriş kolon birleşim detayında panel bölgesi aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

1) Kayma bölgesinin gerekli V_{ke} kesme kuvveti dayanımı düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 0,8 katından meydana gelen kesme kuvvetine eşit olmalıdır:

- HE320B için; $V_{ke} = 0,8 \sum M_{pr} \left(\frac{1}{d_b} - \frac{1}{H_{ort}} \right)$ (4.49)

$$= 0,8 \times 2 \times 32524 \times \left(\frac{1}{29} - \frac{1}{450} \right) = 1679 \text{ kN}$$

- HE300B için; $V_{ke} = 0,8 \sum M_{pr} \left(\frac{1}{d_b} - \frac{1}{H_{ort}} \right)$

$$= 0,8 \times 32524 \times \left(\frac{1}{29} - \frac{1}{450} \right) = 839 \text{ kN}$$

2) Kolon gövdesi ve varsa takviye levhalarının herbirinin en küçük kalınlığı aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

- HE320B için ; $t_{min} \geq u/180 = \frac{(d_b + d_c) \times 2}{180} = \frac{(29 + 32) \times 2}{180} = 0,68 \text{ cm}$ (4.50)

- HE300B için ; $t_{\min} \geq u/180 = \frac{(d_b + d_c) \times 2}{180} = \frac{(29 + 30) \times 2}{180} = 0,66 \text{ cm}$

u : Panel (kayma) bölgesi çevre uzunluğu

3) Kayma (panel) bölgesinin kesme kuvveti kapasitesi

- $t_p = t_{p1} + t_w + t_{p2} = 1,15 + 1,15 + 1,15 = 3,45 \text{ cm}$ (HE320B) için;

($t_{p1} = t_{p2} = 1,15 \text{ cm}$ deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir)

t_p : Panel bölgesi toplam levha kalınlığı

$$V_p = 0,6 \times \sigma_a \times d_c \times t_p \times \left[1 + \frac{3b_{cf} \times t_{cf}^2}{d_b \times d_c \times t_p} \right] \quad (4.51)$$

$$= 0,6 \times 23,5 \times 32 \times 3,45 \times \left[1 + \frac{3 \times 30 \times 2,05^2}{29 \times 32 \times 3,45} \right]$$

$$V_p = 1741 \text{ kN}$$

- $t_p = t_{p1} + t_w + t_{p2} = 0,7 + 1,1 + 0,7 = 2,5 \text{ cm}$ (HE300B) için;

$$V_p = 0,6 \times \sigma_a \times d_c \times t_p \times \left[1 + \frac{3b_{cf} \times t_{cf}^2}{d_b \times d_c \times t_p} \right]$$

$$V_p = 0,6 \times 23,5 \times 30 \times 2,5 \times \left[1 + \frac{3 \times 30 \times 1,9^2}{29 \times 30 \times 2,5} \right] = 1215 \text{ kN}$$

Kayma bölgesinin yeterli kesme dayanımına sahip olması için $V_p \geq V_{ke}$ koşulu sağlanmalıdır.

- HE320B için $V_p = 1741 > 1679 \text{ kN}$ olduğundan 1,15 cm'lik çift taraflı takviye kalınlığı yeterlidir.
- HE300B için $V_p = 1215 > V_{ke} = 839 \text{ kN}$ olduğundan 0,7 cm'lik çift taraflı takviye kalınlığı yeterlidir. (Başka bir yol da kayma bölgesine köşegen doğrultusunda berkitme levhaları eklenmesidir.)

Kayma bölgesinde kullanılacak gövde takviye levhalarının kolon başlık levhalarına $a_k = 5 \text{ mm}$ kalınlığında köşe kaynakla bağlanacaktır ve bu kaynaklar takviye levhası tarafından karşılanan kesme kuvvetini güvenle aktaracak şekilde kontrol edilmelidir.

$$V_e = V_{dy} \pm 1,1 \times D_a \times \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l'} \quad (4.52)$$

$$= q_b \times (L - d_{c1}/2 - d_{c2}/2)/2 \pm 1,1 \times D_a \times \frac{M_{pi} + M_{pj}}{L - d_b - d_{c1}/2 - d_{c2}/2} =$$

$$= 463 \times 10^{-3} \times (550 - 30/2 - 32/2)/2 \pm 1,1 \times 1,2 \times \frac{2 \times 32524}{490} = 295 \text{ kN}$$

Takviye levhası kalınlığı (t_l) tarafından karşılanan kesme kuvveti:

- HE320B için; $V_{et} = V_e \times \frac{t_l}{s + 2t_l}$ (4.53)

$$= 295 \times \frac{1,15}{3,45} = 98 \text{ kN}$$

- HE300B için; $V_{et} = V_e \times \frac{t_l}{s + 2t_l} = 295 \times \frac{0,7}{2,5} = 83 \text{ kN}$

Kaynak kesme kapasitesi:

$$V_{pk} = 2 \times 0,6 \times \sigma_a \times A_k = 2 \times 0,6 \times \sigma_a \times (d_b - 2 \times t_{bf} - 2 \times a_k) =$$

$$= 2 \times 0,6 \times 23,5 \times 0,5 \times (29 - 2 \times 1,4 - 2 \times 0,5) = 355 \text{ kN}$$
(4.54)

Burada;

A_k : Etkili köşe kaynağı alanıdır.

$$V_{pk} > V_{et}$$

$$355 > 98 \text{ kN}$$

$355 > 83 \text{ kN}$ olduğundan köşe kaynaklar uygundur.

4.5.3.4 Süreklilik levhası koşulu

- HE320B için;

$$t_{cf} \geq 0,54 \times \sqrt{b_{bf} \times t_{bf}}$$
(4.55)

$$\geq 0,54 \times \sqrt{30 \times 1,4} = 3,5 \text{ cm olmalı}$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6}$$
(4.56)

$$\geq 30/6 = 5 \text{ cm olmalı}$$

$$t_{cf} < \max(3,5 ; 5)$$

$2,05 < \max(3,5 ; 5)$ olduğundan süreklilik levhası kullanılacak.

$$t_{levha} = 2 \text{ cm seçildi} > t_{bf} = 1,4 \text{ cm}$$

- HE300B için;

$$t_{cf} \geq 0,54 \times \sqrt{b_{bf} \times t_{bf}} = 0,54 \times \sqrt{30 \times 1,4} = 3,5 \text{ cm olmalı}$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} = 30/6 = 5 \text{ cm olmalı}$$

$1,9 < \max(3,5 ; 5)$ olduğundan süreklilik levhası kullanılacak.

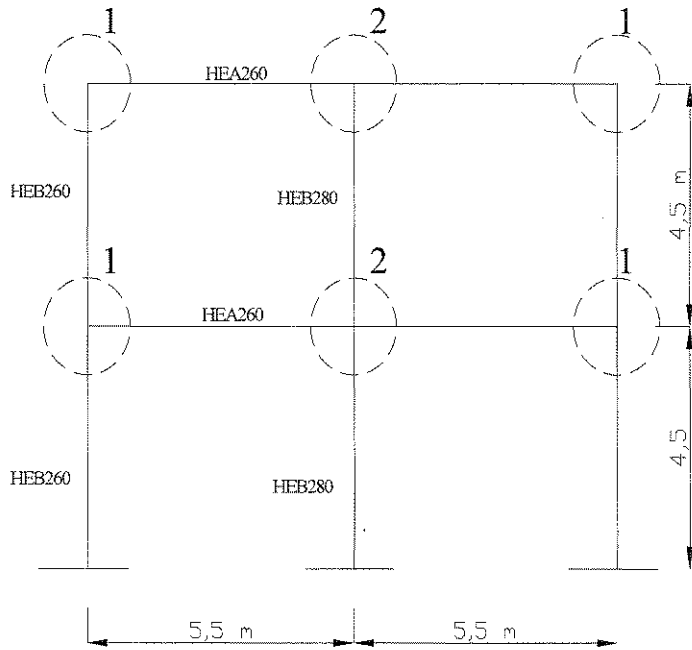
$t_{levha} = 2 \text{ cm seçildi} > t_{bf} = 1,4 \text{ cm}$ Kolon gövde ve başlığına küt kaynakla bağlandı.

5) SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK YARI-RİJİT ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN İKİ KATLI ÇELİK OFİS BİNASINDA KAYNAKLI YARI-RİJİT DÜĞÜM NOKTASI HESABI

Aşağıdaki hesaplarda ;

1 indisi HEB 260-HEA260 birleşimi için kullanıldı. (Kenar düğüm noktası için)

2 indisi HEB 280-HEA 260 birleşimi için kullanıldı. (İç düğüm noktası için)



Şekil 5.1 İncelenen birleşimlerin Sistemdeki Yerleri

5.1 Birleşimin Eğilme Dayanımı Hesabı

5.1.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi bileşeni

a) Kesme alanı hesabı

$$A_{vc1} = A_c - 2b_c \times t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) \times t_{fc} = 11840 - 2 \times 260 \times 17,5 + (10 + 2 \times 24) \times 17,5 = 3755 \text{ mm}^2$$

$$A_{vc2} = A_c - 2b_c \times t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) \times t_{fc} = 13140 - 2 \times 280 \times 18,0 + (10,5 + 2 \times 24) \times 18,0 = 4113 \text{ mm}^2$$

b) Kesme Dayanımı 1

$$V_{cws,rd} = f_{ycw} \times A_{vc1} / (\sqrt{3} \times \gamma_{Mo}) = [235 \times 3755 / \sqrt{3} \times 1] / 1000 = 509,5 \text{ kN}$$

$$\beta = 1 - h_t/h = 1 - (h_b - t_{bf})/h = 1 - \frac{(250 - 12,5)}{4500} = 0,947 \text{ (Dış düğüm için)}$$

Kolondaki kesme kuvvetinin faydalı etkisi ihmal edilirse dış düğümler için $\beta=1$ alınabilir.

$$F_{cws,rd} = V_{cws,rd} / \beta = 509,5 / 0,947 = 538 \text{ kN}$$

Kesme Dayanımı 2

$\beta=0$ olduğundan panel bölgesi kesmeye maruz kalmaz ve $F_{cws,rd}$ bileşeni iç düğümler için dikkate alınmaz.

5.1.2 Basınca maruz kolon gövdesi bileşeni

5.1.2.1 Ezilme dayanımı

a) Etkili genişlik 1

$$b_{effcwc1} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 5 (t_{fc} + r_c) = 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 5 (17,5 + 24) = 240 \text{ mm}$$

Etkili genişlik 2

$$b_{effcwc2} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 5 (t_{fc} + r_c) = 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 5 (18 + 24) = 242 \text{ mm}$$

b) ρ katsayısı 1

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3\beta^2 \xi^2 \left(\frac{b_{effcwc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2 \right]^{1/2}} = \frac{1}{\left[1 + 3 \times 0,94^2 \times 0,8^2 \left(\frac{240 \times 10}{3755} \right)^2 \right]^{1/2}} = 0,766$$

ρ katsayısı 2

$$\rho = 1 (\beta=0)$$

1. kat kolonlarındaki G+Q+E1 yüklemesine ait düşey normal kuvvetlerin normal gerilmeleri;

$$\sigma_{v1} = \frac{N_1}{A_1} = \frac{334000}{11840} = 28,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{v2} = \frac{N_2}{A_2} = \frac{538210}{13140} = 40,95 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{cwc1} = \frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} + \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} =$$

$$= \frac{0,766 \times 28,21}{2 \times 235} + \left[1 - \left(\frac{28,21}{235} \right)^2 + \left(\frac{0,766 \times 28,21}{2 \times 235} \right)^2 \right]^{1/2} = 1,04 > 1 \text{ olduğundan } k_{cwc1} = 1 \text{ olur.}$$

$$k_{cwc2} = \frac{1 \times 40,95}{2 \times 235} + \left[1 - \left(\frac{40,95}{235} \right)^2 + \left(\frac{1 \times 40,95}{2 \times 235} \right)^2 \right]^{1/2} = 1,08 \text{ olduğundan } k_{cwc2} = 1 \text{ olur.}$$

c) Ezilme dayanımı:

$$F_{cwc,rd1} = b_{effcwc} \times t_{wc} \times f_{y,cw} \times \rho \times k_{cwc} / \gamma_{Mo} = 240 \times 10 \times 235 \times 0,766 \times 1 / (1 \times 1000) = 432 \text{ kN}$$

$$F_{cwc,rd2} = b_{effcwc} \times t_{wc} \times f_{y,cw} \times \rho \times k_{cwc} / \gamma_{Mo} = 242 \times 10,5 \times 235 \times 1 \times 1 / (1 \times 1000) = 597 \text{ kN}$$

5.1.2.2 Burkulma dayanımı ($F'_{cwc,rd}$)

a) Etkili genişlik 1

$$b^*_{effcwl} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 2 \left(\psi \times \left(\frac{d_{wc} \cdot b_{fc}}{3t_{wc} \cdot t_{fc}} \right)^{1/4} \right) \times k =$$
$$= 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 2 \left(0,75 \times \left(\frac{(260 - 2 \times 17,5) \times 260}{3 \times 10 \times 17,5} \right)^{1/4} \right) \times (17,5 + 24) = 234,5 \text{ mm} \text{ veya}$$

$$b^*_{effcwl} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 5k = 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 5(17,5 + 24) = 240 \text{ mm} \text{ kullanılabilir.}$$

(HEM kesitlerde panel dayanımını büyük gösteriyor.)

$$b^*_{effcwl2} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 2 \left(\psi \times \left(\frac{d_{wc} \cdot b_{fc}}{3t_{wc} \cdot t_{fc}} \right)^{1/4} \right) \times k$$
$$= 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 2 \left(0,75 \times \left(\frac{(280 - 2 \times 18) \times 300}{3 \times 10,5 \times 18} \right)^{1/4} \right) \times (18 + 24) = 244,7 \text{ mm}$$

b) Elastik kritik yük ve boyutsuz narinlik 1

$$F_{cr1} = \Pi \times E \times t_{wc}^3 / (3 \times (1 - \nu^2) \times d_{wc}) =$$
$$= \Pi \times 210000 \times 10^3 / ((3 \times (1 - 0,3^2)) \times (260 - 2 \times 17,5)) = 1074048 \text{ N}$$

$$\lambda_1 = (b^*_{effcwl} \times t_{wc} \times f_{ycw} / \gamma_{Mo} / F_{cr})^{0,5} =$$
$$= (234,5 \times 10 \times 235 / 1 / 1074048)^{0,5} = 0,716 > 0,670 \text{ olduğundan}$$

$F'_{cwc,rd} = F_{cwc,rd} \times (1/\lambda \times (1 - 0,22/\lambda)) < F_{cwc,rd}$ şeklinde dayanım azaltmasına gidilir.

$$F'_{cwc,rd} = 432 \times (1/0,716 \times (1 - 0,22/0,716)) = 432 \times (0,97) = 418 \text{ kN} < 432 \text{ kN}$$

Elastik kritik yük ve boyutsuz narinlik 2

$$F_{cr1} = \Pi \times E \times t_{wc}^3 / (3 \times (1 - \nu^2) \times d_{wc}) =$$
$$= \Pi \times 210000 \times 10,5^3 / (3 \times (1 - 0,3^2) \times (280 - 2 \times 18)) = 1146528 \text{ N}$$

$$\lambda_1 = (b^*_{effcwl2} \cdot t_{wc} \cdot f_{ycw} / \gamma_{Mo} / F_{cr})^{0,5} = (244,7 \times 10,5 \times 235 / 1 / 1146528)^{0,5} = 0,726$$

$0,726 > 0,670$ olduğundan;

$$F'_{cwc,rd2} = F_{cwc,rd} \times (1/\lambda \times (1 - 0,22/\lambda)) < F_{cwc,rd}$$

$$F'_{cwc,rd2} = 597 \times (1/0,726 \times (1 - 0,22/0,726)) = 597 \times (0,96) = 573 \text{ kN} < 597 \text{ kN}$$

5.1.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi bileşeni

a) Etkili genişlik

$$b_{effcwl} = b_{effcwl} = 240 \text{ mm}$$

$$b_{effcwl2} = b_{effcwl2} = 242 \text{ mm}$$

b) Tasarım Dayanımı

$$k_{cwt1} = \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} =$$

$$k_{cwt1} = \left[1 - \left(\frac{28,21}{235} \right)^2 + \left(\frac{0,766 \times 28,21}{2 \times 235} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{0,766 \times 28,21}{2 \times 235} = 0,948$$

$$F_{cwt,rd1} = b_{eff,cw} \times t_{wc} \times f_{y,cw} \times \rho \times k_{cwt1} / \gamma_{M0} =$$
$$= 240 \times 10 \times 235 \times 0,766 \times 0,948 / (1 \times 1000) = 409 \text{ kN}$$

$$k_{cwt2} = \left[1 - \left(\frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \right)^2 + \left(\frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{\rho \times \sigma_v}{2 \times f_{y,cw}} =$$

$$k_{cwt1} = \left[1 - \left(\frac{40,95}{235} \right)^2 + \left(\frac{1 \times 40,95}{2 \times 235} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{1 \times 40,95}{2 \times 235} = 0,894$$

$$F_{cwt,rd2} = b_{eff,cw} \times t_{wc} \times f_{y,cw} \times \rho \times k_{cwt2} / \gamma_{M0} =$$
$$= 242 \times 10,5 \times 235 \times 1 \times 0,894 / (1 \times 1000) = 534 \text{ kN}$$

5.1.4 Eğilmeye maruz kolon başlığı bileşeni

k katsayısı

$$k_1 = (f_{ycf} \times t_{fc}) / (f_{ybf} \times t_{fb}) = (235 \times 17,5) / (235 \times 12,5) = 1,40$$

$$k_2 = (f_{ycf} \times t_{fc}) / (f_{ybf} \times t_{fb}) = (235 \times 18) / (235 \times 12,5) = 1,44$$

Etkili Genişlik

$$b_{eff,cfb1} = t_{wc} + 2 \times s + 7 \times k_1 \times t_{fc} = 10 + 2 \times 24 + 7 \times 1,40 \times 17,5 = 229,5 \text{ mm}$$

$$b_{eff,cfb2} = t_{wc} + 2 \times s + 7 \times k_2 \times t_{fc} = 10,5 + 2 \times 24 + 7 \times 1,44 \times 18 = 239,4 \text{ mm}$$

Dizayn dayanımı

$$F_{cfb,rd1} = 1/\gamma_{M0} \times [b_{eff,cfb} \times t_{fb} \times f_{ybf} + (t_{wb} \times d_{wb}^2 / (4 \times (d_b - t_{fb}))) \times f_{y,bw}] =$$
$$= 1/1 \times [229,5 \times 12,5 \times 235 + (7,5 \times (250 - 2 \times 12,5)^2 / (4 \times (250 - 12,5))) \times 235] / 1000$$
$$= 768 \text{ kN}$$

$$F_{cfb,rd2} = 1/\gamma_{M0} \times [b_{eff,cfb} \times t_{fb} \times f_{ybf} + (t_{wb} \times d_{wb}^2 / (4 \times (d_b - t_{fb}))) \times f_{y,bw}] =$$
$$= 1/1 \times [239,4 \times 12,5 \times 235 + (7,5 \times (250 - 2 \times 12,5)^2 / (4 \times (250 - 12,5))) \times 235] / 1000$$
$$= 797 \text{ kN}$$

5.1.5 Basınca maruz giriş başlığı ve gövdesi bileşeni

a) Girişin Tasarım Moment Dayanımı

$$M_{b,rd1} = Z \times f_{yb} = 919800 \times 235 = 216153 \text{ kNmm}$$

$$M_{b,rd2} = Z \times f_{yfb} = 919800 \times 235 = 216153 \text{ kNmm}$$

b) Tasarım Dayanım Kuvveti

$$F_{bfcw,rd1} = M_{b,rd1} / (h_b - t_{fb}) = 216153 / (250 - 12,5) = 910 \text{ kN}$$

$$F_{bfcw,rd2} = M_{b,rd2} / (h_b - t_{fb}) = 216153 / (250 - 12,5) = 910 \text{ kN}$$

5.1.6 Sonuç : Birleşimin eğilme dayanımı

a) En zayıf bileşenin tasarım dayanımı:

$$F_{rdmin} = (F_{cws,rd}; F_{cwc,rd}; F_{cwt,rd}; F_{cfb,rd}; F_{bfcw,rd})$$

$$F_{rdmin1} = (538; 418; 409; 768; 910) = F_{cwt,rd} = 409 \text{ kN}$$

$$F_{rdmin2} = (-; 573; 534; 797; 910) = F_{cwt,rd} = 534 \text{ kN}$$

b) Birleşimin eğilme dayanımı

$$M_{jrd1} = F_{rdmin} \times h_t = 409 \times (250 - 12,5) / 1000 = 97 \text{ kNm} > 81 \text{ kNm}$$

$$M_{pHEA260} = 919,8 \times 23,5 = 216 \text{ kNm}$$

$$0,25 \times M_p < M_{jrd1} < M_p$$

54 < 97 < 216 olduğundan birleşim kısmi dayanımlıdır.

$$M_{jrd2} = F_{rdmin} \times h_t = 534 \times (250 - 12,5) / 1000 = 127 \text{ kNm} > 118 \text{ kNm}$$

$$0,25 \times M_p < M_{jrd1} < M_p$$

54 < 127 < 216 olduğundan birleşim kısmi dayanımlıdır.

5.2 Başlangıç Dönme Rijitliği

5.2.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer

$$K_{cws1} = \frac{0,38 \times E \times A_{vc}}{\beta \times h t} = \frac{0,38 \times 210000 \times 3755}{0,947 \times (250 - 12,5)} \times 10^{-3} = 1332 \text{ kN/mm}$$

$$K_{cws2} = \frac{0,38 \times E \times A_{vc}}{\beta \times h t} = \infty \quad (\beta=0)$$

5.2.2 Basınca maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer

Etkili Derinlik

$$b'_{effcwc1} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 2 \times (t_{fc} + s) = 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 2 \times (17,5 + 24) = 115 \text{ mm}$$

$$b'_{effcwc2} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{bf} + 2 \times (t_{fc} + s) = 12,5 + 2\sqrt{2} \times 7 + 2 \times (18 + 24) = 116 \text{ mm}$$

Eksenel Rijitlik

$$K_{cwc1} = E \times b'_{effcwc} \times t_{wc} / d_{wc} = 210000 \times 115 \times 10 / (260 - 2 \times 17,5) / 1000 = 1073 \text{ kN/mm}$$

$$K_{cwc2} = E \times b'_{effcwc} \times t_{wc} / d_{wc} = 210000 \times 116 \times 10,5 / (280 - 2 \times 18) / 1000 = 1048 \text{ kN/mm}$$

5.2.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer

Çekmeye maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer = Basınca maruz kolon gövdesi bileşeninden gelen değer

$$K_{cwt1} = K_{cwc1} = 1073 \text{ kN/mm}$$

$$K_{cwt2} = K_{cwc2} = 1048 \text{ kN/mm}$$

5.2.4 Sonuç : Birleşimin dönme rijitliği : $K_{\phi} (S_{j,ini})$

$$K_{\phi 1} = \frac{h_t^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_{cwt}}} = \frac{(250-12,5)^2}{\frac{1}{1332} + \frac{1}{1073} + \frac{1}{1073}} \times 10^{-3} = 21573 \text{ kNm/rad (Dış Düğümüne ait)}$$

$$K_{\phi 2} = \frac{h_t^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_{cwt}}} = \frac{(250-12,5)^2}{0 + \frac{1}{1048} + \frac{1}{1048}} \times 10^{-3} = 29557 \text{ kNm/rad (İç Düğümüne ait)}$$

Bu değerler başlangıç rijitliği sınırları içerisinde kaldı ve aşağıda hesaplandığı gibi dış düğüme ait tahmini S_{japp} , $K_{\phi 1}$ 'e çok yakın bulunmuş oldu.

