



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**ALIN LEVHALI BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİM**  
**BÖLGESİNİN TBDY 2018 VE EUROCODE 3**  
**YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARLANMASI VE**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CANSEL ÇELİK ORAL**

**İSTANBUL, 2021**



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**ALIN LEVHALI BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİM**  
**BÖLGESİNİN TBDY 2018 VE EUROCODE 3**  
**YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARLANMASI VE**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CANSEL ÇELİK ORAL**  
**(180241054)**

**Danışman**  
**(Dr. Öğr. Üyesi Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR)**

**İSTANBUL, 2021**

28/05/2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 180241054 numaralı Cansel ÇELİK ORAL'ın hazırladığı “2016 Çelik Yönetmeliği'ne Göre Birleşim Tasarlanması ve Diğer Ülke Yönetmelikleriyle Karşılaştırılması “ konulu İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 28/05/2021 Cuma günü saat 14:00 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

**Düzeltilme verilmesi halinde:**

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:.... da yapılacaktır.

**Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde:** Tez adının “Alın Levhalı Bulonlu Kiriş Kolon Birleşim Bölgesinin TBDY 2018 ve Eurocode 3 Yönetmeliklerine Göre Tasarlanması ve karşılaştırılması” şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR	28/ 05/2021	<b>KABUL</b>
Prof. İbrahim EKİZ	28/05/2021	<b>KABUL</b>
Prof. Dr. Müberra ESER AYDEMİR	28/05/2021	<b>KABUL</b>

## **BEYAN/ ETİK BİLDİRİM**

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Cansel ÇELİK ORAL

Aileme

**ALIN LEVHALI BULONLU KİRİŞ KOLON BİRLEŞİM BÖLGESİNİN TBDY 2018  
VE EUROCODE 3 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARLANMASI VE  
KARŞILAŞTIRILMASI**  
**Cansel Çelik Oral**

**ÖZET**

Alın levhalı bulonlu birleşimler ekonomik tasarım olanakları, kolay imalat ve hızlı montaj avantajları nedeniyle moment aktaran çelik çerçevelerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu birleşimler alın levhasının kirişin başlık ve gövde elemanlarına kaynakla birleştirilmesi ve bu sistemin kolon başlığına bulonlar ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Birleşimin kaynağının atölyelerde kontrollü koşullar altında yapılması maliyeti azaltır ve yüksek kalitede kaynakların elde edilmesini sağlar. Ayrıca birleşimlerin bulonlarının sahada sıkılması inşaat süresini oldukça kısaltmaktadır.

Bu çalışmanın amacı alın levhalı bulonlu birleşimlerin TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliklerine göre tasarım esaslarının incelenerek karşılaştırılmasıdır. Çalışmanın ilk bölümünde alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin ÇYTHYE (2016); TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliklerinde verilen tasarım esasları incelenmiş ve aralarındaki temel farklılıklar açıklanmıştır. İkinci bölümde ise her iki yönetmeliğe göre tasarım adımları sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla TBDY (2018) yönetmeliğinde verilen kiriş-kolon birleşim tiplerinden uzatılmış alın levhalı dört sıralı bulonlu birleşim detayı seçilmiştir. Seçilen alın levhalı bulonlu birleşim ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmeliklerine göre tasarlanmış ve moment kapasitesi belirlenmiştir. Daha sonra tasarlanan birleşimin kapasitesi ve rijitliği Eurocode EN 1993 1-8 (2005) yönetmeliğinde verilen elemana dayalı yöntemle göre hesaplanmıştır. Ardından birleşim davranışı Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'de verilen üç doğrulu moment dönme eğrisi kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar ve moment-dönme ilişkisi literatürde deneysel olarak incelenen aynı tip alın levhalı bulonlu birleşime ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler** : Alın levhalı bulonlu birleşim, moment- dönme ilişkisi, kiriş-kolon birleşimi, TBDY 2018, Eurocode 3

**DESIGN AND COMPARISON OF BOLTED END PLATE CONNECTION  
ACCORDING TO TBDY 2018 AND EUROCODE 3**

**Cansel Çelik Oral**

**ABSTRACT**

Bolted end-plate connections are widely used in moment resisting steel frames due to their economical design, easy fabrication and fast erection. These connections are formed by the end-plate shop welded to the beam and the end-plate and beam assembly is field-bolted to the column flange. Since the welding for these connections is performed in the shop under controlled conditions ensures high quality welds and reduces the cost. In addition, using field-bolted connection significantly reduces the construction period.