5.3 Birleşimin tahmini rijitliği ve iyi tahmin rijitlik sınırları

a) Dış Düğümüne ait birleşimin tahmini rijitliği;

$$S_{japp} = \frac{E \times z^2 \times t_{fc}}{C} =$$

$$S_{japp1} = \frac{210000 \times (250-12,5)^2 \times 17,5}{11,5} \times 10^{-6} = 18025 \text{ kNm/rad}$$

$$\frac{30 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{24E \times I_b - S_{j,app} \times L_b} \geq S_{j,ini} \geq \frac{24 \times S_{japp} \times E \times I_b}{30 \times E \times I_b + S_{j,app} \times L_b}$$

$$\frac{30 \times 18025 \times 210000 \times (10450 \times 10^4)}{24 \times 210000 \times (10450 \times 10^4) - 18025 \times 5500} \geq S_{j,ini} \geq \frac{24 \times 18025 \times 210000 \times (10450 \times 10^4)}{30 \times 210000 \times (10450 \times 10^4) + 18025 \times 5500}$$

$K_{\phi 1}(S_{j1}) = 21573$, dış düğüme ait birleşimin iyi tahmin rijitlik sınırları içinde kaldı:

$$22531 \geq 21573 \geq 14420$$

b) İç Düğümüne ait birleşimin tahmini rijitliği;

$$S_{japp2} = \frac{E \times z^2 \times t_{fc}}{C} =$$

$$S_{japp2} = \frac{210000 \times (250-12,5)^2 \times 18}{6} \times 10^{-6} = 35536 \text{ kNm/rad}$$

$$\frac{30 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{24 E \times I_b - S_{j,app} \times L_b} \geq S_{j,ini1} \geq \frac{24 \times S_{j,app} \times E \times I_b}{30 \times E \times I_b + S_{j,app} \times L_b}$$

$$\frac{30 \times 35536 \times 210000 \times (10450 \times 10^4)}{24 \times 210000 \times (10450 \times 10^4) - 35536 \times 5500} \geq S_{j,ini} \geq \frac{24 \times 35536 \times 210000 \times (10450 \times 10^4)}{30 \times 210000 \times (10450 \times 10^4) + 35536 \times 5500}$$

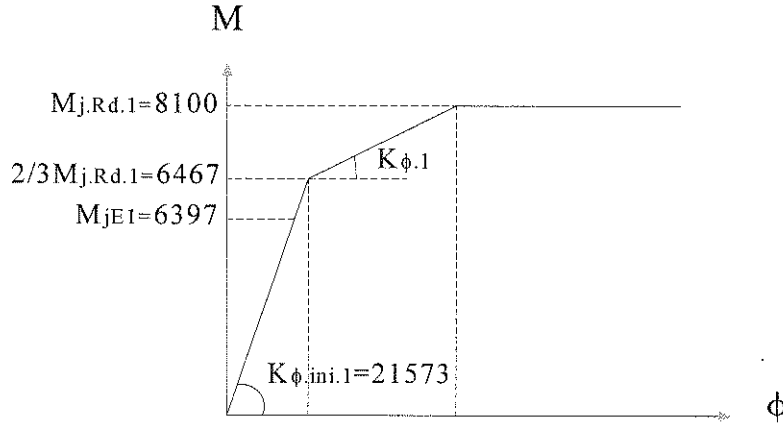
$$44420 \geq S_{j,ini2} \geq 28429$$

Daha önce hesaplanan $K_{\phi2}$ ($S_{j,ini2} = 29557$), iç düğüme ait birleşimin iyi tahmin rijitlik sınırları içinde kaldı.

$$M_{jE1} = 8100 - 131 \times \frac{26}{2} = 6397 \text{ kNcm (Dış Düğüme HEA260-HEB260 gelen moment)}$$

$$M_{jE1} > \frac{2}{3} \times M_{jini1} \text{ ise } M_{jE1}, M-\phi \text{ eğrisinin 2. kısmında yer alır.}$$

$$6397 < \frac{2}{3} \times 9700 = 6467 \text{ olduğundan } M_{jE1}, M-\phi \text{ eğrisinin 1. kısmında yer alır.}$$



Şekil 5.2 Kenar Düğüme ait Moment Dönme Eğrisi

$$M_{jE2} = 11800 - 142 \times \frac{28}{2} = 9812 \text{ kNcm (İç Düğüme HEA260-HEB280 gelen moment)}$$

$$M_{jE2} > \frac{2}{3} \times M_{jini2}$$

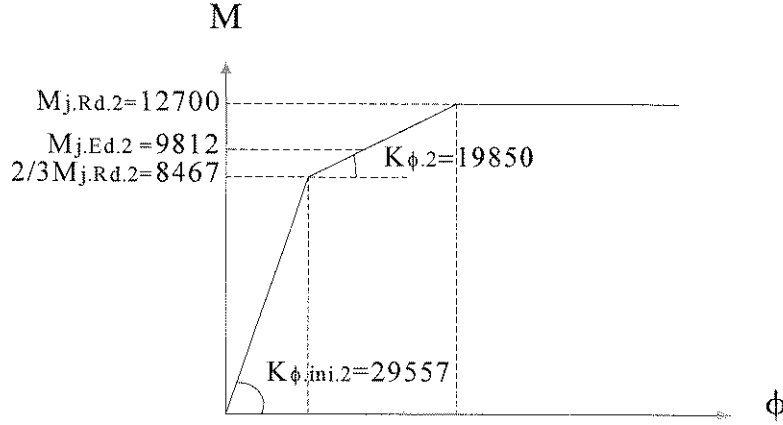
$$9812 > \frac{2}{3} \times 12700 = 8467 \text{ olduğundan } M_{jE2}, M-\phi \text{ eğrisinin 2. kısmında yer alır.}$$

Bu bölgede kaynaklı birleşimler $\xi=2,7$ alınarak $M-\phi$ arasındaki lineer olmayan bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M = \frac{K_{\phi}}{(1,5 \times \frac{M_E}{M_{j,Rd}})^{\xi}} \times \phi \quad \text{bağıntısı} \quad \frac{2}{3} M_{j,Rd} < M_E \leq M_{j,Rd} \quad \text{aralığında geçerlidir.}$$

$$M = \frac{29557}{\left(1,5 \times \frac{9812}{12700}\right)^{2,7}} \times \phi \quad \text{bağıntısı} \quad \frac{2}{3} \times 12700 < 9812 \leq 12700 \quad \text{aralığında geçerlidir.}$$

$$M = 19850 \times \phi \quad \text{bağıntısı} \quad 8467 < 9812 \leq 12700 \quad \text{aralığında geçerlidir.}$$



Şekil 5.3 Orta Düğüme ait Moment dönme eğrisi

5.4 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması

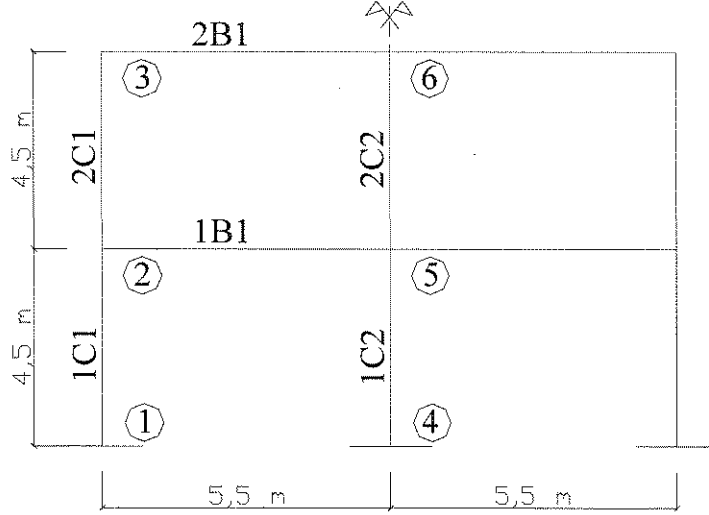
Tablo 5.1 Çerçeve Düzleminde Kat Ötelemeleri

Kat No	h_i (cm)	d_i (cm)	D_{imax}	$d_{imax} = R \times D_{imax}$	$\Theta = d_{imax}/h_i$	Üst Sınır
2	450	2,46	1,33	6,65	0,0148	0,02
1	450	1,13	1,13	5,65	0,0126	0,02

5.5 Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması

5.5.1 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması

5.5.1.1 Kesit seçimi



DÜĞÜM NO VE ELEMAN İSMİ

Şekil 5.4 Düğüm No ve Eleman İsmi

Tablo 5.2 Elverişsiz Kombolar -Mesnet Yüzü Çubuk Uç Kuvvetleri

Çubuk	Düğüm	Elverişsiz Kombolar- Mesnet Yüzü Çubuk Uç Kuvvetleri (kN-m)								
No:	No:	GQ			GQE			GQW		
		M	V	N	M	V	N	M	V	N
1B1	2	Açıklık	117	0	Açıklık	132	0	Açıklık	110	0
	5	106	123	0	109	138	0	107	130	0
2B1	3	Açıklık	88	0	Açıklık	98	0	Açıklık	83	0
	6	83	95	0	85	105	0	84	99	0
1C1	1	11	7	311	59	24	337	37	16	322
	2	19	7	31	37	24	337	30	16	322
2C1	2	35	16	108	57	27	119	40	19	111
	3	31	16	108	55	27	119	40	19	111
1C2	4	0	0	528	125	39	528	68	23	528
	5	0	0	528	39	39	528	24	23	528
2C2	5	0	0	206	48	24	207	8	7	206
	6	0	0	206	53	24	207	20	7	206

Çerçeve 1. kat kirişinde (1B1), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir.

$$M_{d_{a\check{c}ıklık}} = 109 \text{ kNm} = 10900 \text{ kNcm}$$

$$V_{d_{a\check{c}ıklık}} = 138 \text{ kN}$$

$$W = \frac{M}{\sigma_{Hz}em} = \frac{10900}{16} = 681 \text{ cm}^3 \quad (5.1)$$

$\sigma_{Hz}em = 16 \text{ kN/cm}^2$ Esas ve ilave yükler için emniyet gerilmesidir.

Seçilen Kesit : HE260A (IPBI 260)

$$W_x = 836 \text{ cm}^3; \quad I_x = 10450 \text{ cm}^4; \quad t_f = 1,25 \text{ cm}; \quad s = 0,75 \text{ cm}$$

$$b = 26 \text{ cm}; \quad h = 25 \text{ cm}$$

5.5.1.2 Kompaktlık koşulu kontrolü

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kiriş enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Başlık genişliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{Es/\sigma_a} \quad (5.2)$$

$$\frac{13}{1,25} \leq 0,5 \times \sqrt{21000/23,5} = 10,4 < 14,9 \text{ (HE 260A için)}$$

Gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{h - 2t_f}{s} \leq 5 \times \sqrt{Es/Ea} \quad (5.3)$$

$$\frac{22,5}{0,75} \leq 5 \times \sqrt{21000/23,5} = 30 < 149,5 \text{ (HE 260A için)}$$

5.5.1.3 Yanal doğrultuda burkulma kontrolü

DY 2007 4.3.6.3'e göre betonarme döşemelerin çelik kirisler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde , kirişlerin üst ve alt başlıkları yanal doğrultuda mesnetlenecektir koşuluna uyulması zorunlu değildir.

Buna ramen kiriş alt başlığı tamamen tutulu sayılamayacağından burada kiriş alt başlığının mesnet bölgesindeki burkulma tahkiki yapılmıştır.

TS 648 3.3.4.2'ye göre basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde basınç emniyet gerilmesi şu şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} < 0,6 \times \sigma_a \quad (5.4)$$

l_b : Kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arası uzaklık

$$l_b = 5,5 \text{ m}$$

C_b : Uç momentlerine bağlı bir katsayı

$C_b = 1$ (Açıklık momenti kenar momentlere kıyasla büyük olduğundan)

$$C_b = 1 < 2,3$$

h : Kesit başlıkları arasında dıştan dışa mesafe

A_b : Basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin 1/3

Gövde yüksekliği : $h_1 = h - 2 \times t$

$$= 25 - 2 \times 1,25 = 22,5 \text{ cm}$$

$$\text{Basınç Alanı} : A_b = b \times t + h_1 \times s/6 \quad (5.5)$$

$$= 26 \times 1,25 + 22,5 \times 0,75/6 = 35,3 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} < 0,6 \times \sigma_a \quad (5.6)$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times 1}{550 \times 25 / 35,3} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

$\sigma_{Bx} = 21,6 > 14,1$ olduğundan $\sigma_{Bx} = 14,1 \text{ kN/cm}^2$ kullanılır.

$$\sigma = \frac{M_d}{W} = \frac{10900}{836} = 13 \text{ kN/cm}^2 < 18,75 \text{ kN/cm}^2 (\sigma = 14,1 \times 1,33)$$

$$\tau = \frac{V_d}{(h - 2t) \times s} =$$

$$= \frac{138}{(25 - 2 \times 1,25) \times 0,75} = 8,18 \text{ kN/cm}^2 < 10,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.7)$$

1B1 kirişinin sağ mesnetinde kıyaslama gerilmesi için moment: $M=9800 \text{ kNcm}$

$$\sigma = \frac{M}{I} \times \frac{h_1}{2} = \frac{9800}{10450} \times \frac{22,5}{2} = 10,55 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.8)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} =$$

$$= \sqrt{10,55^2 + 3 \times 8,18^2} = 17,65 \text{ kN/cm}^2 < 18 (=0,75 \times 24) \text{ kN/cm}^2 \quad (5.9)$$

$$\text{Sehim değeri } G+Q \text{ yüklemesi için } f = 0,69 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm} \quad (5.10)$$

Burada f hareketli ve kalıcı yük etkisindeki sehimdir.

Üst kat 2B1 kirişinin kesit tesirleri daha küçük olduğundan HE260A kesiti orada da kullanılacak.

5.5.2 Kolonların boyutlandırılması

5.5.2.1 Kesit seçimi

Güçlü kolon zayıf kiriş koşulundan yararlanarak seçim yapıldı.

$$\text{İç düğüm noktası için ; } 2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a \quad (5.11)$$

$$W_p = 2 \times S_x \text{ kolon veya kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti} \quad (5.12)$$

S_x : Kolon veya kiriş kesitinin yarısının statik momenti

HE 260 A kirişi için; $S_x = 460 \text{ cm}^3$

$W_{pkolon} > 1,32 \times (2 \times 460) = 1214 \text{ cm}^3$ olmalı

Normal kuvvetin azaltıcı etkisi de dikkate alınarak orta kolon için bir numara büyük geniş başlıklı IPB 300 (HE-B) profili seçildi.

Seçilen profil kesiti, basınç kuvvetinin akma gerilmesini azaltıcı etkisi dikkate alınarak güçlü kolon zayıf kiriş durumuna göre kontrol edilirse;

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} = 23,5 - \frac{528}{131} = 20 \text{ kN/cm}^2$$

$$2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a$$

$$2 \times W_{pkolon} \times 20 \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times 920 \times 23,5$$

$W_{pkolon} = 1680 \geq 1426$ olduğundan iç düğüm için seçilen kolon profili uygun.

$$\text{Dış düğüm noktası için ; } 2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a \quad (5.13)$$

$W_p = 2 \times S_x$ kolon veya kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti

S_x : Kolon veya kiriş kesitinin yarısının statik momenti

HE 260 A kirişi için; $S_x = 460 \text{ cm}^3$

$$W_{pkolon} > \frac{1,32 \times (2 \times 460)}{2} = 607 \text{ cm}^3 \text{ olmalı}$$

Kiriş başlık genişliği dikkate alınarak kolon IPB 260 (HE-B) profili seçildi.

Seçilen profil kesiti, basınç kuvvetinin akma gerilmesini azaltıcı etkisi dikkate alınarak güçlü kolon zayıf kiriş durumuna göre kontrol edilirse;

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} = 23,5 - \frac{337}{118} = 20,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a$$

$$2 \times W_{pkolon} \times 20,6 \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times 1384 \times 23,5$$

$$W_{pkolon} (=1150) \geq 690 \text{ olduğundan dış düğüm için seçilen kolon profili uygun}$$

5.5.2.2 Kompaktlık (narinlik) Koşulu Kontrolü

HE-B 300 karakteristik değerleri aşağıda verilmiştir. (Orta kolon için : 1C2)

$W_x = 1680 \text{ cm}^3$	Kesitin mukavemet momenti
$S_x = 934 \text{ cm}^3$	Kesitin statik momenti
$W_{xp} = 1868 \text{ cm}^3$	Kesitin plastik mukavemet momenti
$I_x = 25170 \text{ cm}^4$	Kesitin atalet momenti
$t_f = 1,9 \text{ cm}$	Kesitin başlık kalınlığı
$s = 1,1 \text{ cm}$	Kesitin gövde kalınlığı
$b = 30 \text{ cm};$	Kesitin başlık genişliği
$h = 30 \text{ cm}$	Kesitin yüksekliği
$i_x = 13 \text{ cm}$	Kesitin kuvvetli eksen yönünde atalet yarıçapı
$i_y = 7,58 \text{ cm}$	Kesitin zayıf eksen yönünde atalet yarıçapı
$A = 149 \text{ cm}^2$	Kesit alanı
$G = 117 \text{ kg/m}$	Profilin bir metresinin ağırlığı

HE-B 260 karakteristik değerleri aşağıda verilmiştir. (Kenar kolon : 1C1)

$W_x = 1150 \text{ cm}^3$	Kesitin mukavemet momenti
$S_x = 641 \text{ cm}^3$	Kesitin statik momenti
$W_{xp} = 1282 \text{ cm}^3$	Kesitin plastik mukavemet momenti
$I_x = 14920 \text{ cm}^4$	Kesitin atalet momenti
$t_f = 1,75 \text{ cm}$	Kesitin başlık kalınlığı
$s = 1 \text{ cm}$	Kesitin gövde kalınlığı
$b = 26 \text{ cm};$	Kesitin başlık genişliği

$h = 26 \text{ cm}$	Kesitin yüksekliği
$i_x = 11,2 \text{ cm}$	Kesitin kuvvetli eksen yönünde atalet yarıçapı
$i_y = 6,58 \text{ cm}$	Kesitin zayıf eksen yönünde atalet yarıçapı
$A = 118 \text{ cm}^2$	Kesit alanı
$G = 93 \text{ kg/m}$	Profilin bir metresinin ağırlığı

Çerçeve kenar alt kolonunda (1C1), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir. (HE-B 260 kolonu için)

$M_{da} = 5900 \text{ kNcm}$ (kolon alt ucu dizayn momenti)

$M_{du} = 3700 \text{ kNcm}$ (kolon üst ucu dizayn momenti)

$N_d = 337 \text{ kN}$

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kolon enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için 4.11'de verilen başlık genişliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (5.14)$$

$$\frac{13}{1,75} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 7,4 < 14,9 \text{ (HE 260 B için):}$$

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$|N_d / (\sigma_a \times A)| > 0,1 \text{ için } \frac{h_g}{t_g} \leq 2,08 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \times \left(2,1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \text{ olmalıdır.} \quad (5.15)$$

$$337 / (23,5 \times 118,4) = 0,12 > 0,1 \text{ için } \frac{22,5}{1,0} = 22,5 < 121,4 \text{ olduğundan kesit uygun.}$$

Denklemde;

$$h_g = h - 2 \times t \text{ kolon gövde yüksekliği} \quad (5.16)$$

t_g : kolon gövde kalınlığıdır

$$h_g = 26 - 2 \times 1,75 = 22,5$$

Çerçeve orta alt kolonunda (1C2), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir. (HE-B 300 kolonu için)

$M_{da} = 12500 \text{ kNcm}$ (kolon alt ucu dizayn momenti)

$M_{du} = 3900 \text{ kNcm}$ (kolon üst ucu dizayn momenti)

$N_d = 528 \text{ kN}$

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kolon enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için 4.11'de verilen başlık genişliği / kalınlığı

$$\text{koşulu : } \frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a}$$

$$\frac{15}{1,9} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 7,9 < 14,9 \text{ (HE 300 B için):}$$

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$|N_d / (\sigma_a \times A)| > 0,1 \text{ için}$$

$$\frac{h_g}{t_g} \leq 2,08 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \times \left(2,1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \text{ olmalıdır.}$$

$$528 / (23,5 \times 149) = 0,15 > 0,1 \text{ için}$$

$$\frac{26,2}{1,1} = 23,8 \leq 2,08 \times \sqrt{21000 / 23,5} \times \left(2,1 - \left| \frac{528}{23,5 \times 149} \right| \right) = 121,2 \text{ olduğundan kesit uygun.}$$

Denklemden;

$$h_g = h - 2 \times t_f \text{ kolon gövde yüksekliği}$$

$$t_g : \text{kolon gövde kalınlığıdır}$$

$$h_g = 30 - 2 \times 1,9 = 26,2$$

5.5.2.3 G+Q+E yüklemesi için basınç+eğilme etkisinde normal gerilme kontrolü

TS 648 (Aralık 1980) 3.4' ten

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) \times \sigma_{Bx}} \leq 1,00 \quad (5.17)$$

σ_{eb} : Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme

$$1C1 \text{ kolonu (1. kat C1 kolonu) için; } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{337}{118,4} = 2,85 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C1 \text{ kolonu için (2. kat C1 kolonu için); } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{119}{118,4} = 1 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{528}{149} = 3,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{207}{149} = 1,39 \text{ kN/cm}^2$$

σ_{bem} : Doğrultulara göre narinliklerden büyük olanına bağlı TS 648 Çizelge 8'den bulunan basınç emniyet gerilmesidir.

Basınç çubuğu bir çerçeve kolonu ise burkulma boyu l_k , G_i kolon uç değerlerine bağlı olarak TS 648 sayfa 10 çizelge 5'ten K katsayıları ile $l_k = K \times l$ şeklinde elde edilir.¹ (5.18)

l_k = basınç çalışan çubukların mesnetlenme şartına bağlı burkulma boyu

$$G_i = \frac{\sum I_c / l_c}{\sum I_b / l_b} \quad (5.19)$$

I_c : Dügüme rijit bağlanan kolonların atalet momenti (cm^4)

l_c : Dügüme rijit bağlanan kolonların boyu(cm)

I_b : Dügüme rijit bağlanan kirişlerin atalet momenti (cm^4)

l_b : Dügüme rijit bağlanan kirişlerin boyu (cm)

Kolon ucu ankastre temele bağlı olduğundan bu uç için $G_i=1$ alınır.

$$1C1 \text{ kolonunda üst uç için; } G_j = \frac{2 \times 14920 / 4,5}{10450 / 5,5} = 3,49$$

$K_{1C1} = 1,60$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

$$2C1 \text{ kolonu alt uç için; } G_i = \frac{2 \times 14920 / 4,5}{10450 / 5,5} = 3,49$$

$$\text{üst uç için; } G_j = \frac{14920 / 4,5}{10450 / 5,5} = 1,75$$

$K_{2C1} = 1,72$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

Kolon ucu ankastre temele bağlı olduğundan bu uç için $G_i=1$ alınır.

$$1C2 \text{ kolonu üst uç için; } G_j = \frac{2 \times 25170 / 4,5}{2 \times 10450 / 5,5} = 2,95$$

$K_{1C2} = 1,55$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

$$2C2 \text{ kolonu alt uç için; } G_i = \frac{2 \times 25170 / 4,5}{2 \times 10450 / 5,5} = 2,95$$

$$\text{üst uç için; } G_j = \frac{25170 / 4,5}{2 \times 10450 / 5,5} = 1,47$$

$K_{2C2} = 1,62$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

Kolonda burkulma boyu;

Narinlik;

¹ Öztürk.A.Zafer ,Çelik yapılar kısa bilgi ve çözülmüş problemler,Birsen Yayınevi 2.baskı,sayfa 37

$$1C1 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{K \times l}{i_x} = \frac{1,6 \times 450}{11,2} = \frac{720}{11,2} \cong 65 \quad (5.20)$$

Burkulma katsayısı $w = 1,41$ (ST 37 çeliği için)

$$2C1 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{1,72 \times 450}{11,2} = \frac{774}{11,2} \cong 70$$

Burkulma katsayısı $w = 1,47$ (ST 37 çeliği için)

$$1C2 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{1,55 \times 450}{13} = \frac{698}{13} \cong 54$$

Burkulma katsayısı $w = 1,30$ (ST 37 çeliği için)

$$2C2 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{1,6 \times 450}{13} = \frac{729}{13} \cong 57$$

Burkulma katsayısı $w = 1,33$ (ST 37 çeliği için)

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,41} = 11,3 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.21)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,47} = 10,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,30} = 12,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,33} = 12,0 \text{ kN/cm}^2$$

Basınca çalışan alan :

$$A_b = t_f \times b + s \times \left(\frac{h - 2 \times t_f}{2} \times \frac{1}{3} \right) =$$

$$1C1 \text{ ve } 2C1 \text{ kolonu için } A_b = 1,75 \times 26 + 1,0 \times \left(\frac{26 - 2 \times 1,75}{2} \times \frac{1}{3} \right) = 49,3 \text{ cm}^2$$

$$1C2 \text{ ve } 2C2 \text{ kolonu için } A_b = 1,9 \times 30 + 1,1 \times \left(\frac{30 - 2 \times 1,9}{2} \times \frac{1}{3} \right) = 61,8 \text{ cm}^2$$

Yalnız eğilme momenti varken gerilme şöyle ifade edilir.

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{5900}{1150} = 5,1 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.22)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{5800}{1150} = 5,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{12500}{1680} = 7,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{5300}{1680} = 3,2 \text{ kN/cm}^2$$

$C_m = 0,85$ (Yanal deplasmanı mümkün olan sistemlere ait değer.)

C_m : Uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklenmeyi gözönüne alan bir katsayıdır.

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l/i)^2} = \frac{82900}{(1,6 \times 450/11,2)^2} = 20,1 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.23)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l/i)^2} = \frac{82900}{(1,72 \times 450/11,2)^2} = 17,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l/i)^2} = \frac{82900}{(1,55 \times 450/13)^2} = 28,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l/i)^2} = \frac{82900}{(1,6 \times 450/13)^2} = 27,0 \text{ kN/cm}^2$$

σ'_{ex} : Asal eksenler etrafında burkulma için hesaplanan ve Euler gerilmesinden türetilen gerilmeler.

$$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0,3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 < 2,3 \text{ olmalı} \quad (5.24)$$

$$1C1 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{3700}{-5900}\right) + 0,3\left(\frac{3700}{-5900}\right)^2 = 1,2 < 2,3$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{5500}{-5700}\right) + 0,3\left(\frac{5500}{-5700}\right)^2 = 1,0 < 2,3$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{3900}{12500}\right) + 0,3\left(\frac{3900}{12500}\right)^2 = 2,1 < 2,3$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{-4800}{5200}\right) + 0,3\left(\frac{-4800}{5200}\right)^2 = 1 < 2,3$$

$C_b > 2,3$ ise $C_b = 2,3$ olarak alınır.

Basınç başlığı dolu kesitli ve yaklaşık şekilde dikdörtgen olduğundan yanal burkulmada basınç emniyet gerilmesi;

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{B1} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 1,2}{450 \times 26 / 49,3} = 43 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{B2} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 1}{450 \times 26 / 49,3} = 36 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{B3} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 2,1}{450 \times 30 / 61,8} = 81 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{B4} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 1}{450 \times 30 / 61,8} = 39 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$\sigma_{Bi} > \sigma_B = 0,6 \times 23,5 = 14,1$ ise $\sigma_B = 14,1$ alınır.

l_b : basınç başlığının yanal doğrultuda burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arası uzaklık.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}) \times \sigma_{Bx}} \leq 1.00$$

$$1C1 \text{ kolonu için; } \frac{2,85}{11,3} + \frac{0,85 \times 5,1}{(1 - \frac{2,85}{20,1}) \times 14,1} = 0,61 \leq 1$$

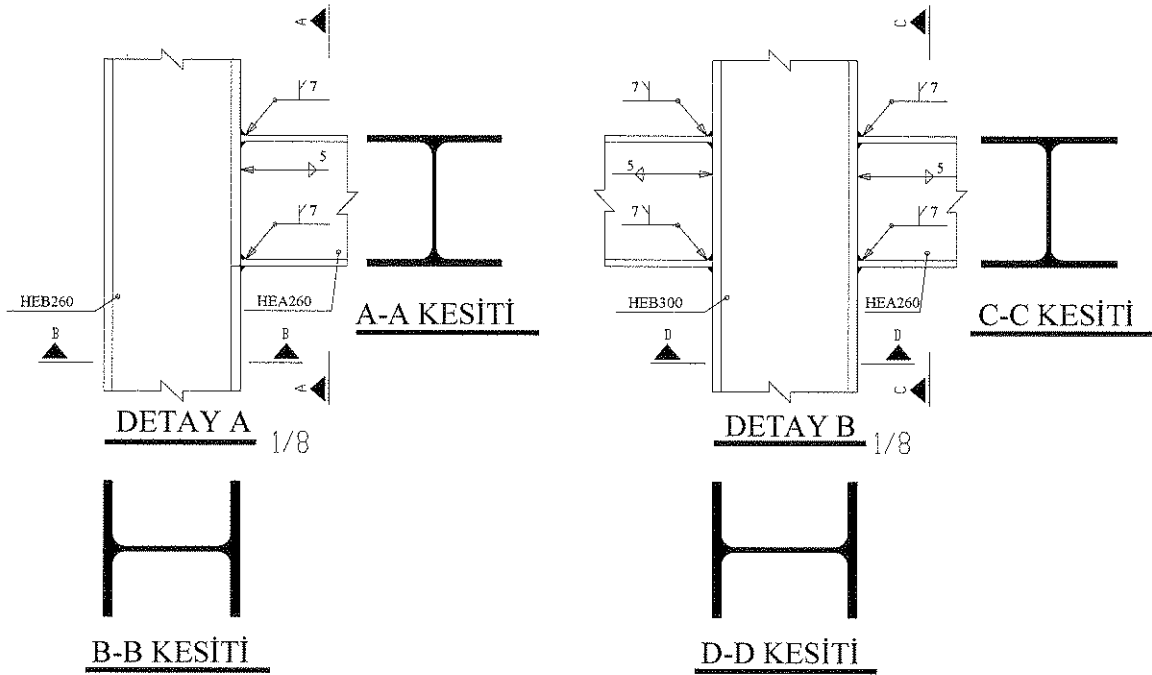
$$2C1 \text{ kolonu için; } \frac{1}{10,9} + \frac{0,85 \times 5}{(1 - \frac{1}{17,4}) \times 14,1} = 0,41 \leq 1$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \frac{3,54}{12,3} + \frac{0,85 \times 7,4}{(1 - \frac{3,54}{28,8}) \times 14,1} = 0,80 \leq 1$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \frac{1,39}{12} + \frac{0,85 \times 3,2}{(1 - \frac{1,39}{27}) \times 14,1} = 0,32 \leq 1$$

olduğundan kolon profilleri uygundur.

5.5.3 Kaynaklı birleşim detayı ve konstruktif kurallar



Şekil 5.5 Kaynaklı Kiriş Kolon Birleşim Detayı

Bu birleşim tipi için EC3 Annex J'den alınan konstruktif detay açıklamaları şöyle ifade edilebilir.

5.5.3.1 Çekme bölgesinin dayanımı :

Rijitleştirilmemiş kolon başlığı hadde profiller için; (HEB260-HEA 260)

$$F_{tRd} = f_{yb} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2 \times r_c) + 7 \times f_{yc} \times t_{fc}^2 / \gamma_{Mo} \leq f_{yb} \times t_{fb} (t_{wc} + 2 \times r_c + 7 \times t_{fc}) / \gamma_{Mo} \quad (5.25)$$

$$F_{tRd} = 23,5 \times 1,25 \times (1 + 2 \times 2,4) + 7 \times 23,5 \times 1,75^2 / 1 \leq 23,5 \times 1,25 (1 + 2 \times 2,4 + 7 \times 1,75) / 1$$

$$F_{tRd} = 646 \leq 530 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{tRd} \geq 0,7 \times f_{yb} \times t_{fb} \times b_{fb} / \gamma_{Mo} \quad (5.26)$$

koşulu sağlanmalı, aksi durumda düğüm noktası süreklilik levhalarıyla rijitleştirilmelidir.

$$530 \geq 0,7 \times 23,5 \times 1,25 \times 26 / 1 = 534 \text{ kN/cm}^2$$

$$530 \cong 534 \text{ kN/cm}^2$$

Değerler yakın olduğundan süreklilik levhası kullanılmamıştır.

5.5.3.2 Basınç bölgesinin dayanımı :

Rijitleştirilmemiş kolon başlığı hadde profiller için; (HEB260-HEA 260)

$$b_{eff} = t_{fc} + 2 \sqrt{2} \times a_b + 5 \times (t_{fc} + r_c) \quad (5.27)$$

$$b_{eff} = 1,25 + 2 \sqrt{2} \times 7 + 5 \times (1,75 + 2,4) = 45,5$$

$$F_{cRd} = f_{yc} \times 1 \times (1,25 - 0,5 \gamma_{Mo} \times \sigma_{nED} / f_{yc}) \times b_{eff} / \gamma_{Mo} \leq f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff} / \gamma_{Mo} \quad (5.28)$$

$$F_{cRd} = 23,5 \times t_{wc} \times (1,25 - 0,5 \times 1 \times \frac{337}{118} / 23,5) \times 45,5 / 1 \leq 23,5 \times 1 \times 45,5 / 1$$

$$F_{cRd} = 1272 \leq 1069 \text{ kN/cm}^2$$

Kirişten gelebilecek yanal basınç kuvveti (Plastik momentten gelen):

$$F_{b Mp} = \frac{W_p \times \sigma_a}{h_b} = \frac{920 \times 23,5}{25} = 864 \text{ kN} \quad (5.29)$$

Deprem kombinasyonundan gelen basınç kuvveti:

$$F_{b Ed} = \frac{M_{Ed}}{h_b} = \frac{8200}{25} = 328 \text{ kN} \quad (5.30)$$

$F_{cRd} \geq F_{bRd}$ koşulu sağlanmalı, aksi durumda düğüm noktası süreklilik levhalarıyla rijitleştirilmelidir.

$1069 \geq 864 \text{ kN}$ olduğundan süreklilik levhası kullanılmamıştır.

5.5.3.3. Panel (kesme) bölgesinin dayanımı :

Rijitleştirilmemiş kesmeye maruz kolon gövde panelinin plastik kesme dayanımı:

Kesme Alanı ;

$$A_v = A_c - 2 \times b_c \times t_{fc} \quad (5.31)$$

$$A_v = 118 - 2 \times 26 \times 1,75 = 27 \text{ cm}$$

$$V_{pl,Rd} = (f_{yc} \times A_v / \sqrt{3}) / \gamma_{Mo} \quad (5.32)$$

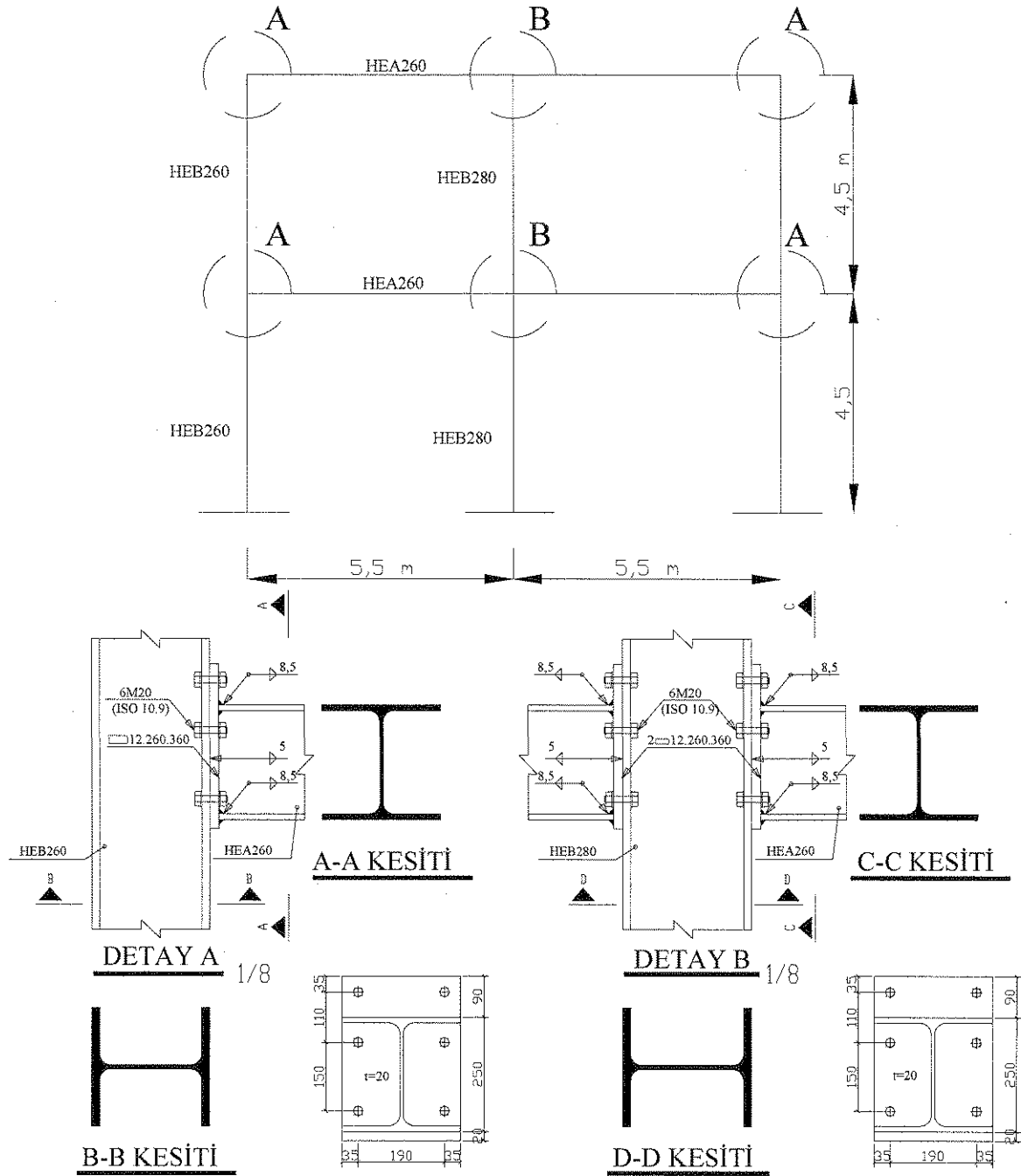
$$V_{pl,Rd} = (23,5 \times 27 / \sqrt{3}) / 1 = 366 \text{ kN}$$

Deprem kombinasyonundan düğüme gelen kesme kuvveti:

$$F_b = \frac{M_{Ed}}{h_b} - V_c = \frac{8200}{25} - 27 = 301 < 366 \text{ kN} \quad (5.33)$$

olduğundan gövde takviye levhası kullanılmamıştır.

6) SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK YARI RİJİTÇERÇEVELERDEN OLUŞAN İKİ KATLI ÇELİK OFİS BİNASINDA BULONLU UZATILMIŞ LEVHALI YARI RİJİT DÜĞÜM NOKTASI HESABI



Şekil 6.1 İncelenen Birleşimler ve Sistemdeki Yerleri

6.1 Başlangıç Dönme Rijitliği İşlem Basamakları

6.1.1 Bulon sıralarının moment kolları (Basınç merkezine uzaklıkları)

1. sıra için $h_1 = h_b - \frac{t_{fb}}{2} + l_{ep} - e_x$
2. sıra için $h_2 = h_1 - p$
3. sıra için $h_3 = h_{ep} - e_x - p - p_i - [h_{ep} - (l_{ep} + h_b)] - \frac{t_{fb}}{2}$

6.1.2 Birinci bulon sırasının doğrusal rijitliği

6.1.2.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı

a) Bulon ekseninden plastik mafsala uzaklık

$$m_c = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0,8 \times r_c$$

b) Efektif genişlik

Diğer uçtaki (basınç bölgesi) bulon sırası için efektif genişlik:

$$b_{eff.cfb} = \min(b_{eff.cfb.1}; b_{eff.cfb.2}) = \min(d_h + 2m; \frac{d_h}{2} + \frac{p}{2} + m)$$

c) Eksenel Rijitlik

$$K_{cfb} = E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.cfb} \times t_{fc}^3)}{m_c^3}$$

6.1.2.2 Çekmeye maruz kolon gövdesi

a) Kolon kesitinin net derinliği

$$d_{wc} = h_c - 2 \times (t_{fc} + r_c)$$

b) Eksenel rijitlik

$$b_{eff.cwt} = b_{eff.cfb}$$

$$K_{cwt} = E \times \frac{(b_{eff.cwt} \times t_{wc}^3)}{d_{wc}^3}$$

6.1.2.3 Eğilmeye maruz alın levhası

a) Bulon ekseninden plastik mafsala uzaklık

$$m_x = L_{ep} - e_{ep} - 0,8 \times a_{pf} \times \sqrt{2}$$

b) Efektif genişlik

Kiriş çekme başlığının dışında kalan alın levhası bulon sırası için efektif genişlik:

$$b_{eff.cfb} = \min(b_{eff.ep.1}; b_{eff.ep.2}; b_{eff.ep.3}; b_{eff.ep.4})$$

$$= \min(d_h + 2m_x; \frac{b_p}{2}; e_{ep} + \frac{d_h}{2} + m_x; m_x + \frac{d_{bh}}{2} + \frac{w}{2})$$

c) Eksenel rijitlik

$$K_{epb} = E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.ep} \times t_{ep}^3)}{m_x^3}$$

6.1.2.4 Çekmeye maruz bulonlar

Bulonda direnen çap

$$d_r = \sqrt{0,78} \times d_b$$

Bulonda direnen alan

$$A_b = \frac{\pi \times d_r^2}{4}$$

Kabul edilen bulon uzunluğu

$$L_b = t_{fc} + t_{ep} + 2 \times t_{wh} + \frac{t_h + t_n}{2}$$

Eksenel Rijitlik

$$K_b = E \times \frac{(1,6 \times A_b)}{L_b}$$

6.1.2.5 Birinci bulon sırasının eşdeğer rijitliği

$$K_1^* = \frac{1}{\frac{1}{K_{cfb}} + \frac{1}{K_{cwt}} + \frac{1}{K_{epb}} + \frac{1}{K_b}}$$

6.1.3 İkinci bulon sırasının doğrusal rijitliği

6.1.3.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı

a) Bulon ekseninden plastik mafsala uzaklık

$$m_c = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0,8 \times r_c$$

b) Efektif genişlik

İç bulon sırası için efektif genişlik:

$$b_{eff.cfb} = \min(b_{eff.cfb.1}; b_{eff.cfb.2}; b_{eff.cfb.3}; b_{eff.cfb.4})$$

$$= \min(d_h + 2m_c; \frac{d_h}{2} + m_c + \frac{p}{2}; \frac{d_h}{2} + m_c + \frac{p_i}{2}; \frac{p}{2} + \frac{p_i}{2})$$

c) Eksenel Rijitlik

$$K_{cfb} = E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.cfb} \times t_{fc}^3)}{m_c^3}$$

6.1.3.2 Çekmeye maruz kolon gövdesi

a) Kolon kesitinin net derinliği

$$d_{wc} = h_c - 2 \times (t_{fc} + r_c)$$

b) Eksenel rijitlik

$$b_{eff.cwt} = b_{eff.cfb}$$

$$K_{cwt} = E \times \frac{(b_{eff.cwt} \times t_{wc})}{d_{wc}}$$

6.1.3.3 Eğilmeye maruz alın levhası

a) Bulon ekseninden, yeri kiriş gövdesi yakınında olan plastik mafsala uzaklık

$$m_{ep} = \frac{w}{2} - \frac{t_{wb}}{2} - 0,8 \times a_{pw} \times \sqrt{2}$$

b) Birinci konsolun efektif genişliği

$$b_{eff1.ep} = \min(b_{eff1.ep.1}; b_{eff1.ep.2})$$

$$= \min(d_h + 2m_{ep}; \frac{d_h}{2} + m_{ep} + \frac{p_i}{2})$$

c) Bulon ekseninden, yeri kiriş flanşı yakınında olan plastik mafsala uzaklık

$$m_2 = e_x + p - L_{ep} - t_{fb} - 0,8 \times a_{pf} \times \sqrt{2}$$

d) İkinci konsolun efektif genişliği

$$b_{eff2.ep} = \min(b_{eff2.ep.1}; b_{eff2.ep.2})$$

$$= \min(d_h + 2m_2; \frac{d_h}{2} + m_2 + e_{ep})$$

e) Eksenel Rijitlik

$$K_{ep} = E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.1.ep} \times t_{ep}^3)}{m_{ep}^3} + E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.2.ep} \times t_{ep}^3)}{m_2^3}$$

6.1.3.4 Çekmeye maruz bulonlar

Bulonda direnen çap

$$d_r = \sqrt{0,78} \times db$$

Bulonda direnen alan

$$A_b = \frac{\pi \times d_r^2}{4}$$

Kabul edilen bulon uzunluğu

$$L_b = t_{fc} + t_{ep} + 2 \times t_{wh} + \frac{t_h + t_n}{2}$$

Eksenel Rijitlik

$$K_b = E \times \frac{(1,6 \times A_b)}{L_b}$$

6.1.3.5 İkinci bulon sırasının eşdeğer rijitliği

$$K_2^* = \frac{1}{\frac{1}{K_{cfb}} + \frac{1}{K_{cwt}} + \frac{1}{K_{epb}} + \frac{1}{K_b}}$$