The aim of this study is to compare the design procedures of the bolted end plate connections according to TBDY (2018) and the Eurocode EN 1993-1-8 (2005). In the first part of the study, design principles of the beam-column connections given in the ÇYTHYE (2016), TBDY (2018) and Eurocode EN 1993-1-8 (2005) are investigated and the main differences between them are described and discussed. In the second part, the design processes of both codes are investigated by numerically. For this purpose, extended four-row bolted end plate connection is selected from the beam-column connection types given in the TBDY (2018). In numerical study, the selected extended end plate connection is designed according to both ÇYTHYE (2016) and TBDY (2018) and moment capacity is determined. Subsequently, the moment capacity and rigidity of the designed connection is calculated according to the component-based method given in Eurocode EN 1993 1-8 (2005). Then, tri-linear moment rotation curve given in Eurocode EN 1993-1-8 (2005) is used for modeling the beam-column connection behavior. The numerical results and the moment-rotation relationship of connection are compared to the results of the same type of bolted end plate connection experimentally studied in the literature.

**Keywords:** Bolted end plate connection, moment-rotation relationship, beam-column connection, Turkish Building Earthquake Code 2018, Eurocode 3

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın yürütülmesi sürecinde destek ve katkılarından dolayı danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR'a ve yüksek lisans öğrenimim boyunca üzerimde emeği olan tüm öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Kazım ÇELİK ve annem Aysel ÇELİK'e, tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen ablam Mimar Cansu ÇELİK'e ve kardeşim Elif ÇELİK'e teşekkür ederim. Son olarak yoğun tez çalışmalarıma rağmen manevi desteğiyle her zaman yanımda olan eşim İlgar ORAL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Cansel ÇELİK ORAL



# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
SEMBOLLER.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvi
KISALTMALAR.....	xviii
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	9
1. KİRİŞ KOLON BİRLEŞİM TIPLERİ.....	9
İKİNCİ BÖLÜM.....	11
2. KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	11
2.1 TBDY (2018)'E GÖRE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	11
2.2 EUROCODE EN 1993 1-8 (2005)'E GÖRE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	11
2.2.1 Birleşim Kapasitesine Göre Sınıflandırma.....	11
2.2.2 Birleşim Rijitliğine Göre Sınıflandırma.....	12
2.3 EUROCODE EN 1993 1-8 (2005)'E GÖRE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN MODELLENMESİ.....	14
2.3.1 Moment-Dönme Eğrisinin Analitik Model İle Belirlenmesi.....	14
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	18
3.TBDY 2018 YÖNETMELİĞİNE GÖRE ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİM TASARIMI.....	18
3.1 MOMENT AKTARAN ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİMİN BOYUTLANDIRILMASI.....	18
3.1.1 Birleşen Elemanların Malzeme Özellikleri Belirlenmesi.....	18
3.1.2 Birleşen Elemanların Geometrisinin Uygulama Sınırları İle Karşılaştırılması.....	21
3.1.3 Gerekli Bulon Çapının Belirlenmesi ( $d_b$ ).....	22
3.1.4 Bulonların Çekme Dayanımı.....	23
3.1.5 Bulonların Kesme Dayanımı.....	23
3.1.6 Bulon Deliği Ezilme Dayanımı.....	24
3.1.7 Gerekli Alın Levhası Kalınlığının Belirlenmesi ( $t_p$ ).....	25

3.1.8 Alın Levhası Akma ve Kopma Dayanımı .....	27
3.1.9 Kolon Başlığı Kalınlığının Belirlenmesi ( $t_{fc}$ ) .....	28
3.1.10 Kolon Başlığı Eğilme Dayanımı.....	30
3.1.11 Kolon Gövdesi Yerel Akma Dayanımı.....	31
3.1.12 Kolon Gövdesi Yerel Burkulma Dayanımı .....	31
3.1.13 Kolon Gövdesi Burkulma Dayanımı.....	32
3.1.14 Kolon Gövdesi Kesme Dayanımı .....	32
3.2 SÜREKLİLİK LEVHASI TASARIMI .....	36
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....</b>	<b>39</b>
<b>4. EUROCODE EN 1993-1-8 (2005) YÖNETMELİĞİNE GÖRE ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİM TASARIMI .....</b>	<b>39</b>
4.1 ELEMANA DAYALI YÖNTEM KULLANILARAK BİRLEŞİMİN MOMENT KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ .....	39
4.1.1 Kayma Etkisindeki Kolon Gövdesinin Kesme Kuvveti Tasarımı .....	41
4.1.2 Basınç Kuvveti Etkisindeki Kolon Gövdesi Tasarımı .....	42
4.1.3 Çekme Etkisindeki Kolon Gövdesi Tasarımı.....	44
4.1.4 Eğilme Etkisindeki Kolon Başlığı Tasarımı .....	44
4.1.5 Eğilme Etkisindeki Alın Levhası Tasarımı .....	50
4.1.6 Basınç Etkisindeki Kiriş Başlığı ve Gövdesinin Tasarımı .....	55
4.1.7 Çekme Etkisindeki Kiriş Gövdesi Tasarımı .....	56
4.2 BAŞLANGIÇ DÖNME RİJİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ.....	57
4.2.1 Kayma Etkisindeki Kolon Gövdesinin Kesme Kuvveti Rijitliği .....	58
4.2.2 Basınç Etkisindeki Kolon Gövdesinin Rijitliği .....	59
4.2.3 Çekme Etkisindeki Kolon Gövdesinin Rijitliği .....	60
4.2.4 Eğilme Etkisindeki Kolon Başlığının Rijitliği.....	60
4.2.5 Eğilme Etkisindeki Alın Levhasının Rijitliği .....	60
4.2.6 Çekme Etkisindeki Bulonların Rijitliği .....	61
4.2.7 Alın Levhalı Bulonlu Birleşimlerin Başlangıç Rijitliği.....	61
<b>BEŞİNCİ BÖLÜM.....</b>	<b>63</b>
<b>5.SAYISAL UYGULAMA.....</b>	<b>63</b>
5.1 TBDY (2018)'E GÖRE MOMENT KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ.....	64
5.2 EUROCODE EN 1993 1-8 (2005)'E GÖRE MOMENT KAPASİTESİ BELİRLENMESİ .....	74
5.3 EUROCODE EN 1993-1-8 (2005)'E GÖRE BAŞLANGIÇ RİJİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ .....	89