6.1.4 Üçüncü bulon sırasının doğrusal rijitliği

6.1.4.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı

a) Bulon ekseninden plastik mafsala uzaklık

$$m_c = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0,8 \times r_c$$

b) Efektif genişlik

İç bulon sırası için efektif genişlik:

$$\begin{aligned} b_{eff.cfb} &= \min(b_{eff.cfb.1}; b_{eff.cfb.2}) \\ &= \min(d_h + 2m_c; \frac{d_h}{2} + m_c + \frac{pi}{2}) \end{aligned}$$

c) Eksenel rijitlik

$$K_{cfb} = E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.cfb} \times t_{fc}^3)}{m_c^3}$$

6.1.4.2 Çekmeye maruz kolon gövdesi

a) Kolon kesitinin net derinliği

$$d_{wc} = h_c - 2 \times (t_{fc} + r_c)$$

b) Eksenel Rijitlik

$$b_{eff.cwt} = b_{eff.cfb}$$

$$K_{cwt} = E \times \frac{(b_{eff.cwt} \times t_{wc})}{d_{wc}}$$

6.1.4.3 Eğilmeye maruz alın levhası

a) Bulon ekseninden, yeri kiriş gövdesi yakınında olan plastik mafsala uzaklık

$$m_{ep} = \frac{w}{2} - \frac{t_{wb}}{2} - 0,8 \times a_{pw} \times \sqrt{2}$$

b) Diğer uçtaki (basınç bölgesi) bulon sırası için efektif genişlik:

$$b_{eff.ep} = \min(b_{eff.ep.1}; b_{eff.ep.2}) = \min(d_h + 2m_{ep}; \frac{d_h}{2} + \frac{p_t}{2} + m_{ep})$$

c) Eksenel rijitlik

$$K_{epb} = E \times \frac{(0,5 \times b_{eff.ep} \times t_{ep}^3)}{m_{ep}^3}$$

6.1.4.4 Çekmeye maruz bulonlar

Bulonda direnen çap

$$d_r = \sqrt{0,78} \times d_b$$

Bulonda direnen alan

$$A_b = \frac{\pi \times d_r^2}{4}$$

Kabul edilen bulon uzunluğu

$$L_b = t_{fc} + t_{ep} + 2 \times t_{wh} + \frac{t_h + t_n}{2}$$

Eksenel Rijitlik

$$K_b = E \times \frac{(1,6 \times A_b)}{L_b}$$

6.1.4.5 Üçüncü bulon sırasının eşdeğer rijitliği

$$K_3^* = \frac{1}{\frac{1}{K_{cfb}} + \frac{1}{K_{cwt}} + \frac{1}{K_{epb}} + \frac{1}{K_b}}$$

6.1.5 Eşdeğer moment kolu

$$h_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} K_i^* \times h_i^2}{\sum_{i=1}^{n_b} K_i^* \times h_i} = \frac{K_1^* \times h_1^2 + K_2^* \times h_2^2 + K_3^* \times h_3^2}{K_1^* \times h_1 + K_2^* \times h_2 + K_3^* \times h_3}$$

6.1.6 Eşdeğer toplam rijitlik

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} K_i^* \times h_i}{h_t} = \frac{K_1^* \times h_1 + K_2^* \times h_2 + K_3^* \times h_3}{h_t}$$

6.1.7 Kesmeye maruz kolon gövdesi

a) Kesme alanı:

$$A_{vc} = t_{wc} \times (h_c - 2 \times t_{fc}) + t_{fc} \times (t_{wc} + 2 \times r_c) + (2 \times r_c)^2 - \pi \times r_c^2$$

b) β katsayısı:

$$\beta = 1 - \frac{ht}{h}$$

c) Eksenel rijitlik

$$K_{cws} = 0,38 \times \frac{E \times A_{vc}}{\beta \times ht}$$

6.1.8 Basınca maruz kolon gövdesi

a) Kolon kesitinin net derinliği (yüksekliği)

$$d_{wc} = h_c - 2 \times (t_{fc} + r_c)$$

b) Etkili genişlik:

$$s_p = 2 \times t_{ep}$$

$$s = r_c$$

$$b_{eff,cwc} = t_{fb} + 2 \times \sqrt{2} \times a_{pf} + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p$$

c) Eksenel Rijitlik

$$K_{cwc} = E \times \frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}{d_{wc}}$$

6.1.9 Sonuç: Düğümün dönme rijitliği

$$K_{\phi} = \frac{h_t^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_t}}$$

6.1.10 Rijitlik için sayısal veri ve hesap tabloları

Rijitlik hesabında iç düğüm noktası için veriler, orta düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için rijitlik hesap aşamaları, rijitlik hesabında kenar düğüm için veriler ve kenar düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için rijitlik hesap aşamaları Ek-A'da tablolar halinde verilmiştir

6.2 Eğilme Dayanımı Hesabı İçin İzlenen İşlem Basamakları

6.2.1 Kesmeye maruz kolon gövdesi

a) Kesme alanı:

$$A_{vc} = A_c - 2 \times b_{fc} \times t_{fc} + t_{fc} \times (t_{wc} + 2 \times r_c)$$

b) β katsayısı:

$$\beta = 1 - \frac{ht}{h}$$

c) Kolon gövdesinin tasarım kesme dayanımı

$$V_{cws,rd} = \frac{f_{ycw} \times A_{vc}}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mo}}$$

d) Uç kuvvetlerin yayılım etkisini dikkate alan yayın kesme dayanımı

$$F_{cws,rd} = \frac{M_b}{h_t} = \frac{V_{cws,rd}}{\beta}$$

6.2.2 Basınca maruz kolon gövdesi

6.2.2.1 Ezilme dayanımı

a) Etkili genişlik

$$s_p = t_{ep} + h_{ep} - L_{ep} - h_b - \sqrt{2}a \quad b_{eff,cwc} = t_{fb} + 2 \times \sqrt{2} \times a_{pf} + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p$$

b) Kesme etkileşimini dikkate alan ρ katsayısı

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

c) Dizayn dayanımı

Düşey normal gerilmenin etkisini de dikkate alan faktör $k_{cwc}=1$ ($\sigma_v = 0$ için) kabul edildi.

$$F_{cwc,rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \times \rho \times k_{cwc}}{\gamma_{Mo}}$$

6.2.2.2 Burkulma dayanımı

a) Etkili genişlik

$$b_{eff,cwc}^* = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_{pf} + 2 \left[\bar{\psi} \left(\frac{d_{wc} \times b_{fc}}{3t_{wc} \times t_{fc}} \right)^{1/4} \right] k + s_p^1$$

¹ Bu formül için deneylerde sadece HEM kesitleri kullanılmış bu yüzden burkulma dayanımı hesaplanırken yukarıdaki ezilme dayanımına

ait $b_{eff,cwc} = t_{fb} + 2 \times \sqrt{2} \times a_{pf} + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p$ kullanılabilir.

Burada $k = t_{fc} + r_c$ hadde profillerde

$k = t_{fc} + \sqrt{2}a_c$ kaynaklı yapma kesitlerde kullanılan değerlerdir.

$\bar{\psi}$ = kolon gövdesinin mesnetlemesine bağlı bir azaltma katsayısı. Eldeki deney sonuçlarına dayanarak bu değer 0,75 olarak öneriliyor.

b) Elastik kritik yük ve boyutsuz narinlik katsayısı

$$F_{cr} = \frac{\pi \times E \times t_{wc}^3}{3 \times (1 - \nu^2) \times d_{wc}}$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{b_{eff,cwc} \times t_{wc} \times f_{y,cw} / \gamma_{Mo}}{F_{cr}} \right)^{1/2}$$

$\bar{\lambda} < 0,67$ değerleri $F'_{cwc,rd} = F_{cwc,rd}$ eşitliğine götürür.

c) Basınca maruz kolon gövdesinin burkulma dayanımı ve ezilme dayanımıyla kıyaslama

$$F'_{cwc,rd} = F_{cwc,rd} \times \left[\frac{1}{\bar{\lambda}} \times \left(1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}} \right) \right] \leq F_{cwc,rd}$$

$$F_{cwc,rd} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff,cwc} \times \rho \times k_{cwc}}{\gamma_{Mo}}$$

k_{cwc} değerleri de daha önce verilen $k_{cwc} = 1,25 - 0,5 \times \frac{\sigma_v}{f_{y,cw}} \leq 1$ denkleminde elde edilir.

$$F_{cwc,rd,sonuç} = \min (F_{cwc,rd}, F'_{cwc,rd})$$

6.2.3 Basınca maruz kiriş başlığı ve gövdesi

a) Kirişin dayanımı

$$M_{b,Rd} = Z \times f_{y,jb}$$

b) Basınca maruz kiriş başlığı ve gövdesinin dayanımı

$$F_{bfwc,rd} = \frac{M_{b,rd}}{h_b - t_{jb}}$$

6.2.4 Birinci bulon sırasının dayanım hesabı ($F_{t1,Rd}$)

6.2.4.1 Eğilmeye maruz kolon başlığı

a) Bulonları çekip çıkarmaya çalışan kuvvetlerin yeri:

$$n = \min (e_c; e_{ep}; 1,25m_c)$$

$$e_c = \frac{b_{cf}}{2} - \frac{w}{2}$$

b) Tek bulon sırası için efektif genişlikler (Tablo 3.1: İç bulon sırası katagorisi için)

$$b_{eff.cfb.1} = 2 \times \pi \times m_c$$

$$b_{eff.cfb.2} = 4 \times m_c + 1.25 \times e_c$$

c) Mekanizma Tip 1 için;

$$b_{eff.cfb} = (b_{eff.cfb.1}, b_{eff.cfb.2})$$

$$M_{cf.Rd.1} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.cf}}{\gamma_{Mo}}$$

$$m_c = d_c - 0,8s$$

Hadde profillerde: $s = r_c$

$$F_{cfb.1.Rd} = \frac{4M_{fc.Rd}}{m_c}$$

d) Mekanizma Tip 2 için;

$$d_r = \sqrt{0,78} \times db$$

$$A_r = \pi \times \frac{dr^2}{4}$$

$$B_{t.Rd} = \frac{0,9 \times A_b \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

$$b_{eff.cfb} = \min(b_{eff.cfb.1}, b_{eff.cfb.2})$$

$$M_{cf.Rd.2} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.cf}}{\gamma_{Mo}}$$

$$F_{cfb.Rd.2} = \frac{2 \times M_{fc.Rd} + 2 \times B_{Rd.} \times n}{m_c + n}$$

e) Mekanizma Tip 3 için;

$$F_{cfb.3.Rd} = 2 \times B_{Rd}$$

f) 1. Bulon sırası için eğilmeye maruz kolon flanjında dayanım sınırı

$$F_{cfb.Rd(1)} = \min(F_{cfb.1.Rd}, F_{cfb.2.Rd}, F_{cfb.3.Rd})$$

6.2.4.2 Eğilmeye maruz alın levhası

a) Efektif genişlikler: (Tablo 3.3 Kiriş çekme başlığı dışında kalan bulon sırası katagorisi için)

a₁) Dairesel akma çizgileri için;

$$b_{\text{eff.epb.1}} = 2 \times \pi \times m_x$$

$$b_{\text{eff.epb.2}} = \pi \times m_x + w$$

$$b_{\text{eff.epb.3}} = \pi \times m_x + 2e_{ep}$$

$$b_{\text{eff.epb.4}} = \pi \times m_x + 2e_x$$

a₂) Dairesel olmayan akma çizgileri için;

$$b_{\text{eff.epb.5}} = 4 \times m_x + 1,25 \times e_x$$

$$b_{\text{eff.epb.6}} = e_{ep} + 2 \times m_x + 0,625 \times e_x$$

$$b_{\text{eff.epb.7}} = 0,5w + 2 \times m_x + 0,625 \times e_x$$

$$b_{\text{eff.epb.8}} = 0,5 \times b_p$$

b) Mekanizma Tip 1 için;

$$b_{\text{eff.epb.}} = \min (b_{\text{eff.epb.1}} ; \dots b_{\text{eff.epb.8}})$$

$$M_{\text{epb.Rd.1}} = \frac{b_{\text{eff.epb}} \times t_{ep}^2}{4} \times \frac{f_{y.ep}}{\gamma_{Mo}}$$

$$m_c = d_c - 0,8s$$

Hadde profillerde: $s = r_c$

$$F_{\text{epb.1.Rd}} = \frac{4M_{fc.Rd}}{m_c}$$

d) Mekanizma Tip 2 için;

$$d_r = \sqrt{0,78} \times db$$

$$A_r = \pi \times \frac{dr^2}{4}$$

$$B_{t.Rd} = \frac{0,9 \times A_b \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

$$b_{\text{eff.epb}} = \min(b_{\text{eff.epb.5}} , \dots b_{\text{eff.epb.8}})$$

$$M_{\text{epb.Rd.2}} = \frac{b_{\text{eff.epb}} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.ep}}{\gamma_{Mo}}$$

$$F_{epb.Rd.2} = \frac{2 \times M_{ep.Rd} + 2 \times B_{Rd} \times n}{m_c + n}$$

e) Mekanizma Tip 3 için;

$$F_{epb.3.Rd} = 2 \times B_{Rd}$$

f) 1. Bulon sırası için eğilmeye maruz alın levhası dayanım sınırı

$$F_{epb.Rd(1)} = \min(F_{epb.1.Rd}, F_{epb.2.Rd}, F_{epb.3.Rd})$$

6.2.4.3 Çekmeye maruz kolon gövdesi

a) Etkili genişlik

$$b_{eff.cwt} = b_{eff.cfb} = b_{eff.cfb} = \min(b_{eff.cfb.1}, b_{eff.cfb.2})$$

b) Kesme etkileşimini dikkate alan ρ katsayısı

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff.cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

c) Dizayn dayanımı

Kısmi güvenlik katsayısı: $\gamma_{Mo} = 1$

$$F_{cwt.Rd(1)} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff.cwt} \times \rho}{\gamma_{Mo}}$$

d) En zayıf bileşeni olarak 1. bulon sırasının dizayn çekme dayanımı $F_{t1.Rd}$:

$$F_{t1.Rd} = \min \left\{ V_{cws.Rd} / \beta, F_{cwc.Rd}, F_{bfc.Rd}, F_{cfb.Rd(1)}, F_{cwt.Rd(1)}, F_{epb.Rd(1)} \right\}$$

6.2.5 İkinci bulon sırasının dayanım hesabı ($F_{t2.Rd}$)

6.2.5.1 İkinci bulon sırasının dizayn çekme dayanımına 1. kısıtlama

$$F_{t2.Rd} = \min \left\{ V_{cws.Rd} / \beta - F_{t1.Rd}, F_{cwc.Rd} - F_{t1.Rd}, F_{bfc.Rd} - F_{t1.Rd} \right\}$$

6.2.5.2 Çekmeye maruz giriş gövdesi

$$F_{bwt.Rd(2)} = \frac{b_{eff.bwt} \times t_{wb} \times f_{y,bw}}{\gamma_{Mo}}$$

$$F_{t2.Rd} \leq F_{bwt.Rd(2)} \quad (2. \text{ bulon sırası dayanımı için 2.kısıtlama})$$

6.2.5.3 Eğilmeye maruz kolon başlığı

İlk önce 2. bulon sırası, tek başına çalışan bir bulon sırası gibi düşünülür :

a) Bulonları çekip çıkarmaya çalışan kuvvetlerin yeri:

$$e = n = \min(e_c; e_{ep})$$

$$e_c = \frac{b_{cf}}{2} - \frac{w}{2}$$

b) Tek bulon sırası için efektif genişlikler (Tablo 3.1: İç bulon sırası kategorisi için)

$$b_{eff.cfb.1} = 2 \times \pi \times m_c$$

$$b_{eff.cfb.2} = 4 \times m_c + 1.25 \times e$$

c) Mekanizma Tip 1 için;

$$b_{eff.cfb} = \min (b_{eff.cfb.1}, b_{eff.cfb.2})$$

$$M_{cfb.Rd.1} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.cf}}{\gamma_{Mo}}$$

$$m_c = d_c - 0.8s$$

Hadde profillerde: $s = r_c$

$$F_{cfb.Rd.1} = \frac{4M_{fc.Rd}}{m_c}$$

d) Mekanizma Tip 2 için;

$$d_r = \sqrt{0.78} \times db$$

$$A_r = \pi \times \frac{dr^2}{4}$$

$$B_{t.Rd} = \frac{0.9 \times A_b \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

$$b_{eff.cfb} = \min (b_{eff.cfb.1}, b_{eff.cfb.2})$$

$$M_{cf.Rd.2} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.cf}}{\gamma_{Mo}}$$

$$n = \min (e_c; e_{ep}; 1.25m_c)$$

$$F_{cfbRd.2} = \frac{2 \times M_{fc.Rd} + 2 \times B_{Rd.} \times n}{m_c + n}$$

e) Mekanizma Tip 3 için;

$$F_{cfb.Rd.3} = 2 \times B_{Rd}$$

f) 2. Bulon sırası için eğilmeye maruz kolon flanjında dayanım sınırı

$$F_{cfb.Rd.(2)} = \min (F_{cfb.1.Rd}, F_{cfb.2.Rd}, F_{cfb.3.Rd})$$

2. bulon sırası, 1. bulon sırası ile birlikte çalışan bir bulon grubu şeklinde düşünülür :

a) Bulon grubu için efektif genişlikler (Tablo 3.2: Son bulon sırası katagorisi için)

İki bulon sırası arasındaki açıklık : p

Dairesel akma çizgileri için toplam efektif genişlik;

$$\sum b_{eff.cfb,c} = 2 \times (\pi m + p)$$

Dairesel olmayan akma çizgileri için toplam efektif genişlik;

$$\sum b_{eff.cfb,o} = 2 \times (2m + 0,625e + 0,5p)$$

c) Mekanizma Tip 1 için;

$$b_{eff.cfb} = \min \left(\sum b_{eff.cfb,c}, \sum b_{eff.cfb,o} \right)$$

$$M_{cfb.Rd.1} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.cf}}{\gamma_{Mo}}$$

$$m_c = d_c - 0,8s$$

Hadde profillerde: s = r_c

$$F_{cfb.Rd(2+1).1} = \frac{4M_{fc.Rd}}{m_c}$$

d) Mekanizma Tip 2 için;

$$d_r = \sqrt{0,78} \times db$$

$$A_r = \pi \times \frac{dr^2}{4}$$

$$B_{t.Rd} = \frac{0,9 \times A_b \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

$$b_{eff.cfb} = \min \left(\sum b_{eff.cfb,c}, \sum b_{eff.cfb,o} \right)$$

$$M_{cf.Rd.2} = \frac{b_{eff.cfb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y.cf}}{\gamma_{Mo}}$$

$$n = \min (e_c; e_{ep}; 1,25m_c)$$

$$F_{cfbRd.2} = \frac{2 \times M_{fc.Rd} + 2 \times B_{Rd.} \times n}{m_c + n}$$

e) Mekanizma Tip 3 için;

$$F_{cfb.Rd(2+1).3} = 2 \times (2 \times B_{Rd})$$

f) (2+1) bulon grubu için eğilmeye maruz kolon başlığında dayanım sınırı

$$F_{cfb.Rd(2+1)} = \min (F_{cfb.Rd(2+1).1}, F_{cfb.Rd2}, F_{cfb.Rd(2+1).3})$$

$$g) F_{t2.Rd} = \min \{F_{cfb.Rd(2)}, F_{cfb.Rd(2+1)} - F_{t1.Rd}\} \quad (2. \text{ bulon sırası dayanımı için 3.kısıtlama})$$

6.2.5.4 Çekmeye maruz kolon gövdesi

İlk önce 2. bulon sırası, tek başına çalışan bir bulon sırası gibi düşünülür :

a) Etkili genişlik

$$b_{eff.cwt} = b_{eff.cfb} = b_{eff.cfb} = \min(b_{eff.cfb.1}, b_{eff.cfb.2})$$

b) Kesme etkileşimini dikkate alan ρ katsayısı

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff.cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2\right]^{1/2}}$$

c) Dizayn dayanımı

Kısmi güvenlik katsayısı: $\gamma_{Mo} = 1$

$$F_{cwt.Rd(2)} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff.cwt} \times \rho}{\gamma_{Mo}}$$

2. bulon sırası, 1. bulon sırası ile birlikte çalışan bir bulon grubu şeklinde düşünülür :

a) Etkili genişlik

$$b_{eff.cfb} = \min \left(\sum b_{eff.cfb.c}, \sum b_{eff.cfb.o} \right)$$

b) Kesme etkileşimini dikkate alan ρ katsayısı

$$\rho = \frac{1}{\left[1 + 3 \times \beta^2 \times \xi^2 \times \left(\frac{b_{eff.cwc} \times t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2\right]^{1/2}}$$

c) Dizayn dayanımı

Kısmi güvenlik katsayısı: $\gamma_{Mo} = 1$

$$F_{cwt.Rd(2+1)} = \frac{f_{y,cw} \times t_{wc} \times b_{eff.cwt} \times \rho}{\gamma_{Mo}}$$

$$d) F_{t2.Rd} = \min \{F_{cwt.Rd(2)}, F_{cwt.Rd(2+1)} - F_{t1.Rd}\} \quad (2. \text{ bulon sırası dayanımı için 4. kısıtlama})$$

6.2.5.5 Eğilmeye maruz alın levhası

İlk önce 2. bulon sırası, tek başına çalışan bir bulon sırası gibi düşünülür :

a) Bulon ekseninden kiriş gövdesi yakınındaki plastik mafsala uzaklık

$$m_y = m_{ep} = \frac{w - t_{bw}}{2} - 0,8\sqrt{2} \times a_{ep.w}$$

b) Bulon ekseninden kiriş çekme başlığı yakınındaki plastik mafsala uzaklık

$$m_2 = p + e_x - L_{ep} - t_{fb} - 2\sqrt{2} \times a_{pf}$$

c) α katsayısı (Denklem 3.18 ve Şekil 3.10) (CEN; 1997)

$$\lambda_1 = \frac{m_y}{e_{ep} + m_y}, \lambda_2 = \frac{m_2}{e_{ep} + m_y}$$

d) Etkili genişlik

$$b_{eff,epb,c} = 2 \times \pi \times m_{ep} \text{ (İç bulon sırası, dairesel akma çizgileri için)}$$

$$b_{eff,epb,o} = \alpha \times m_{ep} \text{ (Rijitleştiriciye (bf) komşu bulon sırası, dairesel olmayan akma çizgileri)}$$

e) Mekanizma Tip 1 için;

$$b_{eff,epb} = \min(b_{eff,epb,c}, b_{eff,epb,o})$$

$$M_{epb,Rd,1} = \frac{b_{eff,epb} \times t_{ep}^2}{4} \times \frac{f_{y,ep}}{\gamma_{Mo}}$$

$$m_c = d_c - 0,8s$$

Hadde profillerde: $s = r_c$

$$F_{epb,Rd,(2),1} = \frac{4M_{epb,Rd,1}}{m_c}$$

f) Mekanizma Tip 2 için;

$$d_r = \sqrt{0,78} \times db$$

$$A_r = \pi \times \frac{d_r^2}{4}$$

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

$$b_{eff,epb} = \min(b_{eff,epb,c}, b_{eff,epb,o})$$

$$M_{epb,Rd,(2),2} = \frac{b_{eff,epb} \times t_{fc}^2}{4} \times \frac{f_{y,ep}}{\gamma_{Mo}}$$

$$F_{epb,Rd,(2),2} = \frac{2 \times M_{ep,Rd} + 2 \times B_{Rd} \times n}{m_c + n}$$

g) Mekanizma Tip 3 için;

$$F_{epb,Rd,(2),3} = 2 \times B_{Rd}$$

h) 2. Bulon sırası için eğilmeye maruz alın levhası dayanım sınırı

$$F_{epb,Rd(2)} = \min(F_{epb,Rd,(2),1}, F_{epb,Rd,(2),2}, F_{epb,Rd,(2),3})$$

$F_{t2.Rd} = F_{epb.Rd} (2) \text{ (2. bulon sırası dayanımı için 5. kısıtlama)}$

j) 2. Bulon sırası dayanımı için tüm kısıtlamalar:

$$F_{t2.Rd} = \left(\frac{V_{cws,rd}}{\beta} - F_{t1.Rd} ; F_{cwc.Rd} - F_{t1.Rd} ; F_{bfc.Rd} - F_{t1.Rd} ; F_{bwt.Rd} (2) ; F_{cfb.Rd} (2) ; F_{cfb.Rd} (2+1) - F_{t1.Rd} ; F_{cwt.Rd} (2) ; F_{cwt.Rd} (2+1) - F_{t1.Rd} ; F_{epb.Rd} (2) \right)$$

6.2.5.6 Sonuç: Birleşimin Tasarım moment dayanımı:

$$M_{j.Rd} = \sum_{i=1}^2 h_i \times F_{ti.Rd} = h_1 \times F_{t1.Rd} + h_2 \times F_{t2.Rd}$$

6.2.5.7 Eğilme dayanımı için sayısal veri ve hesap tabloları

Eğilme dayanımı hesabında iç düğüm noktası için veriler, orta (iç) düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhali yarı-rijit birleşim için eğilme dayanımı hesap aşamaları, eğilme dayanımı hesabında kenar (dış) düğüm için veriler, kenar (dış) düğüme ait bulonlu uzatılmış alın levhali yarı-rijit birleşim için eğilme dayanımı hesap aşamaları Ek-B’de tablolar halinde verilmiştir.