<b>ALTINCI BÖLÜM.....</b>	<b>94</b>
<b>6.SONUÇLAR .....</b>	<b>94</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>99</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>102</b>

## SEMBOLLER

$A_b$	: Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı
$A_n$	: Net enkesit alanı
$A_s$	: Bulon gövde alanı
$A_{vc}$	: Kolon gövdesi kesme alanı
$C_t$	: Katsayı
$E$	: Yapısal çelik elastisite modülü
$F_{cu}$	: Süreklilik levhaları için gerekli dayanım
$F_{fu}$	: Kiriş başlıklarına gelen çekme kuvvet
$F_{nv}$	: Karakteristik kayma gerilmesi dayanımı
$F_{nt}$	: Karakteristik çekme gerilmesi dayanımı
$F_{t,Rd}$	: Her bir bulon sırasının maksimum dayanımı
$F_u$	: Yapısal çelik karakteristik çekme dayanımı
$F_y$	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
$F_{ys}$	: Süreklilik levhası malzemesi karakteristik akma gerilmesi
$H_{ort}$	: Düğüm noktasının üst ve alt kolon yüksekliklerinin ortalaması
$I_b$	: Kiriş atalet momenti
$K_{\phi}$	: Başlangıç dönme rijitliği
$K_{\phi,y}$	: Akma sonrası dönme rijitliği
$K_{\phi,p}$	: Plastik dönme rijitliği
$L_b$	: Bulon uzunluğu
$M_{c,Rd}$	: Basınç etkisindeki kiriş başlık ve gövdesinin moment dayanımı
$M_{fc}$	: Kolon başlığının eğilme momenti dayanımı

$M_{j,y}$	: Akma moment kapasitesi
$M_{j,Rd}$	: Plastik moment kapasitesi
$M_{np}$	: Bulon çekme dayanımı
$M_{pl,2,Rd}$	: Mod 2 için kolon başlığının eğilme momenti
$M_{uc}$	: Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme momenti
$M_{pr}$	: Plastik moment kapasitesi
$N$	: Burkulmanın olduğu bölgenin uzunluğu
$P_r$	: YDKT veya GKT yük birleşimleri için gerekli aksenal dayanım
$P_y$	: Kolon aksenal akma dayanımı
$R_{nt}$	: Karakteristik çekme kuvveti dayanımı
$Y_p$	: Alın levhası akma çizgisi mekanizması değişkeni
$Y_c$	: Kolon başlığı akma çizgisi mekanizması değişkeni
$W_{plx}$	: Kiriş x eksenine göre plastik mukavemet momenti
$\alpha_p$	: Kaynak dikiş kalınlığı
$b_{eff,c,wc}$	: Kolon gövdesi basınç bölgesinin etkili genişliği
$b_{eff,t,wb}$	: Kiriş gövdesinin çekmede etkili genişliği
$b_p$	: Alın levhası genişliği
$c$	: Kiriş başlığının üzerindeki bulondan kiriş başlığının altındaki bulon merkezine olan uzaklık
$d_b$	: Kiriş enkesit yüksekliği
$d_e$	: Bulon deliği merkezinden alın levhası kenarına olan uzaklık
$d_h$	: Bulon delik çapı
$f_{ub}$	: Bulon çekme dayanımı