6.3 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması

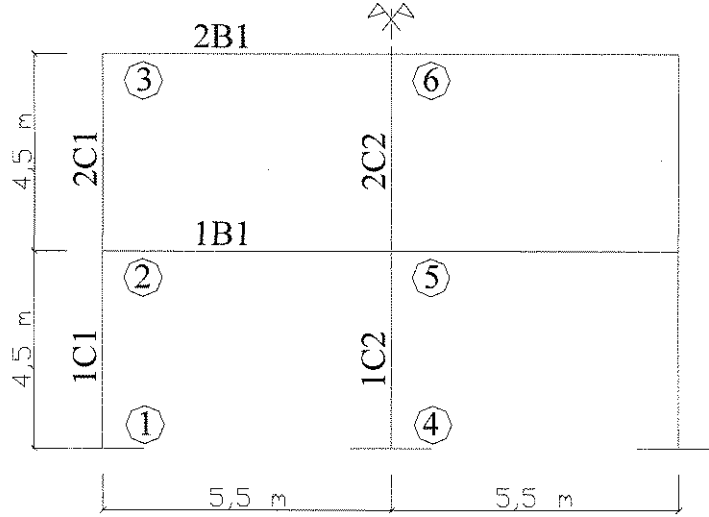
Tablo 6.1 Çerçeve Düzleminde Kat Ötelemeleri

Kat No	h_i (cm)	d_i (cm)	D_{imax}	$d_{imax}=R.D_{imax}$	$\Theta=d_{imax}/h_i$	Üst Sınır
2	450	2,28	1,19	5,95	0,0132	0,02
1	450	1,09	1,09	5,45	0,0121	0,02

6.4 Taşıyıcı Elemanların Boyutlandırılması

6.4.1 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması

6.4.1.1 Kesit seçimi



DÜĞÜM NO VE ELEMAN İSMİ

Şekil 6.2 Düğüm No ve Eleman İsmi

Tablo 6.2 Elverişsiz Kombolar -Mesnet Yüzü Çubuk Uç Kuvvetleri

Çubuk	Düğüm	Elverişsiz Kombolar- Mesnet Yüzü Çubuk Uç Kuvvetleri (kN-m)								
No:	No:	GQ			GQE			GQW		
		M	V	N	M	V	N	M	V	N
1B1	2	Açıklık	116	0	Açıklık	132	0	Açıklık	109	0
	5	104	123	0	106	139	0	105	130	0
2B1	3	Açıklık	87	0	Açıklık	98	0	Açıklık	83	0
	6	82	95	0	84	106	0	81	99	0
1C1	1	11	7	310	59	24	337	36	16	298
	2	19	7	310	40	24	337	31	16	298
2C1	2	35	16	107	57	27	118	39	19	103
	3	30	16	107	55	27	118	39	19	103
1C2	4	0	0	530	126	39	530	65	23	530
	5	0	0	530	40	39	530	28	23	530
2C2	5	0	0	207	48	24	207	10	7	207
	6	0	0	207	53	24	207	20	7	207

Çerçeve 1. kat kirişinde (1B1), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir.

$$Md_{açıklık} = 106 \text{ kNm} = 10600 \text{ kNcm}$$

$$Vd_{açıklık} = 139 \text{ kN}$$

$$W = \frac{M}{\sigma_{Hz} em} = \frac{10600}{16} = 663 \text{ cm}^3 \quad (6.1)$$

$\sigma_{Hz} em = 16$ Esas ve ilave yükler için emniyet gerilmesidir.

Seçilen Kesit : HE260A (IPB1 260)

$$W_x = 836 \text{ cm}^3; \quad I_x = 10450 \text{ cm}^4; \quad t_f = 1,25 \text{ cm}; \quad s = 0,75 \text{ cm}$$

$$b = 26 \text{ cm}; \quad h = 25 \text{ cm}$$

6.4.1.2 Kompaktlık koşulu kontrolü

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kiriş enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Başlık genişliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{Es / \sigma_a} \quad (6.2)$$

$$\frac{13}{1,25} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 10,4 < 14,9 \text{ (HE 260A için)}$$

Gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{h - 2t_f}{s} \leq 5 \times \sqrt{Es / Ea} \quad (6.3)$$

$$\frac{22,5}{0,75} \leq 5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 30 < 149,5 \text{ (HE 260A için)}$$

6.4.1.3 Yanal Doğrultuda Burkulma Kontrolü

DY 2007 4.3.6.3'e göre betonarme döşemelerin çelik kirisler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde , kirişlerin üst ve alt başlıkları yanal doğrultuda mesnetlenecektir koşuluna uyulması zorunlu değildir.

Buna ramen kiriş alt başlığı tamamen tutulu sayılamayacağından burada kiriş alt başlığının mesnet bölgesindeki burkulma tahkiki yapılmıştır.

TS 648 3.3.4.2'ye göre basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde basınç emniyet gerilmesi şu şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} < 0,6 \times \sigma_a \quad (6.4)$$

l_b : Kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arası uzaklık

$$l_b = 5,5 \text{ m}$$

C_b : Uç momentlerine bağlı bir katsayı

$C_b = 1$ (Açıklık momenti kenar momentlere kıyasla büyük olduğundan)

$$C_b = 1 < 2,3$$

h : Kesit başlıkları arasında dıştan dışa mesafe

A_b : Basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin 1/3

Gövde yüksekliği : $h_1 = h - 2 \times t$

$$= 25 - 2 \times 1,25 = 22,5 \text{ cm}$$

$$\text{Basınç Alanı} : A_b = b \times t + h_1 \times s/6 \quad (6.5)$$

$$= 26 \times 1,25 + 22,5 \times 0,75/6 = 35,3 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} < 0,6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{8400 \times 1}{550 \times 25 / 35,3} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = 21,6 > 14,1 \text{ olduğundan } \sigma_{Bx} = 14,1 \text{ kN/cm}^2 \text{ kullanılır.}$$

$$\sigma = \frac{M_d}{W} = \frac{10600}{836} = 12,7 \text{ kN/cm}^2 < 18,75 \text{ kN/cm}^2 \quad (\sigma = 14,1 \times 1,33)$$

$$\tau = \frac{V_d}{(h - 2t) \times s} = \quad (6.6)$$

$$= \frac{139}{(25 - 2 \times 1,25) \times 0,75} = 8,2 \text{ kN/cm}^2 < 10,5 \text{ kN/cm}^2$$

1B1 kirişinin sağ mesnetinde kıyaslama gerilmesi için moment: $M = 10300 \text{ kNcm}$

$$\sigma = \frac{M}{I} \times \frac{h_1}{2} = \frac{10300}{10450} \times \frac{22,5}{2} = 11,08 \text{ kN/cm}^2 \quad (6.7)$$

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} = \\ &= \sqrt{11^2 + 3 \times 8,2^2} = 17,96 \text{ kN/cm}^2 \cong 18 (=0,75 \times 24) \text{ kN/cm}^2\end{aligned}\quad (6.8)$$

olduğundan kiriş kesiti kıyaslama gerilmesine göre uygundur.

$$\text{Sehim değeri G+Q yüklemesi için } f = 0,69 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm} \quad (6.9)$$

Burada f hareketli ve kalıcı yük etkisindeki sehimdir.

Üst kat 2B1 kirişinin kesit tesirleri daha küçük olduğundan HE 260A kesiti burada da kullanılacak.

6.4.2 Kolonların boyutlandırılması

6.4.2.1 Kesit seçimi

Güçlü kolon zayıf kiriş koşulundan yararlanarak seçim yapıldı.

$$\text{İç düğüm noktası için ; } 2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a \quad (6.10)$$

$$W_p = 2 \times S_x \text{ kolon veya kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti} \quad (6.11)$$

S_x : Kolon veya kiriş kesitinin yarısının statik momenti

HE 260 A kirişi için; $S_x = 460 \text{ cm}^3$

$W_{pkolon} > 1,32 \times (2 \times 460) = 1214 \text{ cm}^3$ olmalı

Normal kuvvetin azaltıcı etkisi de dikkate alınarak orta kolon için bir numara büyük geniş başlıklı IPB 300 (HE-B) profili seçildi.

Seçilen profil kesiti, basınç kuvvetinin akma gerilmesini azaltıcı etkisi dikkate alınarak güçlü kolon zayıf kiriş durumuna göre kontrol edilirse;

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} = 23,5 - \frac{530}{131} = 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a$$

$$2 \times W_{pkolon} \times 19,5 \geq 2 \times 1.1 \times 1.2 \times 920 \times 23,5$$

$W_{pkolon} = 1680 \geq 1463$ olduğundan iç düğüm için seçilen kolon profili uygun.

$$\text{Dış düğüm noktası için ; } 2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 1.1 \times 1.2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a \quad (6.12)$$

$W_p = 2 \times S_x$ kolon veya kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti

S_x : Kolon veya kiriş kesitinin yarısının statik momenti

HE 260 A kiriş için; $S_x = 460 \text{ cm}^3$

$$W_{pkolon} > \frac{1,32 \times (2 \times 460)}{2} = 607 \text{ cm}^3 \text{ olmalı}$$

Kiriş başlık genişliği dikkate alınarak kolon IPB 260 (HE-B) profili seçildi.

Seçilen profil kesiti, basınç kuvvetinin akma gerilmesini azaltıcı etkisi dikkate alınarak güçlü kolon zayıf kiriş durumuna göre kontrol edilirse;

$$\sigma_{akolon} = \sigma_a - \frac{N_d}{A} = 23,5 - \frac{337}{118} = 20,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$2 \times W_{pkolon} \times \sigma_a \geq 1,1 \times 1,2 \times W_{pkiriş} \times \sigma_a$$

$$2 \times W_{pkolon} \times 20,6 \geq 2 \times 1,1 \times 1,2 \times 1384 \times 23,5$$

$W_{pkolon} (= 1150) \geq 690$ olduğundan dış düğüm için seçilen kolon profili uygun

6.4.2.2 Kompaktlık (narinlik) koşulu kontrolü

HE-B 300 karakteristik değerleri aşağıda verilmiştir. (Orta kolon için : 1C2)

$W_x = 1680 \text{ cm}^3$	Kesitin mukavemet momenti
$S_x = 934 \text{ cm}^3$	Kesitin statik momenti
$W_{xp} = 1868 \text{ cm}^3$	Kesitin plastik mukavemet momenti
$I_x = 25170 \text{ cm}^4$	Kesitin atalet momenti
$t_f = 1,9 \text{ cm}$	Kesitin başlık kalınlığı
$s = 1,1 \text{ cm}$	Kesitin gövde kalınlığı
$b = 30 \text{ cm}$	Kesitin başlık genişliği
$h = 30 \text{ cm}$	Kesitin yüksekliği
$i_x = 13 \text{ cm}$	Kesitin kuvvetli eksen yönünde atalet yarıçapı
$i_y = 7,58 \text{ cm}$	Kesitin zayıf eksen yönünde atalet yarıçapı
$A = 149 \text{ cm}^2$	Kesit alanı
$G = 117 \text{ kg/m}$	Profilin bir metresinin ağırlığı

HE-B 260 karakteristik değerleri aşağıda verilmiştir. (Kenar kolon : 1C1)

$W_x = 1150 \text{ cm}^3$	Kesitin mukavemet momenti
$S_x = 641 \text{ cm}^3$	Kesitin statik momenti
$W_{xp} = 1282 \text{ cm}^3$	Kesitin plastik mukavemet momenti
$I_x = 14920 \text{ cm}^4$	Kesitin atalet momenti
$t_f = 1,75 \text{ cm}$	Kesitin başlık kalınlığı
$s = 1 \text{ cm}$	Kesitin gövde kalınlığı

b = 26 cm;	Kesitin başlık genişliği
h = 26 cm	Kesitin yüksekliği
i _x = 11,2 cm	Kesitin kuvvetli eksen yönünde atalet yarıçapı
i _y = 6,58 cm	Kesitin zayıf eksen yönünde atalet yarıçapı
A = 118 cm ²	Kesit alanı
G = 93 kg/m	Profilin bir metresinin ağırlığı

Çerçeve kenar alt kolonunda (1C1), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir. (HE-B 260 kolonu için)

M_{da} = 5900 kNcm (kolon alt ucu dizayn momenti)

M_{du} = 3700 kNcm (kolon üst ucu dizayn momenti)

N_d = 337 kN

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kolon enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için 4.11'de verilen başlık genişliği / kalınlığı koşulu :

$$\frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (6.13)$$

$$\frac{13}{1,75} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 7,4 < 14,9 \text{ (HE 260 B için):}$$

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$|N_d / (\sigma_a \times A)| > 0,1 \text{ için } \frac{h_g}{t_g} \leq 2,08 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \times \left(2,1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \text{ olmalıdır.} \quad (6.14)$$

$$337 / (23,5 \times 118,4) = 0,12 > 0,1 \text{ için } \frac{22,5}{1,0} = 22,5 < 121,4 \text{ olduğundan kesit uygun.}$$

Denklemde;

$$h_g = h - 2 \times t \text{ kolon gövde yüksekliği} \quad (6.15)$$

t_g : kolon gövde kalınlığıdır

$$h_g = 26 - 2 \times 1,75 = 22,5$$

Çerçeve orta alt kolonunda (1C2), düşey yükler + deprem (G + Q + E) yüklemesine ait dizayn kesit zorları aşağıdaki gibidir. (HE-B 300 kolonu için)

M_{da} = 12500 kNcm (kolon alt ucu dizayn momenti)

M_{du} = 3900 kNcm (kolon üst ucu dizayn momenti)

N_d = 528 kN

Süneklik düzeyi normal çerçeve elemanlarında kolon enkesitindeki yerel burkulmanın önlenmesi için DY2007 Tablo 4.3'ten;

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için 4.11'de verilen başlık genişliği / kalınlığı

$$\text{koşulu : } \frac{b/2}{t_f} \leq 0,5 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (6.16)$$

$$\frac{15}{1,9} \leq 0,5 \times \sqrt{21000 / 23,5} = 7,9 < 14,9 \text{ (HE 300 B için):}$$

Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitleri için gövde yüksekliği / kalınlığı koşulu :

$$|N_d / (\sigma_a \times A)| > 0,1 \text{ için}$$

$$\frac{h_g}{t_g} \leq 2,08 \times \sqrt{E_s / \sigma_a} \times \left(2,1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \text{ olmalıdır.} \quad (6.17)$$

$$528 / (23,5 \times 149) = 0,15 > 0,1 \text{ için}$$

$$\frac{26,2}{1,1} = 23,8 \leq 2,08 \times \sqrt{21000 / 23,5} \times \left(2,1 - \left| \frac{528}{23,5 \times 149} \right| \right) = 121,2 \text{ olduğundan kesit uygun.}$$

Denklemden;

$$h_g = h - 2 \times t_f \text{ kolon gövde yüksekliği}$$

$$t_g : \text{kolon gövde kalınlığıdır}$$

$$h_g = 30 - 2 \times 1,9 = 26,2$$

6.4.2.3 G+Q+E yüklemesi için basınç+eğilme etkisinde normal gerilme kontrolü

TS 648 (Aralık 1980) 3.4' ten

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}) \times \sigma_{Bx}} \leq 1,00 \quad (6.18)$$

σ_{eb} : Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme

$$1C1 \text{ kolonu (1. kat C1 kolonu) için; } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{337}{118,4} = 2,85 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C1 \text{ kolonu için (2. kat C1 kolonu için); } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{118}{118,4} = 1 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{530}{149} = 3,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{eb} = \frac{N_d}{A} = \frac{207}{149} = 1,39 \text{ kN/cm}^2$$

σ_{bem} : Doğrultulara göre narinliklerden büyük olanına bağlı TS 648 Çizelge 8'den bulunan basınç emniyet gerilmesidir.

Basınç çubuğu bir çerçeve kolonu ise burkulma boyu l_k , G_i kolon uç değerlerine bağlı olarak TS 648 sayfa 10 çizelge 5'ten K katsayıları ile $l_k = K \times l$ şeklinde elde edilir.² (6.19)

l_k = basınç çalışan çubukların mesnetlenme şartına bağlı burkulma boyu

$$G_i = \frac{\sum I_c / l_c}{\sum I_b / l_b} \quad (6.20)$$

I_c : Dügüme rijit bağlanan kolonların atalet momenti (cm^4)

l_c : Dügüme rijit bağlanan kolonların boyu(cm)

I_b : Dügüme rijit bağlanan kirişlerin atalet momenti (cm^4)

l_b : Dügüme rijit bağlanan kirişlerin boyu (cm)

Kolon ucu ankastre temele bağlı olduğundan bu uç için $G_i=1$ alınır.

$$1C1 \text{ kolonunda üst uç için; } G_j = \frac{2 \times 14920 / 4,5}{10450 / 5,5} = 3,49$$

$K_{1C1} = 1,60$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

$$2C1 \text{ kolonu alt uç için; } G_i = \frac{2 \times 14920 / 4,5}{10450 / 5,5} = 3,49$$

$$\text{üst uç için; } G_j = \frac{14920 / 4,5}{10450 / 5,5} = 1,75$$

$K_{2C1} = 1,72$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

Kolon ucu ankastre temele bağlı olduğundan bu uç için $G_i=1$ alınır.

$$1C2 \text{ kolonu üst uç için; } G_j = \frac{2 \times 25170 / 4,5}{2 \times 10450 / 5,5} = 2,95$$

$K_{1C2} = 1,55$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

$$2C2 \text{ kolonu alt uç için; } G_i = \frac{2 \times 25170 / 4,5}{2 \times 10450 / 5,5} = 2,95$$

$$\text{üst uç için; } G_j = \frac{25170 / 4,5}{2 \times 10450 / 5,5} = 1,47$$

$K_{2C2} = 1,62$ (ötelenmesi önlenmemiş basınç çubukları için)

Kolonda burkulma boyu;

² Öztürk.A.Zafer ,Çelik yapılar kısa bilgi ve çözülmüş problemler,Birsen Yayınevi 2.baskı,sayfa 37

Narinlik;

$$1C1 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{K \times l}{i_x} = \frac{1,6 \times 450}{11,2} = \frac{720}{11,2} \cong 65 \quad (6.21)$$

Burkulma katsayısı $w = 1,41$ (ST 37 çeliği için)

$$2C1 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{1,72 \times 450}{11,2} = \frac{774}{11,2} \cong 70$$

Burkulma katsayısı $w = 1,47$ (ST 37 çeliği için)

$$1C2 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{1,55 \times 450}{13} = \frac{698}{13} \cong 54$$

Burkulma katsayısı $w = 1,30$ (ST 37 çeliği için)

$$2C2 \text{ kolonu için } \lambda_{kx} = \frac{l_k}{i_x} = \frac{1,6 \times 450}{13} = \frac{729}{13} \cong 57$$

Burkulma katsayısı $w = 1,33$ (ST 37 çeliği için)

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,41} = 11,3 \text{ kN/cm}^2 \quad (6.22)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,47} = 10,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,30} = 12,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{em}}{w} = \frac{16}{1,33} = 12,0 \text{ kN/cm}^2$$

Basınca çalışan alan :

$$A_b = t_f \times b + s \times \left(\frac{h - 2 \times t_f}{2} \times \frac{1}{3} \right) \quad (6.23)$$

$$1C1 \text{ ve } 2C1 \text{ kolonu için } A_b = 1,75 \times 26 + 1,0 \times \left(\frac{26 - 2 \times 1,75}{2} \times \frac{1}{3} \right) = 49,3 \text{ cm}^2$$

$$1C2 \text{ ve } 2C2 \text{ kolonu için } A_b = 1,9 \times 30 + 1,1 \times \left(\frac{30 - 2 \times 1,9}{2} \times \frac{1}{3} \right) = 61,8 \text{ cm}^2$$

Yalnız eğilme momenti varken gerilme şöyle ifade edilir.

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{5900}{1150} = 5,1 \text{ kN/cm}^2 \quad (6.24)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{5700}{1150} = 5,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{12600}{1680} = 7,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{bx} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{5300}{1680} = 3,2 \text{ kN/cm}^2$$

$C_m = 0,85$ (Yanal deplasmanı mümkün olan sistemlere ait değer.)

C_m : Uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklenmeyi gözönüne alan bir katsayıdır.

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l / i)^2} = \frac{82900}{(1,6 \times 450 / 11,2)^2} = 20,1 \text{ kN/cm}^2 \quad (6.25)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l / i)^2} = \frac{82900}{(1,72 \times 450 / 11,2)^2} = 17,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l / i)^2} = \frac{82900}{(1,55 \times 450 / 13)^2} = 28,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma'_{ex} = \frac{82900}{(K \times l / i)^2} = \frac{82900}{(1,6 \times 450 / 13)^2} = 27,0 \text{ kN/cm}^2$$

σ'_{ex} : Asal eksenler etrafında burkulma için hesaplanan ve Euler gerilmesinden türetilen gerilmeler.