$g$	: İki bulon arası yatay uzaklık
$h$	: Kolon net gövde yüksekliği
$h_i$	: Bulon ağırlık merkezleri ile giriş alt başlık merkezi arası uzaklık
$h_1$	: 1.bulonun ağırlık merkezi ile giriş alt başlık merkezi arası uzaklık
$h_2$	: 2.bulonun ağırlık merkezi ile giriş alt başlık merkezi arası uzaklık
$h_r$	: Basınç merkezi ve r. bulon sırasın ağırlık merkezi arası uzaklık
$k_c$	: Kolon başlığından gövde kaynağına olan mesafe
$k_{eff,r}$	: Etkili rijitlik katsayısı
$k_i$	: Her bir bulon sırası için hesaplanan rijitlik katsayıları
$k_{i,r}$	: r bulon sırasına ait i. birleşim rijitlik katsayısı
$l_c$	: Bulon deliğinin kenarı ile alın levhası kenarı arasındaki mesafe
$l_{eff,1}$	: Eğilme etkisindeki kolon başlığının etkili genişliği
$l_{eff,2}$	: Eğilme etkisindeki kolon başlığının etkili genişliği
$l_h$	: Plastik mafsalın kolondan olan uzaklığı
$n_b$	: Giriş başlığına gelen kuvveti karşılayan bulon sayısı
$p_{fi}$	: Giriş başlığının altındaki bulonun giriş başlığına olan mesafesi
$p_{fo}$	: Giriş başlığının üzerindeki bulonun giriş başlığına olan mesafesi
$r_c$	: Kolon iç yuvarlatma çapı
$s_f$	: Başlıklardaki kaynak kalınlığı
$t_{fb}$	: Giriş başlık kalınlığı
$t_p$	: Alın levhası kalınlığı
$t_s$	: Süreklilik levhası kalınlığı
$t_{wc}$	: Kolon gövde kalınlığı

- $z_{eq}$  : Eşdeğer moment kolu
- $w$  : İki bulon arasındaki yatay mesafe
- $\omega$  : Kolon gövdesinde kesme etkileşimini dikkate alan azaltma katsayısı
- $\rho$  : Levha burkulma azaltma katsayısı
- $Y_{M0}$  : Enkesit dayanımı için kısmi güvenlik katsayısı
- $Y_{M1}$  : Elemanların burkulmaya karşı dayanımı için kısmi güvenlik katsayısı
- $\lambda_p$  : Levha narinliği
- $\beta$  : Dönüşüm katsayısı

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge 2.1:</b> $\eta$ katsayısı .....	15
<b>Çizelge 3.1:</b> Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerin karakteristik akma gerilmesi ( $F_y$ ) ve çekme dayanımları ( $F_u$ ) .....	18
<b>Çizelge 3.2:</b> Bulonların karakteristik gerilme dayanımları (ÇYTHYE, 2016).....	19
<b>Çizelge 3.3:</b> Bulonların karakteristik akma-çekme dayanımları (ÇYTHYE, 2016) ...	19
<b>Çizelge 3.4:</b> Karakteristik delik boyutları,mm (ÇYTHYE, 2016) .....	20
<b>Çizelge 3.5:</b> Alın levhalı dört bulonlu birleşim detayı için uygulama sınırları .....	22
<b>Çizelge 4.1:</b> Kesme etkileşimi için azaltma faktörü .....	43
<b>Çizelge 4.2:</b> Rijitleştirilmemiş kolon başlığı etkili uzunlukları (a).....	49
<b>Çizelge 4.3:</b> Rijitleştirilmemiş kolon başlığı etkili uzunlukları (b) .....	49
<b>Çizelge 4.4:</b> Rijitleştirilmiş kolon başlığı etkili uzunlukları (a) .....	49
<b>Çizelge 4.5:</b> R Rijitleştirilmiş kolon başlığı etkili uzunlukları (b).....	50
<b>Çizelge 4.6:</b> Alın levhasının etkili uzunlukları (a) .....	53
<b>Çizelge 4.7:</b> Alın levhasının etkili uzunlukları (b) .....	53
<b>Çizelge 5.1:</b> Tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimlerin uygulama sınır kontrolleri .....	65
<b>Çizelge 6.1:</b> TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre sayısal çalışma dayanım sonuçları .....	95
<b>Çizelge 6.2:</b> Deneysel ve sayısal moment kapasitesi sonuçlarının karşılaştırılması .....	96
<b>Çizelge 6.3:</b> Bulon sıralarına göre rijitlik katsayıları .....	97



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 1.1</b>	: Birleşimin moment dönme ilişkisi .....	9
<b>Şekil 1.2</b>	: Kiriş kolon birleşim tipleri .....	10
<b>Şekil 1.3</b>	: Moment dönme diyagramları (Chen ve Toma, 1994).....	10
<b>Şekil 2.1</b>	: Başlangıç rijitliklerine göre sınıflandırmaya ait M- $\phi$ eğrisi.....	13
<b>Şekil 2.2</b>	: M- $\phi$ eğrisinin matematiksel ifadesi (Faella vd., 2000).....	14
<b>Şekil 2.3</b>	: Tek doğrulu M- $\phi$ eğrisi (Eurocode EN1993-1-8, 2005).....	15
<b>Şekil 2.4</b>	: Üç doğrulu M- $\phi$ eğrisi (Eurocode EN1993-1-8, 2005) .....	16
<b>Şekil 3.1</b>	: Alın levhalı dört bulonlu kolon kiriş birleşim detayı .....	21
<b>Şekil 3.2</b>	: Dört bulonlu alın levhalı birleşim akma çizgisi modeli (AISC 2003)...	26
<b>Şekil 3.3</b>	: Kiriş kolon birleşim detayında panel bölgesi .....	33
<b>Şekil 3.4</b>	: Kayma bölgesi takviye levha detayları (TBDY, 2018).....	35
<b>Şekil 3.5</b>	: Kiriş kolon birleşim detayı (TBDY, 2018).....	36
<b>Şekil 4.1</b>	: Kiriş-kolon birleşiminde elemanlar ve bölgeler .....	39
<b>Şekil 4.2</b>	: Birleşim tasarımında kullanılan elemanlar.....	40
<b>Şekil 4.3</b>	: Kesme kuvveti etkisindeki kolon gövdesi (EN 1993-1-8, 2005).....	41
<b>Şekil 4.4</b>	: Basınç kuvveti etkisindeki kolon gövdesi (EN 1993 1-8, 2005) .....	42
<b>Şekil 4.5</b>	: Çekme kuvveti etkisindeki kolon gövdesi (EN 1993-1-8, 2005).....	44
<b>Şekil 4.6</b>	: Eğilme etkisindeki kolon başlığı (EN 1993-1-8, 2005).....	46
<b>Şekil 4.7</b>	: Rijitleştirilmiş kolon başlığının ayrı T-stub olarak modellenmesi (EN 1993-1-8, 2005) .....	48
<b>Şekil 4.8</b>	: Eğilme etkisindeki alın levhası (EN 1993-1-8, 2005).....	50
<b>Şekil 4.9</b>	: Uzatılmış alın levhasının ayrı T-stub olarak modellenmesi (EN 1993-1-8, 2005) .....	52
<b>Şekil 4.10</b>	: Rijitleştirilmiş kolon başlığı ve alın levhası için $\alpha$ parametresi (EN 1993-1-8, 2005) .....	54
<b>Şekil 4.11</b>	: Basınç etkisindeki kiriş başlığı ve gövdesi (EN 1993-1-8, 2005).....	55
<b>Şekil 4.12</b>	: Çekme etkisinde kiriş gövdesi (EN 1993-1-8, 2005).....	56
<b>Şekil 4.13</b>	: Dört bulonlu alın levhalı bulonlu birleşimin yay modellemesi.....	57
<b>Şekil 5.1</b>	: Kiriş-kolon birleşim detayı.....	63
<b>Şekil 5.2</b>	: Kolon-kiriş birleşim detayına ait özellikler .....	64
<b>Şekil 5.3</b>	: Kiriş-kolon birleşim detayında verilen değerler.....	74
<b>Şekil 5.4</b>	: Kiriş-kolon birleşiminde çekme dayanımı değerleri .....	87
<b>Şekil 6.1</b>	: Tek taraflı düğüm noktası modellemesi .....	97

<b>Şekil 6.2</b> : Moment dönme grafiği.....	98
--	----

## KISALTMALAR

AISC	American Institute of Steel Construction
ÇYTHYE	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
EUROCODE	European Standarts
FEMA	Federal Emergency Management Agency
SAC	SEAOC, ATC ve CUREE'nin oluşturduğu Ortak Girişim
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