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 < 2,3 \text{ olmalı} \quad (6.26)$$

$$1C1 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{4000}{-5900} \right) + 0,3 \left(\frac{4000}{-5900} \right)^2 = 1,2 < 2,3$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{5500}{-5700} \right) + 0,3 \left(\frac{5500}{-5700} \right)^2 = 1,0 < 2,3$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{4000}{12600} \right) + 0,3 \left(\frac{4000}{12600} \right)^2 = 2,1 < 2,3$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{-4800}{5300} \right) + 0,3 \left(\frac{-4800}{5300} \right)^2 = 1 < 2,3$$

$C_b > 2,3$ ise $C_b = 2,3$ olarak alınır.

Basınç başlığı dolu kesitli ve yaklaşık şekilde dikdörtgen olduğundan yanal burkulmada basınç emniyet gerilmesi;

$$1C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{B1} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 1,2}{450 \times 26 / 49,3} = 43 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı} \quad (6.27)$$

$$2C1 \text{ kolonu için; } \sigma_{B2} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 1}{450 \times 26 / 49,3} = 36 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{B3} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 2,1}{450 \times 30 / 61,8} = 81 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \sigma_{B4} = \frac{8400 \times C_b}{l_b \times h / A_b} = \frac{8400 \times 1}{450 \times 30 / 61,8} = 39 \leq 0,6 \times \sigma_a \text{ olmalı}$$

$\sigma_{Bi} > \sigma_B = 0,6 \times 23,5 = 14,1$ ise $\sigma_B = 14,1$ alınır.

l_b : basınç başlığının yanal doğrultuda burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arası uzaklık.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}) \times \sigma_{Bx}} \leq 1.00 \quad (6.28)$$

$$1C1 \text{ kolonu için; } \frac{2,85}{11,3} + \frac{0,85 \times 5,1}{(1 - \frac{2,85}{20,1}) \times 14,1} = 0,61 \leq 1$$

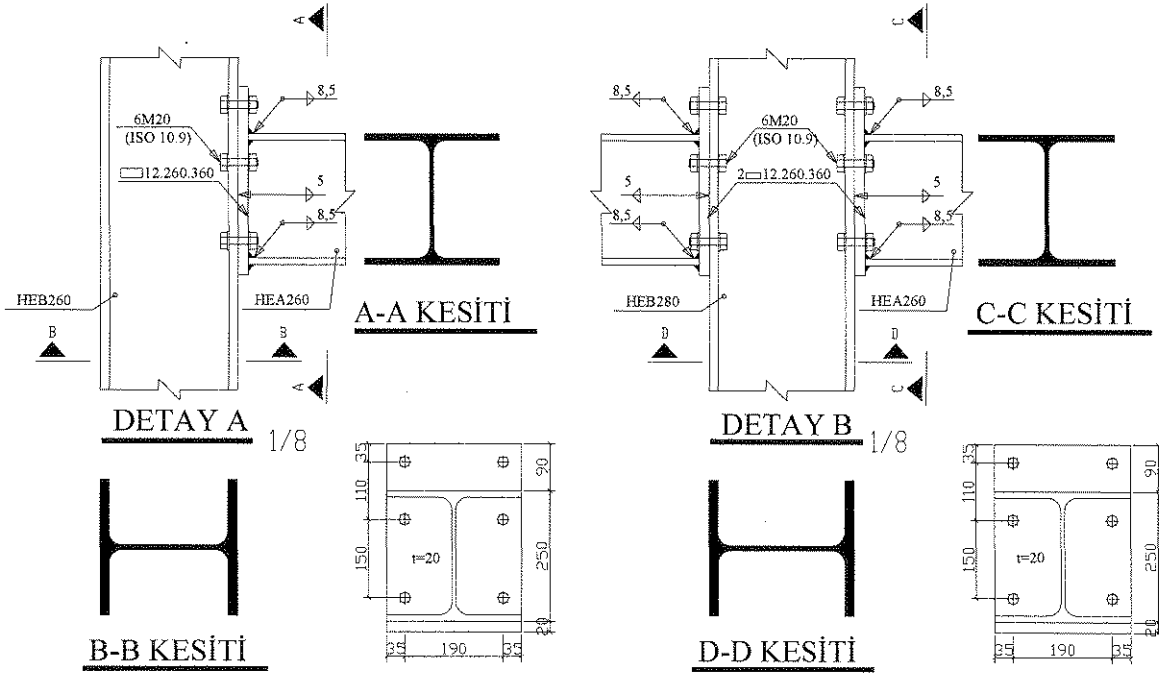
$$2C1 \text{ kolonu için; } \frac{1}{10,9} + \frac{0,85 \times 5}{(1 - \frac{1}{17,4}) \times 14,1} = 0,41 \leq 1$$

$$1C2 \text{ kolonu için; } \frac{3,54}{12,3} + \frac{0,85 \times 7,4}{(1 - \frac{3,54}{28,8}) \times 14,1} = 0,80 \leq 1$$

$$2C2 \text{ kolonu için; } \frac{1,39}{12} + \frac{0,85 \times 3,2}{(1 - \frac{1,39}{27}) \times 14,1} = 0,32 \leq 1$$

olduğundan kolon profilleri uygundur.

6.4.3 Bulonlu birleşim detayı ve konstruktif kurallar



Şekil 6.3 Bulonlu Yarı-rijit Kiriş Kolon Birleşim Detayı

Bu birleşim tipi için EC3 Annex J'den alınan konstruktif detay açıklamaları şöyle ifade edilebilir.

6.4.3.1 Çekme bölgesinin dayanımı :

Rijitleştirilmemiş kolon başlığı çekme dayanımı ve üst sınırı hadde profiller için;

(HEB260-HEA 260 düğüm noktasında)

$$F_{tRd} = f_{yb} \times t_{fb} \times (t_{wc} + 2 \times r_c) + 7 \times f_{yc} \times t_{fc}^2 / \gamma_{Mo} \leq f_{yb} \times t_{fb} (t_{wc} + 2 \times r_c + 7 \times t_{fc}) / \gamma_{Mo} \quad (6.29)$$

$$F_{tRd} = 23,5 \times 1,25 \times (1 + 2 \times 2,4) + 7 \times 23,5 \times 1,75^2 / 1 \leq 23,5 \times 1,25 (1 + 2 \times 2,4 + 7 \times 1,75) / 1$$

$$F_{tRd} = 646 \leq 530 \text{ kN/cm}^2 \text{ olmalı}$$

$$F_{tRd} \geq 0,7 \times f_{yb} \times t_{fb} \times b_{fb} / \gamma_{Mo} \quad (6.30)$$

koşulu sağlanmalı, aksi durumda düğüm noktası süreklilik levhalarıyla rijitleştirilmelidir.

$$530 \geq 0,7 \times 23,5 \times 1,25 \times 26 / 1 = 534 \text{ kN/cm}^2$$

$$530 \cong 534 \text{ kN/cm}^2$$

Değerler yakın olduğundan süreklilik levhası kullanılmamıştır.

6.4.3.2 Basınç bölgesinin dayanımı :

Rijitleştirilmemiş kolon başlığı basınç dayanımı ve üst sınırı hadde profiller için;

(HEB260-HEA 260 düğüm noktasında)

$$b_{eff} = t_{fc} + 2 \sqrt{2} \times a_b + 5 \times (t_{fc} + r_c) \quad (6.31)$$

$$b_{eff} = 1,25 + 2 \sqrt{2} \times 7 + 5 \times (1,75 + 2,4) = 45,5$$

$$F_{cRd} = f_{yc} \times 1 \times (1,25 - 0,5 \gamma_{Mo} \times \sigma_{nED} / f_{yc}) \times b_{eff} / \gamma_{Mo} \leq f_{yc} \times t_{wc} \times b_{eff} / \gamma_{Mo} \quad (6.32)$$

$$F_{cRd} = 23,5 \times t_{wc} \times (1,25 - 0,5 \times 1 \times \frac{337}{118} / 23,5) \times 45,5 / 1 \leq 23,5 \times 1 \times 45,5 / 1$$

$$F_{cRd} = 1272 \leq 1069 \text{ kN/cm}^2 \text{ olmalı}$$

Kirişten Gelebilecek Yanal Basınç Kuvveti (Plastik Momentten Gelen):

$$F_{b \text{ Mp}} = \frac{W_p \times \sigma_a}{h_b} = \frac{920 \times 23,5}{25} = 864 \text{ kN} \quad (6.33)$$

Deprem Kombinasyonundan Gelen Basınç Kuvveti:

1B1 kirişinin sol mesnetindeki moment $M_{Ed} = 8200 \text{ kNm}$

$$F_{b \text{ Ed}} = \frac{M_{Ed}}{h_b} = \frac{8200}{25} = 328 \text{ kN} \quad (6.34)$$

$F_{cRd} \geq F_{bRd}$ koşulu sağlanmalı, aksi durumda düğüm noktası süreklilik levhalarıyla rijitleştirilmelidir.

$1069 \geq 864 \text{ kN}$ olduğundan süreklilik levhası kullanılmamıştır.

6.4.3.3. Panel (kesme) bölgesinin dayanımı :

Rijitleştirilmemiş kesmeye maruz kolon gövde panelinin plastik kesme dayanımı:

Kesme Alanı ;

$$A_v = A_c - 2 \times b_c \times t_{fc} \quad (6.35)$$

$$A_v = 118 - 2 \times 26 \times 1,75 = 27 \text{ cm}$$

$$V_{pl.Rd} = (f_{yc} \times A_v / \sqrt{3}) / \gamma_{Mo} \quad (6.36)$$

$$V_{pl.Rd} = (23,5 \times 27 / \sqrt{3}) / 1 = 366 \text{ kN}$$

Deprem Kombinasyonundan Düğüme Gelen Kesme Kuvveti:

$$F_b = \frac{M_{Ed}}{h_b} - V_c = \frac{8200}{25} - 27 = 301 < 366 \text{ kN} \quad (6.37)$$

olduğundan gövde takviye levhası kullanılmamıştır.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çelik yapılarda birleşimlerin yarı rijit modellenmesi ile alçak yapılarda dahi ekonomik sonuçlar elde edileceği gösterilmiştir. Çelik yapılarda yarı rijit birleşimlerin kullanımıyla rüzgar ve deprem yükleri altında bina göreceli kat ötelenmesi ve binanın yatay deplasman miktarları fazla olmaktadır. Buna mukabil düğüm noktasındaki esnek davranış sonucunda kiriş kesitlerinde iki numara daha küçük profil kullanmak mümkün olmuştur.

Yarı-rijit birleşim kullanarak bir birleşimi analiz etmek ve boyutlandırmak artık günümüzdeki bilgisayar teknolojisi ile rahatlıkla her tasarımcının gerçekleştirebileceği bir araç olmuştur.

Avrupa’da çeşitli ülkelerde bir çok araştırmacı bu yaklaşımı kullanarak gerçekleştirdiği deneylerde birçok ampirik formüle temel olacak denklem çıkarmışlardır. Bu formüller farklı kişiler ve kuruluşlar tarafından teste tabii tutulmuş ve güvenilirlikleri saptanmıştır. Amerika’da da bir çok araştırmacı bu konunun üzerine eğilmiş ve buna yönelik karmaşık formülleri lineerleştirerek pratik grafiklere ve formüllere dönüştürmüş ve sahada uygulanabilir hale getirmişlerdir. Türkiye’de de yarırijit birleşimin çelik standardına girmesi ve bu açıklığa kavuşturulmuş yöntemin ülke ekonomisine getireceği yarar da göz önünde tutulursa bir ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

İkinci ve üçüncü bölümde çevirisini yaptığım Structural Steel Semirigid Connections adlı kaynak C.Faella, V.Piluso, G.Rizzano adlı İtalyan bilim adamlarının hazırladığı kapsamlı bir çalışmadır. Bu kitapta yarı-rijit çerçevelerin davranışına, düğüm davranışının modellenmesine, kaynaklı ve bulonlu birleşimlerin özelliklerine, güçlendirilmiş çerçevelerin tasarımına, birleşimlerin sünekliğine, kolon kiriş birleşimlerinin çevrimsel yüklemelerde davranışına ve yarı-rijit çerçevelerin sismik davranışına yer verilmiştir. Bu kitap EC3 ağırlıklı bir çalışmadır. Kitapta yapılan deney sonuçlarından etraflıca bahsedilmiş ve Amerikan yönetmeliğinde AISC-LRFD (1990) atlanan kimi noktalar (gerilme etkileşimi) üzerine vurgu yapılmıştır. Ayrıca araştırılma yapılması gereken yerler belirtilmiş araştırmacıların denklemleri arasındaki farklar açıkça izah edilmiştir.

Yapılan çalışmaya başlarken kiriş kolon birleşimlerinde kiriş profilleri olarak HEA, kolon profilleri olarak HEB seçilmiştir. Bu şekilde seçilen kirişler deprem yönetmeliğindeki

kompaktlık koşulundan dolayı büyük değerler alacağından sistemi ağırlaştırmamak için süneklik düzeyi normal çerçeve gibi düşünülmüş ($R=5$) ve deprem kuvvetleri ona göre artırılmıştır. Ön boyutlandırmadan sonra sistem ilk önce mod birleştirme yöntemi ile ardından kat kesme kuvvetleri deprem büyütmeye katsayısıyla artırılarak eşdeğer deprem yöntemi sonuçlarından daha küçük değerler almaması sağlanmıştır. Rijit çözüm sonrası kirişler tipik HEA300 kolonlar güçlü kolon zayıf kiriş koşuluna göre ortada HEB 320, kenarda ise kiriş başlık genişliği de dikkate alınarak HEB 300 seçilmiştir.

- Rijit tasarımda yüklemesi büyük olan kirişin sehimi değeri kalıcı ve hareketli $G+Q$ yüklemesi için 0,41 cm olarak gerçekleşmiştir. Bu değer açıklığın üç yüzde biri olan sehimi sınırını geçmemiştir.

$$f = 0,41 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm}$$

- Aşağıda kaynaklı rijit birleşimli çerçeveye ait göreceli kat ötelemeleri ve üst sınır değeri verilmiştir. En üst katın yatayda yer değiştirmesi 1,83 cm olarak gerçekleşmiştir.
- Max göreceli kat ötelemesi 0,0108 ile alt katta gerçekleşmiştir. Bu değer üst sınır olan 0,02'yi aşmamıştır.

Kat No	$h_i(\text{cm})$	$d_i(\text{cm})$	D_{imax}	$d_{imax}=R \times D_{imax}$	$\Theta=d_{imax}/h_i$	Üst Sınır
2	450	1,83	0,86	4,30	0,0096	0,02
1	450	0,97	0,97	4,85	0,0108	0,02

- HE-B 300 kenar kolonunun bir metresinin ağırlığı $G = 117 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $4,5 \times 4 = 18 \text{ metre} \times 117 \text{ kg/m} = 2106 \text{ kg}$ kullanıldı.

- HE-B 320 orta kolonun bir metresinin ağırlığı $G = 127 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $4,5 \times 2 = 9 \text{ metre} \times 127 \text{ kg/m} = 1143 \text{ kg}$ kullanıldı.

- HE-A 300 kat kirişlerinin bir metresinin ağırlığı $G = 68,2 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $5,5 \times 4 = 22 \text{ metre} \times 88,3 \text{ kg/m} = 1943 \text{ kg}$ kullanıldı.

- Kaynaklı rijit sistem için bir çerçevede toplam kullanılan taşıyıcı eleman ağırlığı:

$$\Sigma G = 2106 + 1143 + 1943 = 5192 \text{ kg}$$

İkinci aşamada HEA 300 kiriş, HEB 320 orta kolon, HEB 300 kenar kolon değerleri kullanılarak sistemin kaynaklı yarı-rijit düğüm noktası olarak bileşenler metodu ile rijitlik katsayısı ve plastik dayanımı hesaplanmıştır. Bu rijitlik değeriyle sistem tekrar çözüldüğünde mesnet momentlerinde azalma açıklık momentlerinde artış gözlenmiştir. Mesnet momentlerine göre kiriş mukavemet momenti baz alınarak profil numarası 1 numara düşük olan HEA 280 kirişine göre düğüm rijitlikleri tekrar hesaplanarak sistem çözüldüğünde mesnet momentlerindeki azalma sonucu kiriş için HEA 260 değeri elde edilmiştir. Güçlü kolon zayıf kiriş koşulundan profil numarası kenar kolonda HEB 260 orta kolonda ise HEB 300 değerlerine inmiştir. Sistem bir kere daha çözüldüğünde bu durumun korunduğu görülmüştür.

- Kaynaklı yarı rijit tasarımda yüklemesi büyük olan kirişin sehim değeri kalıcı ve hareketli G+Q yüklemesi için 0,69 cm olarak gerçekleşmiştir. Bu değer açıklığın üç yüzde biri olan sehim sınırını geçmemiştir.

$$f = 0,69 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm}$$

- Aşağıda kaynaklı yarırijit çerçeve sistemine ait görelî kat ötelemeleri ve üst değeri verilmiştir. En üst katın yatayda yer değiştirmesi 2,46 cm olarak gerçekleşmiştir.
- Max görelî kat ötelemesi 0,0148 ile üst katta gerçekleşmiştir. Bu değer üst sınır olan 0,02'yi aşmamıştır.

Kat No	$h_i(\text{cm})$	$d_i(\text{cm})$	D_{imax}	$d_{imax}=R.D_{imax}$	$\Theta=d_{imax}/h_i$	Üst Sınır
2	450	2,46	1,33	6,65	0,0148	0,02
1	450	1,13	1,13	5,65	0,0126	0,02

- HE-B 260 kenar kolonunun bir metresinin ağırlığı $G = 93 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $4,5 \times 4 = 18 \text{ metre} \times 93 \text{ kg/m} = 1674 \text{ kg}$ kullanıldı.

- HE-B 300 orta kolonun bir metresinin ağırlığı $G = 117 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $4,5 \times 2 = 9 \text{ metre} \times 117 \text{ kg/m} = 1053 \text{ kg}$ kullanıldı.

- HE-A 260 kat kirişlerinin bir metresinin ağırlığı $G = 68,2 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $5,5 \times 4 = 22 \text{ metre} \times 68,2 \text{ kg/m} = 1500 \text{ kg}$ kullanıldı.

- Kaynaklı yarırijit sistem için bir çerçevede toplam kullanılan taşıyıcı eleman ağırlığı:

$$\Sigma G = 1674 + 1053 + 1500 = 4227 \text{ kg}$$

Üçüncü aşama olarak tekrar rijit sistemden yola çıkarak kirişte HEA 300, orta kolonda

HEB 320, kenar kolonda HEB 300 profilleri kullanılarak bu düğüm noktasının rijitlik katsayıları hesaplanmış yarırijit kaynaklı birleşimde olduğu gibi iki iterasyon sonucu kirişte yarırijit kaynaklıya benzer, kirişte HEA260 orta kolonda HEB 300 ve kenar kolonlarda HEB 260 profillerine ulaşılmıştır.

- Bulonlu yarı rijit tasarımda yüklemesi büyük olan kirişin sehim değeri kalıcı ve hareketli $G+Q$ yüklemesi için $0,66 \text{ cm}$ olarak gerçekleşmiştir. Bu değer açıklığın üç yüzde biri olan sehim sınırını geçmemiştir.

$$f = 0,66 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm}$$

- Aşağıda bulonlu yarırijit çerçeve sistemine ait görelî kat ötelemeleri ve üst değeri verilmiştir. En üst katın yatayda yer değiştirmesi $2,28 \text{ cm}$ olarak gerçekleşmiştir.
- Max görelî kat ötelemesi $0,0132$ ile üst katta gerçekleşmiştir. Bu değer üst sınır olan $0,02$ 'yi aşmamıştır.

Kat No	$h_i(\text{cm})$	$d_i(\text{cm})$	D_{imax}	$d_{imax}=R.D_{imax}$	$\Theta=d_{imax}/h_i$	Üst Sınır
2	450	2,28	1,19	5,95	0,0132	0,02
1	450	1,09	1,09	5,45	0,0121	0,02

- HE-B 260 kenar kolonunun bir metresinin ağırlığı $G = 93 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $4,5 \times 4 = 18 \text{ metre} \times 93 \text{ kg/m} = 1674 \text{ kg}$ kullanıldı.

- HE-B 300 orta kolonun bir metresinin ağırlığı $G = 117 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $4,5 \times 2 = 9 \text{ metre} \times 117 \text{ kg/m} = 1053 \text{ kg}$ kullanıldı.

- HE-A 260 kat kirişlerinin bir metresinin ağırlığı $G = 68,2 \text{ kg/m}$

Bir çerçevede $5,5 \times 4 = 22 \text{ metre} \times 68,2 \text{ kg/m} = 1500 \text{ kg}$ kullanıldı.

- Kaynaklı yarırjrit sistem için bir çerçevede toplam kullanılan taşıyıcı eleman ağırlığı:

$$\Sigma G = 1674 + 1053 + 1500 = 4227 \text{ kg}$$

- **Kaynaklı rijit, kaynaklı yarı-rijit, bulonlu yarı-rijit sistemlerin kıyaslanması:**

- **Kiriş sehimi bakımından kıyaslama;**

Kaynaklı Yarırjrit > Bulonlu Yarırjrit > Rijit

$$0,69 \text{ cm} > 0,66 \text{ cm} > 0,41 \text{ cm}$$

- **Yapının üst kat yatay deplasmanı bakımından;**

Kaynaklı Yarırjrit > Bulonlu Yarırjrit > Rijit

$$2,46 \text{ cm} > 2,28 \text{ cm} > 1,46 \text{ cm}$$

- **Görelî kat ötelemesi bakımından;**

Kaynaklı Yarırjrit > Bulonlu Yarırjrit > Rijit

$$0,0148 > 0,0132 > 0,0096$$

- **Profil sarfiyatı bakımından;**

Rijit > Kaynaklı Yarırjrit = Bulonlu Yarırjrit

$$5192 \text{ kg} > 4227 \text{ kg} = 4227 \text{ kg}$$

- Yarı-rijit düğüm noktalı sistemler rijit düğüm noktalı sistemle kıyaslandığında

$$\frac{5192 - 4227}{5192} = \%18,5 \text{ oranında bir ekonomi sağlandığı görülmüştür.}$$

KAYNAKLAR

- [1] **SSEDTA 2001** Structural Steelwork Eurocodes-Development of a Trans-National Approach: Frame Design Approaches: Practical application of modern design approaches
- [2] **EC3, ENV 1993 1-1** Design of Steel Structures
- [3] **Faella, C., Piluso, V. And Rizzano, G.** 2000. Structural Steel Semirigid Connections, Theory, Design and Software, CRC Press, New York
- [4] **Deren, H.** İTÜ. İnşaat Fakültesi Matbaası 1995
- [5] **Özgen, A., Bayramoğlu, G.** Çelik Dersi Notları Eylül 2003
- [6] **Odabaşı Y.,**1997. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul
- [7] **Öztürk A.Z,** Çelik Yapılar Kısa Bilgi ve Çözülmüş Problemler, 2002
- [8] **DY, 2007** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Haziran 2007
2.baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [9] **TS 648,** 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [10] **TS 498** 1987 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [11] **FEMA 350, 2000** Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings

A. Rijitlik için Sayısal Veri ve Hesap Tabloları

Tablo A.1 Rijitlik hesabında iç düğüm noktası için veriler

Veriler:			Açıklamalar:	
h	4500	mm	h	Kat Yüksekliği
E	210000	N/mm ²	E	Elastiklik Modülü
f _{yep}	235	N/mm ²	f _{yi}	İlgili parçanın akma gerilmesi
f _{ybf}	235	N/mm ²	f _{ub}	Bulon kopma gerilmesi
f _{ybw}	235	N/mm ²	h _b	Kiriş derinliği
f _{ycf}	235	N/mm ²	b _{fb}	Kiriş başlık genişliği
f _{ycw}	235	N/mm ²	t _{fb}	Kiriş başlık kalınlığı
f _{yb}	900	N/mm ²	t _{wb}	Kiriş gövde kalınlığı
f _{ub}	1000	N/mm ²	r _b	Gövde başlık arası eğrisel bölge yarıçapı
Kiriş HEA 260			Z _b	Kiriş Plastik Modülü
h _b	250	mm	h _c	Kolon derinliği
b _{fb}	260	mm	b _{fc}	Kolon başlık genişliği
t _{fb}	12,5	mm	t _{fc}	Kolon başlık kalınlığı
t _{wb}	7,5	mm	t _{wc}	Kolon gövde kalınlığı
r _b	24	mm	r _c	Gövde başlık arası eğrisel bölge yarıçapı
Z _b	191800	mm ³	h _{ep}	Alın levhası yüksekliği
Kolon HEB 280			l _{ep}	Alın levhasının kiriş üst başlığından taşan kısmı
h _c	280	mm	e _x	1. Bulon sırasının alın levhası üst kenarına uzaklığı
b _{fc}	280	mm	p	1. ve 2. Bulon sırası arasındaki uzaklık
t _{fc}	18	mm	p _i	Kiriş başlıkları arasındaki 2. ve 3. bulon sıraları arasındaki uzaklık
t _{wc}	10,5	mm		
r _c	24	mm		

Alın Levhası				
h_{ep}	360	mm	b_{ep}	Alın levhası genişliği
l_{ep}	90	mm	e_{ep}	Bulonların kendilerine yakın alın levhası uzun kenarına uzaklığı
e_x	35	mm	w_i	2 bulon sütunu arasındaki uzaklık
p	110	mm	$a_{ep.f}$	Kiriş başlıklarını alın levhasına bağlayan kaynak kalınlığı
p_i	150	mm	$a_{ep.w}$	Kiriş gövdesini alın levhasına bağlayan kaynak kalınlığı
b_{ep}	260	mm	d_h	Bulon başı çapı (conta üzerindeki temas çapı)
e_{ep}	35	mm	t_{ep}	Alın levhası kalınlığı
w_i	190	mm	d_b	Bulon çapı
$a_{ep.f}$	8,5	mm	t_{wh}	Conta(pul) kalınlığı
$a_{ep.w}$	5	mm	d_r	Bulonun direnen alanına ait çap
$d_h(d_{bh})$	30	mm	t_h	Bulon başı derinliği
t_{ep}	20	mm	t_n	Somun derinliği
$d_b=$	20,0	mm	A_b	Bulonun direnen alanı
t_{wh}	2,8	mm		
d_r	17,66	mm		
t_h+t_n	14	mm		

Tablo A.2 Orta düğümüne ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için rijitlik hesap aşamaları

Bulonlu Uzatılmış Alın levhalı Yarırijit Birleşim (Orta Düğüm)					
HEB280 (KOLON) - HEA260 (KİRİŞ)					
1.HESAP SÜTUNU			2.HESAP SÜTUNU		
$h_1=$	298,75	mm	$m_2=$	35,71	mm
$h_2=$	188,75	mm	$b_{eff2.ep.1}=$	101,42	mm
$h_3=$	38,75	mm	$b_{eff2.ep.2}=$	85,71	mm
$m_c=$	30,55	mm	$b_{eff2.ep}=$	85,71	mm
$b_{eff.cfb.1}=$	91,1	mm	$K_{epb}=$	3335267	N/mm
$b_{eff.cfb.2}=$	100,55	mm	$A_b=$	245	mm ²
$b_{eff.cfb}=$	91,1	mm	$L_b=$	50,6	mm

$K_{cfb} =$	1956553	N/mm	$K_b =$	1627171	N/mm
$d_{wc} =$	196	mm	$K_2^* =$	416454,7	N/mm
$K_{cwt} =$	1024875	N/mm	$m_c =$	30,55	mm
$m_x =$	48,21	mm	$b_{eff,cfb.1} =$	91,1	mm
$b_{eff,ep.1} =$	126,42	mm	$b_{eff,cfb.2} =$	120,55	mm
$b_{eff,ep.2} =$	75	mm	$b_{eff,cfb} =$	91,10	mm
$b_{eff,ep.3} =$	98,21	mm	$K_{cfb} =$	1956553	N/mm
$b_{eff,ep.4} =$	108,21	mm	$d_{wc} =$	196	mm
$b_{eff,ep} =$	75,00	mm	$K_{cwt} =$	1024875	N/mm
$K_{epb} =$	562188	N/mm	$m_{ep} =$	36,72	mm
$A_b =$	245	mm ²	$b_{eff,ep.1} =$	103,45	mm
$L_b =$	50,6	mm	$b_{eff,ep.2} =$	126,72	mm
$K_b =$	1627171	N/mm	$b_{eff1,ep} =$	103,45	mm
$K_1^* =$	257721	N/mm	$K_{epb} =$	1754436	N/mm
$m_c =$	30,55	mm	$A_b =$	245	mm ²
$b_{eff,cfb.1} =$	91,1	mm	$L_b =$	50,6	mm
$b_{eff,cfb.2} =$	100,55	mm	$K_b =$	1627171	N/mm
$b_{eff,cfb.3} =$	120,55	mm	$K_3^* =$	374338	N/mm
$b_{eff,cfb.4} =$	130	mm	$h_t =$	225,75	mm
$b_{eff,cfb} =$	91,1	mm	$K_t =$	753521	N/mm
$K_{cfb} =$	1956553	N/mm	$A_{vc} =$	4109,4	mm ²
$d_{wc} =$	196	mm	$\beta =$	0,950	
$K_{cwt} =$	1024875	N/mm	$K_{cws} =$	1529378	N/mm
$m_{ep} =$	36,72	mm	$d_{wc} =$	196	mm
$b_{eff1,ep.1} =$	103,45	mm	$b'_{eff,cwc} =$	279,5	mm
$b_{eff1,ep.2} =$	126,72	mm	$K_{cwc} =$	3144044	N/mm
$b_{eff1,ep} =$	103,45	mm	$K_\varphi =$	22166,8	kNm/rad

Tablo A.3 Rijitlik hesabında kenar düğüm için veriler

Kolon HEB 260			Kiriş HEA 260		
h_c	260	mm	h_b	250	mm
b_{fc}	260	mm	b_{fb}	260	mm
t_{fc}	17,5	mm	t_{fb}	12,5	mm
t_{wc}	10	mm	t_{wb}	7,5	mm
r_c	24	mm	r_b	24	mm
			Z_b	920000	mm ³

Tablo A.4 Kenar düğümüne ait bulonlu uzatılmış alın levhalı yarı-rijit birleşim için rijitlik hesap aşamaları

Bulonlu Uzatılmış Alın levhalı Yarırijit Birleşim (Kenar Düğüm)					
HEB260 (KOLON) - HEA260 (KİRİŞ)					
1.HESAP SÜTUNU			2.HESAP SÜTUNU		
$h_1=$	298,75	mm	$m_2=$	35,71	mm
$h_2=$	188,75	mm	$b_{eff2.ep.1}=$	101,42	mm
$h_3=$	38,75	mm	$b_{eff2.ep.2}=$	85,71	mm
$m_c=$	30,8	mm	$b_{eff2.ep}=$	85,71	mm
$b_{eff.cfb.1}=$	91,6	mm	$K_{epb}=$	3335267	N/mm
$b_{eff.cfb.2}=$	100,8	mm	$A_b=$	245	mm ²
$b_{eff.cfb}=$	91,6	mm	$L_b=$	50,1	mm
$K_{cfb}=$	1764196	N/mm	$K_b=$	1643410	N/mm
$d_{wc}=$	177	mm	$K_2^*=$	417484,7	N/mm
$K_{cwt}=$	1086780	N/mm	$m_c=$	30,8	mm
$m_x=$	48,21	mm	$b_{eff.cfb.1}=$	91,6	mm
$b_{eff.ep.1}=$	126,42	mm	$b_{eff.cfb.2}=$	120,8	mm
$b_{eff.ep.2}=$	75	mm	$b_{eff.cfb}=$	91,60	mm
$b_{eff.ep.3}=$	98,21	mm	$K_{cfb}=$	1764196	N/mm
$b_{eff.ep.4}=$	108,21	mm	$d_{wc}=$	177	mm
$b_{eff.ep}=$	75,00	mm	$K_{cwt}=$	1086780	N/mm

$K_{epb} =$	562188	N/mm	$m_{ep} =$	36,72	mm
$A_b =$	245	mm ²	$b_{eff,ep.1} =$	103,45	mm
$L_b =$	50,1	mm	$b_{eff,ep.2} =$	126,72	mm
$K_b =$	1643410	N/mm	$b_{effl,ep} =$	103,45	mm
$K_l^* =$	258115	N/mm	$K_{epb} =$	1754436	N/mm
$m_c =$	30,8	mm	$A_b =$	245	mm ²
$b_{eff.cfb.1} =$	91,6	mm	$L_b =$	50,1	mm
$b_{eff.cfb.2} =$	100,8	mm	$K_b =$	1643410	N/mm
$b_{eff.cfb.3} =$	120,80	mm	$K_3^* =$	375170	N/mm
$b_{eff.cfb.4} =$	130	mm	$h_t =$	225,72	mm
$b_{eff.cfb} =$	91,6	mm	$K_l =$	755137	N/mm
$K_{cfb} =$	1764196	N/mm	$A_{vc} =$	3759,4	mm ²
$d_{wc} =$	177	mm	$\beta =$	0,950	
$K_{cwl} =$	1086780	N/mm	$K_{cws} =$	1399281	N/mm
$m_{ep} =$	36,72	mm	$d_{wc} =$	177	mm
$b_{effl,ep.1} =$	103,45	mm	$b'_{eff.cwc} =$	277,0	mm
$b_{effl,ep.2} =$	126,72	mm	$K_{cwc} =$	3286091	N/mm
$b_{effl,ep} =$	103,45	mm	$K_{\phi} =$	21743,4	kNm/rad

B. Eğilme Dayanımı İçin Sayısal Veri ve Hesap Tabloları

Tablo B.1 Eğilme Dayanımı Hesabında İç Düğüm Noktası İçin Veriler

Veriler:			Kiriş HEA260		
k_{cwc}	1		h_b	250	mm
β	0,939		b_{fb}	260	mm
h_t	4500	mm	t_{fb}	12,5	mm
E	210000	N/mm ²	t_{wb}	7,5	mm
f_{yep}	235	N/mm ²	r_b	24	mm
f_{ybf}	235	N/mm ²	$Z_b=2.S_x$	920000	mm ³
f_{ybw}	235	N/mm ²	Alın Levhası		
f_{yef}	235	N/mm ²	h_{ep}	360	mm
f_{ycw}	235	N/mm ²	L_{ep}	90	mm
f_{yb}	900	N/mm ²	e_x	35	mm
f_{ub}	1000	N/mm ²	p	110	mm
γ_{Mb}	1,25		p_i	200	mm
γ_{Mo}	1		b_{ep}	150	mm
Kolon HEB 280			e_{ep}	35	mm
h_c	280	mm	w	190	mm
b_{fc}	280	mm	$a_{ep.f}$	8,5	mm
t_{fc}	18	mm	$a_{ep.w}$	5	mm
t_{wc}	10	mm	$d_h(d_{bh})$	30	mm
r_c	24	mm	t_{ep}	20	mm
$A_{c=}$	13100	mm ²	$d_{b=}$	20	mm
			$t_{wh=}$	2,8	mm
			$d_{r=}$	17,66	mm
			$t_h+t_n=$	14	mm

Tablo B.2 Orta (iç) Düğüme Ait Bulonlu Uzatılmış Alın Levhali Yarı-rijit Birleşim İçin Eğilme Dayanımı Hesap Aşamaları

Bulonlu Uzatılmış Alın Levhali Yarı-rijit Birleşim (Orta Düğüm)					
HEB280 (Kolon) – HEA260 (Kiriş)					
1.HESAP SÜTUNU			2.HESAP SÜTUNU		
$h_1 =$	298,75	mm	$b_{eff.cwt} =$	167,0	mm
$h_2 =$	188,75	mm	$\rho =$	0,88	
$h_3 =$	38,75	mm	$F_{cwt.Rd(1)} =$	346,0	kN
$A_{vc} =$	4064	mm ²	$F_{t1.Rd} =$	146	kN
$V_{cws.Rd} =$	551	kN	$b_{eff.cfb} =$	167,0	mm
$F_{cws.Rd} =$	587	kN			kNm
$sp =$	32	mm	$M_{cf.Rd.1} =$	3178	m
$b_{eff.cwc} =$	271	mm	$F_{cfb.Rd.1} =$	413	kN
$\rho =$	0,76				kNm
$F_{cwc.Rd} =$	481	kN	$M_{cf.Rd.2} =$	3178	m
$d_{wc} =$	196	mm	$F_{cfb.Rd.2} =$	331	kN
$b'_{eff.cwc} (HEM) =$	261	mm	$F_{cfb.Rd.3} =$	441	kN
$F_{cr} =$	1233	kN	$F_{cfb.Rd.(2)min} =$	331	kN
$\lambda =$	0,71		$b_{eff.cfb.c} =$	414	mm
$F'_{cwc.Rd}(b_{eff}=271) =$	481	kN	$b_{eff.cfb.o} =$	352	mm
$F_{cwc.Rdmin} =$	481,0	kN	$b_{eff.cfb} =$	352	mm
$M_{b.Rd} =$	216200	kNmm			kNm
$F_{bfwc.Rd} =$	910	kN	$M_{cf.Rd.1} =$	6699	m
$e_c =$	95	mm	$F_{cfb.Rd.1} =$	870	kN
$n=e_{min} =$	35	mm	$b_{eff.cfb} =$	352	mm
$m_c =$	30,8	mm			kNm
$b_{eff.cfb.1} =$	194	mm	$F_{cfb.Rd.2} =$	673	m
$b_{eff.cfb.2} =$	167	mm			kNm
$b_{eff.cfb} =$	167	mm	$F_{cfb.Rd.3} =$	882	m
$M_{cf.Rd.1} =$	3178	kNmm	$F_{cfb.Rd(2+1)} =$	673	kN
$F_{cfb.Rd.1} =$	413	kN	$F_{cfb(2+1)}-F_{t1.Rd} =$	527	kN
$A_b =$	245	mm ²	$b_{eff.cwt} =$	166,95	mm
$B_{t.Rd} =$	220,5	kN	$\rho =$	0,88	
$b_{eff.cfb} =$	167	mm	$a)F_{cwt.Rd(2)} =$	346,0	kN
$M_{cf.Rd.2} =$	3178	kNmm	$\rho =$	0,66	
			$F_{cwt.Rd(2+1)} =$	549	kN
			$b)F_{cwt.Rd(2+1)}-F_{t1.Rd} =$	403	kN
			$F_{min(a;b)} =$	346	kN
			$m_{ep} =$	36,72	mm
			$m_2 =$	35,71	mm

$F_{cfb.Rd.2} =$	331	kN	$\lambda 1 =$	0,51	
$F_{cfb.Rd.3} =$	441	kN	$\lambda 2 =$	0,50	
$F_{cfb.Rd.(1)min} =$	331	kN	$\alpha = (\lambda \text{ Tablosundan})$	5,53	
$m_x =$	48,21	mm	$b_{eff.epb.c} =$	231	mm
$b_{eff1.epb.1} =$	302,9	mm	$b_{eff.epb.o} =$	203	mm
$b_{eff1.epb.2} =$	241,5	mm	$b_{eff.epb} =$	203	mm
$b_{eff1.epb.3} =$	221,5	mm	$M_{epb.Rd.1} =$	4773	mm
$b_{eff1.epb.4} =$	221,5	mm	$F_{epb.Rd.(2).1} =$	396	mm
$b_{eff1.epb.5} =$	236,6	mm	$b_{eff.epb} =$	203	mm
$b_{eff1.epb.6} =$	153,3	mm	$F_{epb.Rd.(2).2} =$	348,3	mm
$b_{eff1.epb.7} =$	163,3	mm	$F_{epb.Rd.(2).3} =$	441	kN
$b_{eff1.epb.8} =$	75,0	mm	$F_{epb.Rd.(2).min} =$	348	kN
$b_{eff1.epb.min} =$	75,0	mm	$F_{bwt.Rd.(2)} =$	358	kN
$M_{epb.Rd.1} =$	1762,5	kNmm	$F_{t2.Rd} =$	331,2	kN
$F_{epb.Rd.1} =$	146,2	kN	$F_{t3.Rd} =$	3,6	kN
$b_{eff1.epb.min} =$	75,0	mm	$M_{j.Rd} =$	106,34	kN
$M_{epb.Rd.2} =$	1762,5	kNmm			
$F_{epb.Rd.2} =$	227,9	kN			
$F_{epb.Rd.3} =$	441	kN			
$F_{epb.Rd.min} =$	146	kN			

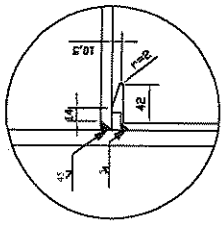
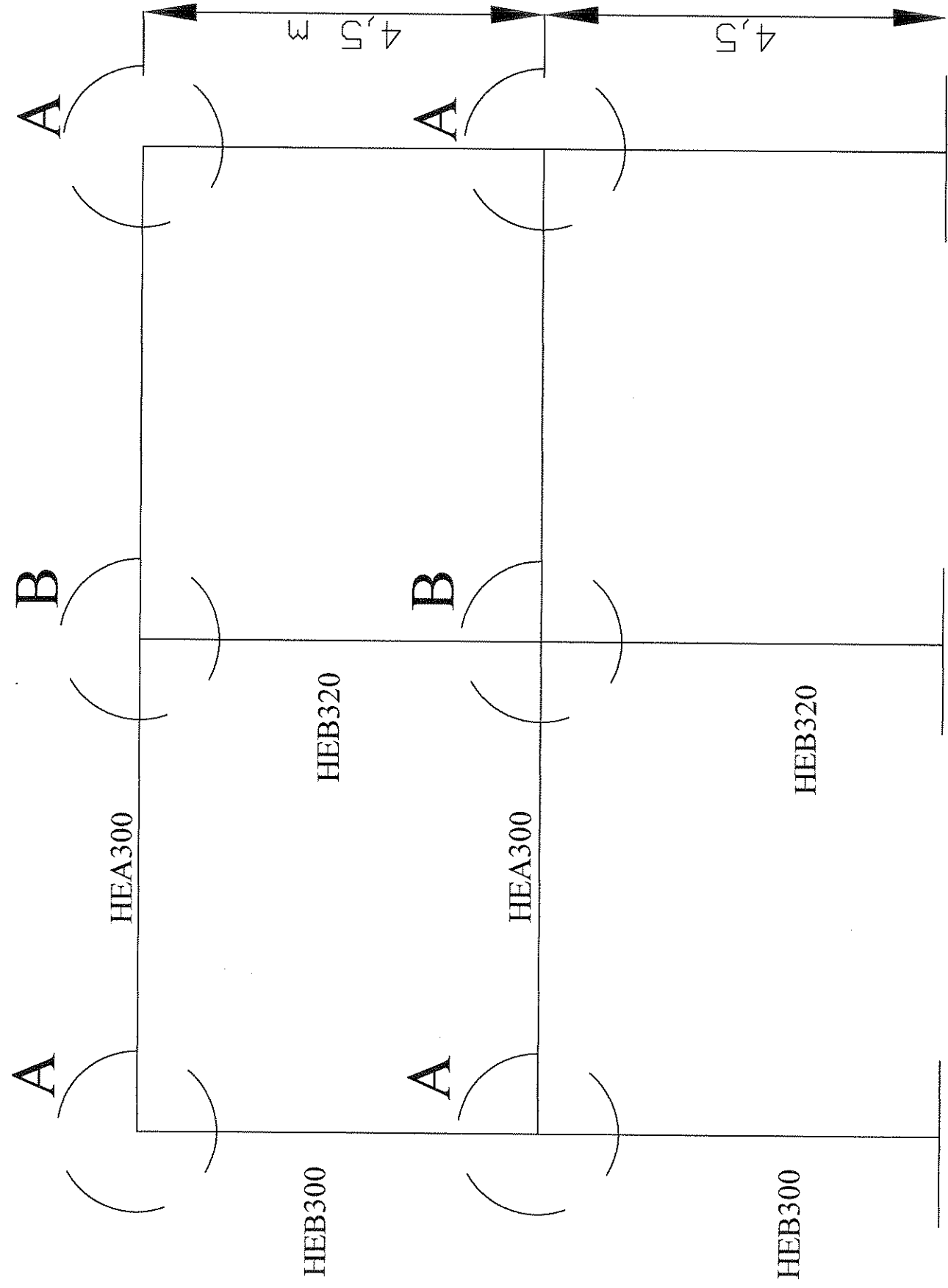
Tablo B.3 Eğilme Dayanımı Hesabında Kenar (Dış) Düğüm İçin Veriler

Kolon HEB 260			Kiriş HEA 260		
h_c	260	mm	h_b	250	mm
b_{fc}	260	mm	b_{fb}	260	mm
t_{fc}	17,5	mm	t_{fb}	12,5	mm
t_{wc}	10	mm	t_{wb}	7,5	mm
r_c	24	mm	r_b	24	mm
$A_c =$	11800	mm ²	$Z_b = 2.S_x$	920000	mm ³

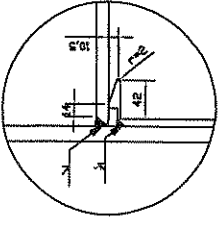
Tablo B.4 Kenar (Dış) Dügüme ait Bulonlu Uzatılmış Alın levhalı Yarı-rijit Birleşim İçin Eğilme Dayanımı Hesap Aşamaları