## GİRİŞ

Çelik yapısal sistemler diğer geleneksel yapı malzemeleriyle inşaa edilmiş yapı sistemlerine göre şiddetli depremler altında daha üstün performans göstermektedirler. Çelik yapıların üstün performansı, başlıca yüksek süneklik kapasitelerine, rijitliklerine, dayanımlarına ve tahmin edilebilir göçme özelliklerine dayandırılır. Çelik yapısal sistemler üstün mekanik özellikleri, ekonomik tasarım olanakları ve sürdürülebilir bir mazleme olaması nedeniyle depremselliği yüksek bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1994 yılında Amerika'da meydana gelen Northridge ve 1995 yılında Japonya'da meydana gelen Kobe depremlerine kadar moment aktaran çelik çerçevelerde kiriş- kolon birleşimleri olarak tamamen kaynaklı birleşim tipi tercih edilmiştir. Bu kiriş-kolon birleşim tipi en güvenilir depreme dayanıklı yapı sistemi olarak uzun yıllar boyunca kullanılmıştır. Ancak çelik çerçeve sistemleri 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde istenilen performansı gösterememiş ve kiriş kolon birleşimlerinde beklenilmeyen büyük hasarlar oluşmuştur. Özellikle tamamen kaynaklı birleşimlerin kaynaklarında ve kaynağa yakın çelik malzemede gevrek kırılmaların oluşması bu güveni oldukça zedelemiştir. Bu depremlerin sonucunda moment aktaran çelik çerçeve birleşimlerinin deprem davranışlarının belirlenmesi ve yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi amacıyla çok sayıda analitik ve deneysel araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların öncülerinden SAC Projeleri "SAC Joint Venture" (1995) kapsamında Amerika'da yürütülen çalışmalarda 1994 Northridge depreminde moment aktaran çelik çerçevelerde meydana gelen hasarların nedenleri araştırılmış ve hasarları en aza indirmek için yeni tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. SAC projelerinin bir bölümünde 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremleri sırasında gevrek kırılmaların gözlemlendiği tamamen kaynaklı kiriş-kolon birleşimlerine alternatif yeterli sünekliğe sahip birleşim tipleri araştırılmıştır. Burada geliştirilmiş olan birleşimler SAC (1995) ve FEMA 350 (2000) tasarım raporlarında ve AISC 358-16 (2016) yönetmeliğinde yer almıştır. Bu yönetmelik ve tasarım raporlarında verilen çeşitli bulonlu ve kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayları aynı şekilde Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) de yer almaktadır.

SAC Projeleri'nde (1995) özellikle araştırılan alternatif bağlantılardan birisi de alın levhalı bulonlu birleşimler tipi olmuştur. Alın levhalı bulonlu bir kiriş-kolon birleşimi, alın levhasının kirişe kaynaklanması ve bu sistemin kolona bulonlar ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Bu bağlantı tipi ayrıca iki kirişi birbirine bağlamak için

de kullanılmaktadır. Alın levhalı bulonlu birleşimler, tamamen kaynaklı birleşimlere göre daha az rijit olduklarından kiriş-kolon birleşim bölgelerinde daha sünek bir davranış sergileme imkanı sağlar. Alın levhalı bulonlu birleşimlerin kaynağı atölyede kontrollü koşullar altında yapıldığından, bu tür birleşimlerde yüksek kaliteli kaynakların elde edilmesi saha kaynaklı birleşimlere göre daha kolaydır. Ayrıca tamamen kaynaklı birleşimlere göre kolay imalat ve hızlı montaj avantajlarına imkanı sağlar.

## TEZİN AMACI

Gelişmiş ülkelerde, yapısal tasarım alanında meydana gelen gelişmelere paralel olarak, tasarım yönetmelikleri belirli aralıklarla yenilenmektedir. Buna karşılık TS 648 (1980) çelik yapılar standardında uzun yıllar herhangi bir revizyon ve iyileştirme yapılmamıştır. Buna karşın 2016 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın desteklediği proje ile, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE) hazırlanmış, 2016 Şubat ayında yayınlanarak 2016 Eylül ayında yürürlüğe girmiştir. Böylece TS 648 (1980) çelik yapılar tasarım standardı kullanım dışı kalmıştır. Bu gelişmelerden yararlanarak, Yeni Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) 2016 yılında yürürlüğe giren geçen Çelik Yapılar Yönetmeliği'ne uygun olarak hazırlanmıştır (Özer E, 2018).

Bu çalışmanın öncelikli amacı yenilenen Çelik Yapılar Yönetmeliği ve Deprem Yönetmeliği'ndeki tasarım esaslarının incelenerek alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin tasarımının gerçekleştirilmesidir. Daha sonra Eurocode 1993 1-8 (2005) Yönetmeliği'nde aynı birleşim tipi için verilen tasarım esasları incelenmiş ve tasarım Eurocode 1993 1-8 (2005) Yönetmeliği'ne göre tekrarlanmıştır. Bu çalışmada Türk (ÇYTHYE (2016), TBDY (2018) ve Avrupa Yönetmeliklerine göre ayrı ayrı hesaplanan alın levhalı bulonlu birleşimin tasarım sürecindeki farklılıklar incelenmiş ve detaylı olarak açıklanmış ve bu farklılıklar karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla TBDY (2018) yönetmeliğinde verilen kiriş-kolon birleşim tiplerinden alın levhalı bulonlu birleşim detayı seçilmiş ve her iki yönetmeliğe göre tasarımı süreçleri incelenmiştir. Seçilen alın levhalı bulonlu birleşim ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmeliklerine göre tasarlanmış ve moment kapasitesi belirlenmiştir. Daha sonra tasarlanan birleşimin kapasitesi ve rijitliği Eurocode 1993 1-8 (2005) yönetmeliğinde verilen elemana dayalı yöntemle göre hesaplanmıştır. Bu bağlamda TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'te alın levhalı bulonlu

birleşimler için verilen tasarım kuralları incelenip, bir örnek birleşim üzerinde TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre sayısal hesaplar yapılmış ve yönetmeliklerde verilen tasarım esasları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar daha sonra, literatürde deneysel olarak incelenen aynı tip alın levhalı bulonlu birleşim detay sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

## TEZİN AKIŐI

Ülkemizde alın levhalı bulonlu elik kiriş-kolon birleşimlerinin tasarlanması ve moment kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmelikleri ile Eurocode 1993 1-8 (2005) yönetmeliğini genel tasarım kullararı açısından incelenerek karŐılaŐtırılmıŐlardır. Tez çalıŐmasının birincii bölümünde çalışmanın amacı açıklanmış ve tezin organizasyonu verilmiştir. Ardından alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimleri ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalar incelenerek literatür özeti verilmiştir.

Tez çalıŐmasının birinci bölümünde kiriş-kolon birleşim tipleri verilmiştir. Günümüzde en sık kullanılan 7 birleşim tipi ifade edilerek, moment dönme grafiğinde yerleri belirtilmiştir.

Kiriş-kolon birleşimlerinin ve TBDY (2018) ve Eurocode 1993-1-8 (2005) yönetmeliklerine göre sınıflandırma Őartları, ikinci bölümde incelenmiştir. Bu bölüm iki kısma ayrılabilir. İlk kısımda, Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğinde kiriş – kolon birleşimlerinin birleşim kapasitesi ve birleşim rijitliğine göre yapılan sınıflandırılması açıklanmış. İkinci kısımda ise Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre kiriş-kolon birleşimlerinin modellenmesi hakkında bilgiler verilmiştir. Yönetmelikte belirtilen modeller arasından analitik model hakkında ayrıntılar anlatılmıŐtir.

Üçüncü bölümde TBDY (2018)'e göre alın levhalı bulonlu bir birleşimin tasarımı anlatılmıŐtir. Birleşim tasarımı yapılırken ÇYTHYE (2016) ve AISC 358-16 yönetmeliklerinin ilgili kısımları da ele alınmıŐtir. Bu bölümde yönetmeliklerde verilen denklemlere ek olarak Eurocode EN 1993-1-8 (2005) ile karŐılaŐtırmanın daha kolay yapılabilmesi için denklem dizilimi deđiŐtirilerek moment kapasitesi değerinin bulon, alın levhası, kolon başlığı ve kolon gövdesinin durumlarına göre TBDY (2018) için bulunması amalanmıŐtir. Bu bölümün sonunda TBDY (2018)'e göre tasarım aŐamaları akış Şemasında belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre alın levhalı bulonlu bir birleşimin tasarımı anlatılmıŐtir. Birleşimin tasarımı yapılırken Eurocode EN 1993-1-1 yönetmeliğinde ilgili kısımlar alınarak belirtilmiştir. Tasarımda kullanılan çizelgeler ve Őekiller Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'ten alınmıŐtir. Bu bölümde birleşimin moment kapasitesi ve rijitliği belirlenmesi anlatılmıŐtir. Bu bölümün sonunda Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre tasarım aŐamaları akış Şemasında belirtilmiştir.

Beşinci bölümde üçüncü ve dördüncü bölümde alın levhalı bulonlu birleşimler için anlatılan tasarım kuralları bir örnek üzerinde gösterilmiştir. Örnek olarak Nogueiro P. vd. (2006) çalışmalarında kullandıkları birleşim tipi kullanılmıştır. Bu birleşim tipine göre TBDY (2018) için moment kapasitesi, Eurocode EN 1993-1-8 (2005) için moment kapasitesi ve başlangıç rijitliği değerleri hesaplanmıştır.

Altıncı bölüm ise çalışmanın son bölümüdür. Bu bölümde beşinci bölümde elde edilen değerler ve çalışmada kullanılan yönetmelikler karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda sayısal olarak bulunan sonuçlar ile Nogueiro P. vd. (2006) çalışmalarında deneysel olarak buldukları sonuçlar karşılaştırılarak çalışmanın doğruluğu araştırılmıştır.



## LİTERATÜR ÖZETİ

Northridge depreminde kaynaklı kiriş-kolon birleşimlerinin beklenen performansı göstermemesi üzerine araştırmacı ve mühendislerin alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimlerine karşı ilgileri artmıştır. Son 50 yılda alın levhalı bulonlu birleşimlerin analiz ve tasarımı hakkında literatürde çok fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar özet olarak AISC Design Guide 4 (2003) ve AISC Design Guide 16 (2002)'da verilmiştir. Bu bölümde çelik yapıların alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimleri ile ilgili yapılan deneysel ve analitik bazı çalışmalar incelenerek sunulmuştur

Sherbourne vd. (1994) çalışmalarında kiriş-kolon birleşiminde alın levhası kalınlığının birleşimin toplam dönme değerine etkisini sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Analize göre alın levhası kalınlığının artması ile alın levhasının birleşimin toplam dönme değerine katkısının azaldığı görülmüştür.