Bulonlu Uzatılmış Alın Levhalı Yarı rijit Birleşim (Kenar Dügüm)					
HEB260 (Kolon) – HEA260 (Kiriş)					
1.HESAP SÜTUNU			2.HESAP SÜTUNU		
$h_1 =$	298,75	mm	$b_{eff.cwt} =$	167,0	mm
$h_2 =$	188,75	mm	$\rho =$	0,86	
$h_3 =$	38,75	mm	$F_{cwt.Rd(1)} =$	338,7	kN
$A_{vc} =$	3715	mm ²	$F_{tl.Rd} =$	146	kN
$V_{cws.Rd} =$	504	kN	$b_{eff.cfb} =$	167,0	mm
$F_{cws.Rd} =$	537	kN			kNm
$sp =$	32	mm	$M_{cf.Rd.1} =$	3004	m
$b_{eff.cwc} =$	268	mm	$F_{cfb.Rd.1} =$	390	kN
$\rho =$	0,73				kNm
$F_{cwc.Rd} =$	460	kN	$M_{cf.Rd.2} =$	3004	m
$d_{wc} =$	177	mm	$F_{cfb.Rd.2} =$	326	kN
$b'_{eff.cwc} (HEM) =$	251	mm	$F_{cfb.Rd.3} =$	441	kN
$F_{cr} =$	1365	kN	$F_{cfb.Rd.(2)min} =$	326	kN
$\lambda =$	0,66		$b_{eff.cfb.c} =$	414	mm
$F'_{cwc.Rd}(b_{eff}=269$	460	kN	$b_{eff.cfb.o} =$	339	mm
$F_{cwc.Rdmin} =$	459,6	kN	$b_{eff.cfb} =$	339	mm
$M_{b.Rd} =$	216200	kNmm			kNm
$F_{bfwc.Rd} =$	910	kN	$b_{eff.cfb} =$	339	mm
$e_c =$	85	mm			kNm
$n=e_{min} =$	35	mm	$F_{cfb.Rd.2} =$	655	m
$m_c =$	30,8	mm			kNm
$b_{eff.cfb.1} =$	194	mm	$F_{cfb.Rd.3} =$	882	m
$b_{eff.cfb.2} =$	167	mm	$F_{cfb.Rd(2+1)} =$	655	kN
$b_{eff.cfb} =$	167	mm	$F_{cfb(2+1)} - F_{tl.Rd} =$	509	kN
$M_{cf.Rd.1} =$	3004	kNmm	$b_{eff.cwt} =$	166,95	mm
$F_{cfb.Rd.1} =$	390	kN	$\rho =$	0,86	
$A_b =$	245	mm ²	a) $F_{cwt.Rd(2)} =$	338,7	kN
$B_{t.Rd} =$	220,5	kN	$\rho =$	0,64	
$b_{eff.cfb} =$	167	mm	$F_{cwt.Rd(2+1)} =$	513	kN
			b) $F_{cwt.Rd(2+1)} - F_{tl.Rd} =$	367	kN
			$F_{min(a,b)} =$	339	kN
			$m_{ep} =$	36,72	mm

$M_{cf.Rd.2} =$	3004	kNmm	$m_2 =$	35,71	mm
$F_{cfb.Rd.2} =$	326	kN	$\lambda_1 =$	0,51	
$F_{cfb.Rd.3} =$	441	kN	$\lambda_2 =$	0,50	
$F_{cfb.Rd.(1)min} =$	326	kN	$\alpha = (\lambda \text{ Tablosundan})$	5,53	
$m_x =$	48,21	mm	$b_{eff,epb.c} =$	231	mm
$b_{effl.epb.1} =$	302,9	mm	$b_{eff,epb.o} =$	203	mm
$b_{effl.epb.2} =$	241,5	mm	$b_{eff,epb} =$	203	mm
$b_{effl.epb.3} =$	221,5	mm	$M_{epb.Rd.1} =$	4773	mm
$b_{effl.epb.4} =$	221,5	mm	$F_{epb.Rd.(2).1} =$	396	mm
$b_{effl.epb.5} =$	236,6	mm	$b_{eff,epb} =$	203	mm
$b_{effl.epb.6} =$	153,3	mm	$F_{epb.Rd.(2).2} =$	348,3	mm
$b_{effl.epb.7} =$	163,3	mm	$F_{epb.Rd.(2).3} =$	441	kN
$b_{effl.epb.8} =$	75,0	mm	$F_{epb.Rd.(2).min} =$	348	kN
$b_{effl.epb.min} =$	75,0	mm	$F_{bwt.Rd.(2)} =$	358	kN
$M_{epb.Rd.1} =$	1762,5	kNmm	$F_{t2.Rd} =$	313,4	kN
$F_{epb.Rd.1} =$	146,2	kN	$F_{t3.Rd} =$	0,0	kN
$b_{effl.epb.min} =$	75,0	mm	$M_{j.Rd} =$	102,84	kN
$M_{epb.Rd.2} =$	1762,5	kNmm			
$F_{epb.Rd.2} =$	227,9	kN			
$F_{epb.Rd.3} =$	441	kN			
$F_{epb.Rd.min} =$	146	kN			

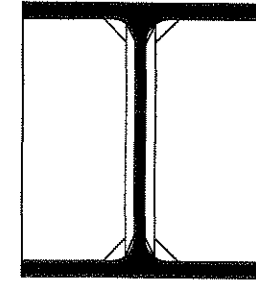
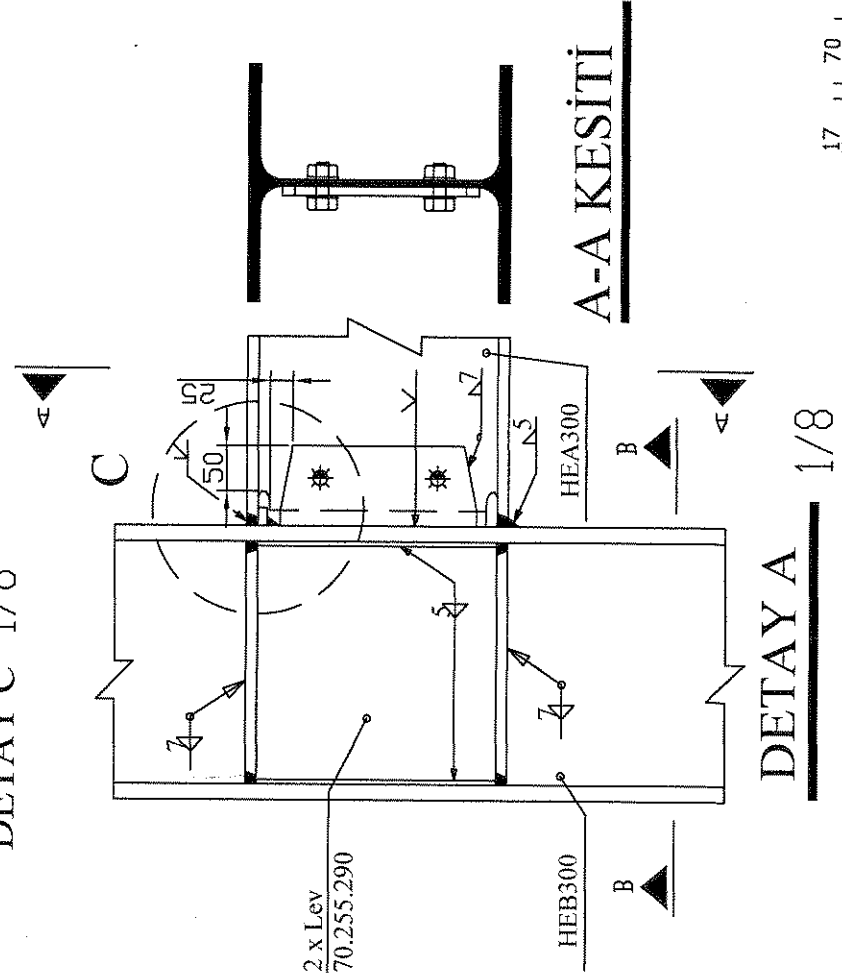


Kaynak Ulaşım Deligi
DETAY C 1/8

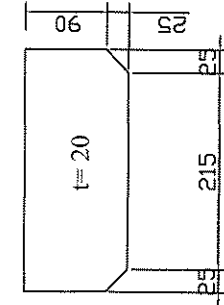


Kaynak Ulaşım Deligi
DETAY C 1/8

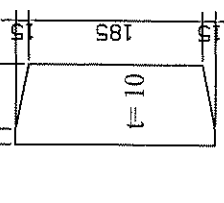
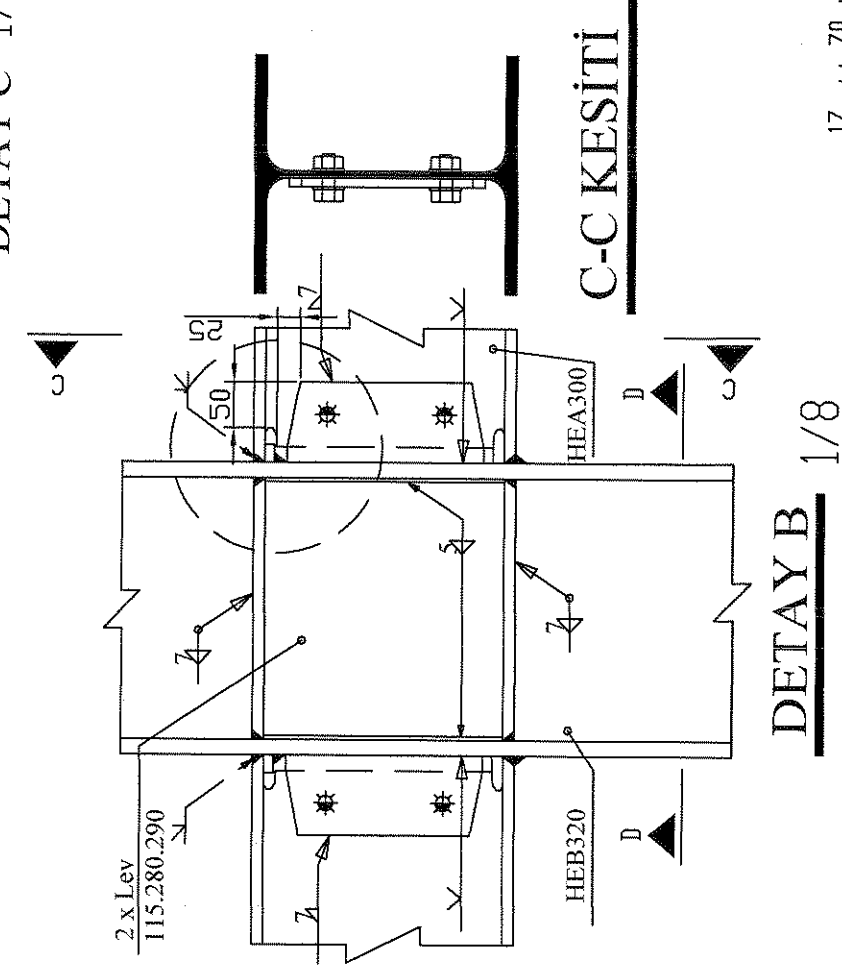
Rijit Düğüm Noktası Detayı



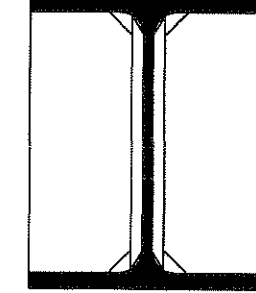
B-B KESİTİ



Kayna Levhası

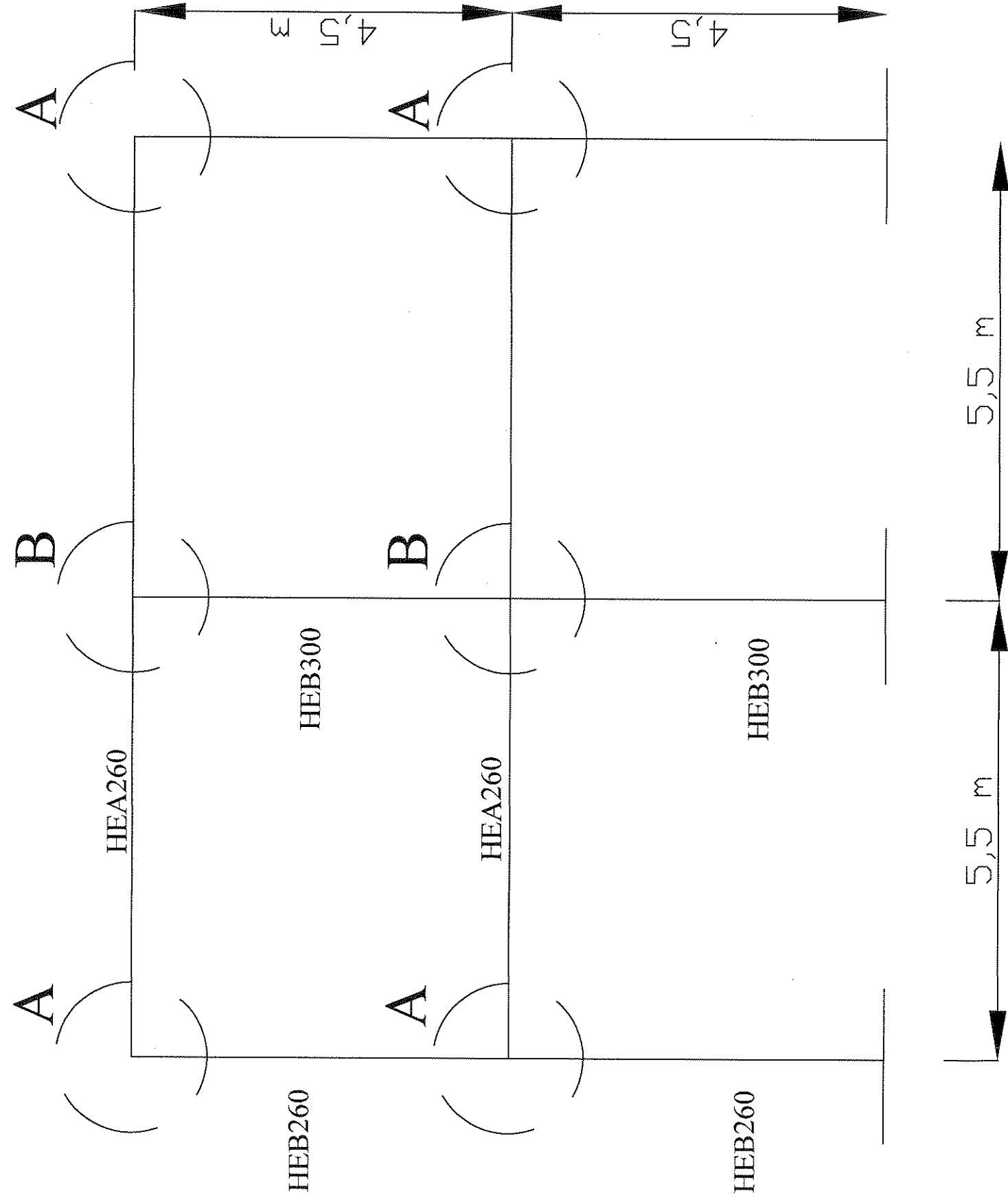


Kayna Levhası

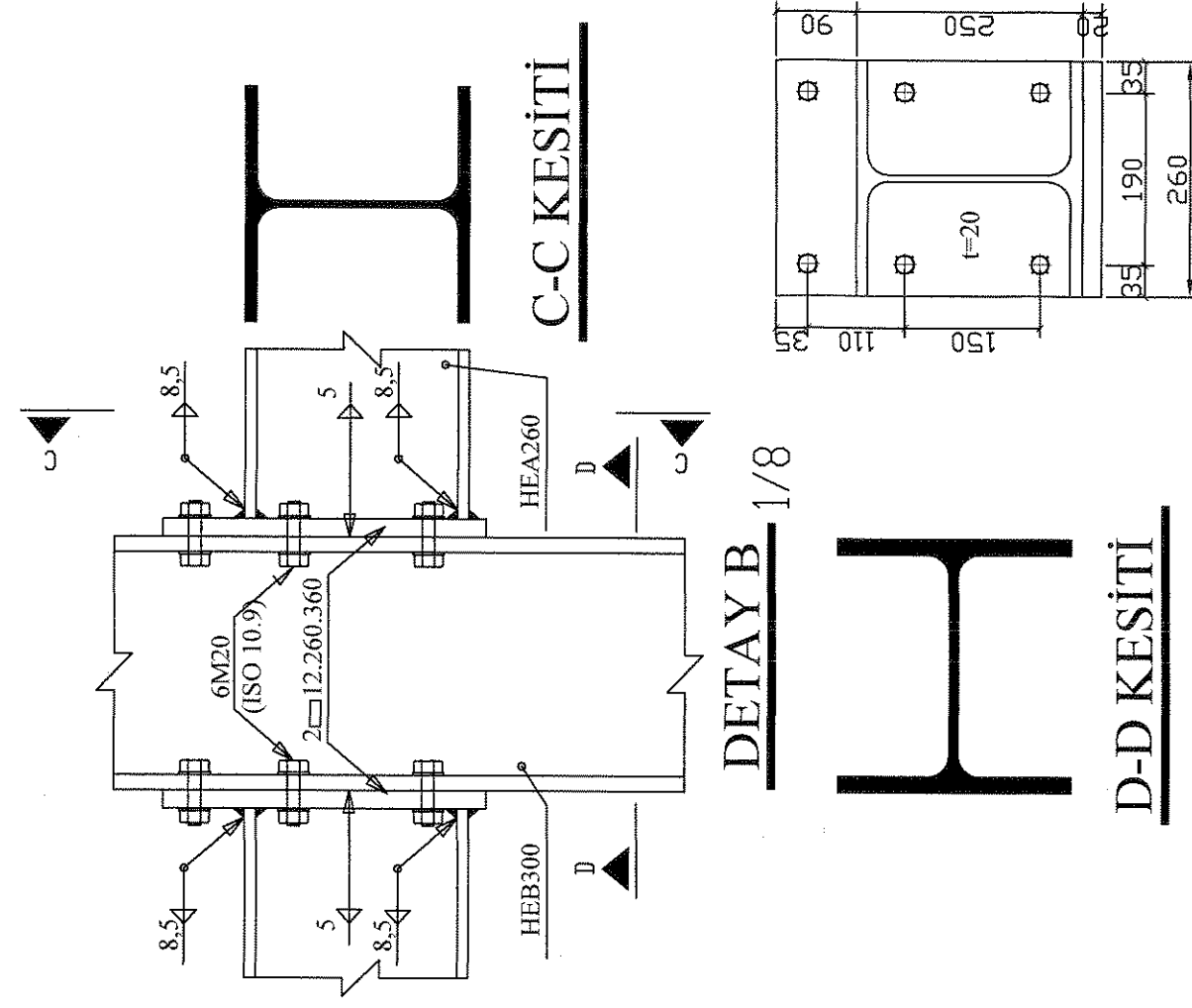
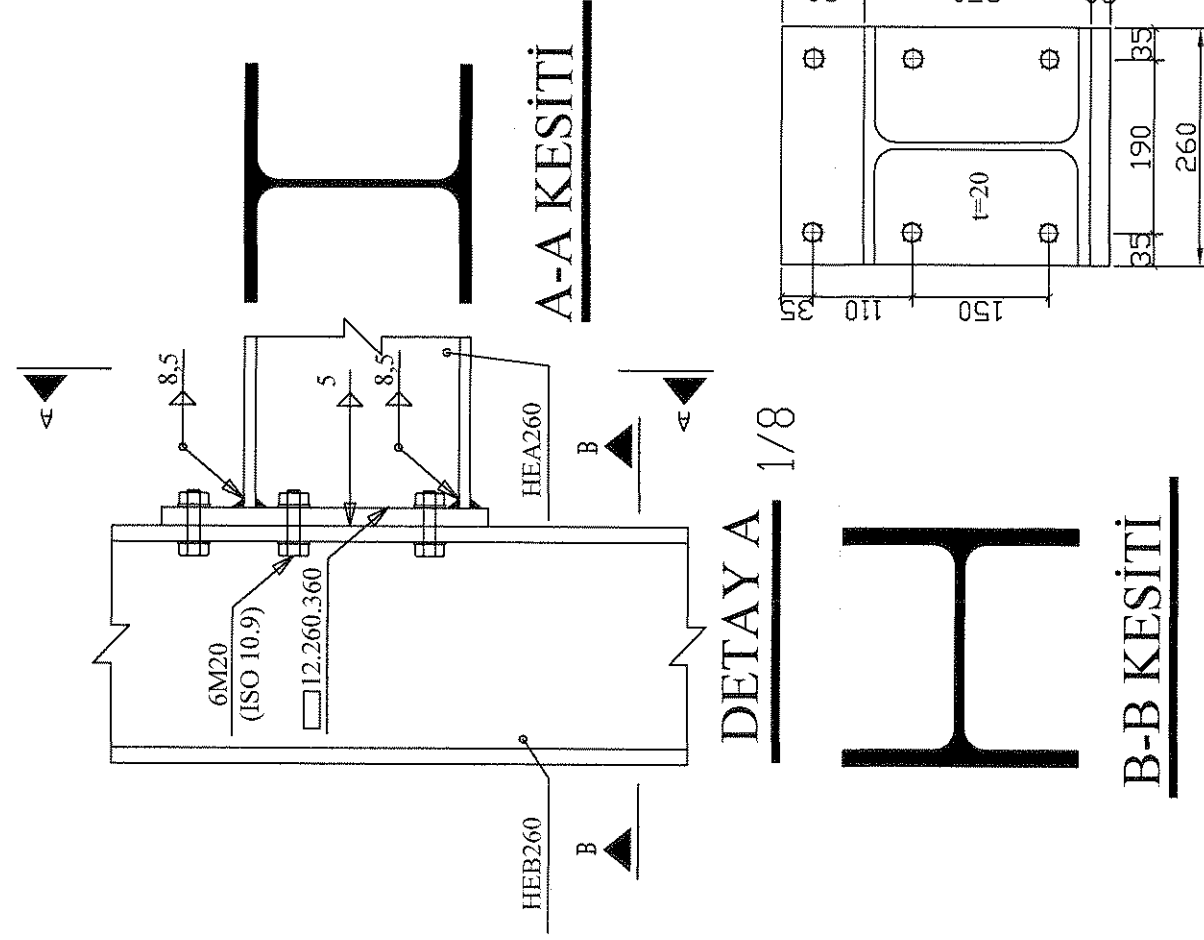


D-D KESİTİ





Bulonlu Yarırijit Düğüm Noktası Detayı



Dear Sir ;

I am a MSc student in Istanbul Technical University in Istanbul in Türkiye. I was interested in semirigid connections in steel structures very much. In my dissertation that I am working on , to explain about the theory of welded and bolted end plate connections , I would like to get permission to use some sections which are to be translated into Turkish by me) and some of the figures and tables from Chapter 3,4,5 from the book Structural Steel Semirigid Connections Theory,Design and Software 2000.

Yours sincerely,

Rafet Altay Eryoldaş.

Original Message -----

From: Altay Eryoldas

To: c.faella@unisa.it ; v.piluso@unisa.it ; g.rizzano@unisa.it ; g.rizzano@unisa.it

Sent: Saturday, September 06, 2008 1:56 PM

Subject: Permission About Structural Steel Semirigid Connections

Dear Rafet Altay Eryoldaş.

You can translate in Turkish whatever you want provided that appropriate reference is given. The same applies for figures.

Yours sincerely.

Prof. Vincenzo Piluso
Full Professor, PhD, MSc, BSc
Department of Civil Engineering
University of Salerno
Via Ponte Don Melillo
84084 Fisciano (SA) - Italy

ÖZGEÇMİŞ

Rafet Altay Eryoldaş, 1981 yılında İstanbul’da doğdu. Özel Moda lisesinden 1999 yılında mezun oldu. Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat fakültesinden 2005 yılında mezun oldu. İstanbul teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Ana bilim dalına bağlı olan Yapı Mühendisliği Yapı Analizi Programındaki öğrenimine devam etmektedir. İyi derecede ingilizce bilmektedir.