Coelho vd. (2004) çalışmalarında bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşimlerinde alın levhası kalınlığının ve malzemesinin moment dönme grafiğine etkisini incelemiştir. Sonuçlara göre alın levhası kalınlığında olan artışın rijitlikte bir artışa ve dönme kapasitesinde bir azalmaya yol açtığı görülmektedir.

Maggi vd. (2005) çalışmalarında bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşimlerini hem sayısal hem de deneysel olarak incelemiştir. Buna göre bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşimlerinin parametrelerinden bulon çapı ve alın levhası kalınlığının rijitlik üzerinde etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre rijitlik değerlerinin tahmini sayısal çalışmada deneysel çalışmaya göre daha sınırlı olduğu görülmüştür.

Nogueiro P. vd. (2006) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin davranışını deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışma değişen kolon enkesit boyutlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Her bir gruptaki ilk deneyler monotonik yükleme altında diğer iki deney çevrimsel yükleme altında gerçekleştirilerek toplam altı adet deney yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar moment dönme grafiği üzerinde gösterilmiştir.

Mashaly vd. (2011) çalışmalarında monotonik ve çevrimsel yük etkisindeki uzatılmış alın levhalı kiriş-kolon birleşimin moment dönme davranışını ifade etmek için sonlu elemanlar modeli önermişlerdir. Birleşimin davranışını etkileyen geometrik ve malzeme değişkenleri önerilen üç boyutlu sonlu elemanlar modeliyle dikkate alınmıştır. Yazarlar yapmış oldukları sayısal çalışmalarını, literatürde yapılmış iki

deney sonucu ile doğrulamışlardır. Seçilen deneylerden bir tanesi monotonik yük etkisinde diğeri ise çevrimsel yük etkisindeki alın levhalı bulonu birleşimlere aittir. Çalışmanın sonucunda yazarlar önerilen sonlu elemanlar metodunun deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Prinz vd. (2013) çalışmalarında kolonda süreklilik ve takviye levhası kullanılmadan birleşimi bulonlar ile güçlendirmeyi amaçlamıştır. Buna göre kolon gövdesinin her iki tarafında birden fazla bulon kullanılarak kiriş-kolon birleşiminin güçlendirilmesini deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir. Buna göre bir sırada birden fazla bulon kullanılmasının moment kapasitesini artırdığı fakat dönme kapasitesini azalttığı görülmüştür.

Kaushik vd. (2013) bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşimlerini sonlu eleman modeli oluşturarak ANSYS programında analiz etmiştir. Çalışmada birleşimin davranışında bulonların öngerilmesinin etkisi araştırılmıştır.

Raafat vd. (2014) bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşiminin sonlu elemanlar modelini oluşturarak, birleşimi oluşturan malzeme ve geometik değerleri ABAQUS programı ile analiz etmiştir. Buna göre uzatılmış alın levhası ile berkitme levhaları kullanıldığında maksimum plastik momentin %60-90, başlangıç rijitliğinin ise %140 arttığı görülmüştür. Berkitme levhasının açısını 30°'den 60°'ye yükseltmek plastik momentini %8-19, başlangıç rijitliğini ise %9-12 artırdığı görülmüştür. Birleşimde süreklilik levhası kullanılması ve bulon çapının 20-24mm olması ile maksimum plastik momentin %14, başlangıç rijitliğinin ise %63 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Shaker vd. (2014) bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşimlerine ait alın levhası kalınlığı, alın levhasının tipi ve bulon çapı gibi parametrelerin birleşimin rijitliğine olan etkilerini incelemiştir. Çalışmada ANSYS programı kullanılmıştır. Kısaltılmış alın levhalı birleşimlerde bulon çapı ve alın levhası kalınlığının artmasıyla maksimum dönme değerinin azaldığı görülmüştür. Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde bulon çapı ve alın levhası kalınlığının artmasıyla maksimum dönme değerinin arttığı görülmüştür. Uzatılmış alın levhalı birleşimlerin moment kapasitesi, bulon çapı ve alın levhası kalınlığından, kısaltılmış alın levhalı birleşimlere göre daha fazla etkilenmektedir.

Tartaglia vd. (2018) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı bulonlu birleşimleri döngüsel yükleme altında hem AISC hem de Avrupa yönetmeliklerine göre tasarlamış ve incelemişlerdir. AISC 358-16 ve AISC 341-16 yönetmelikleri

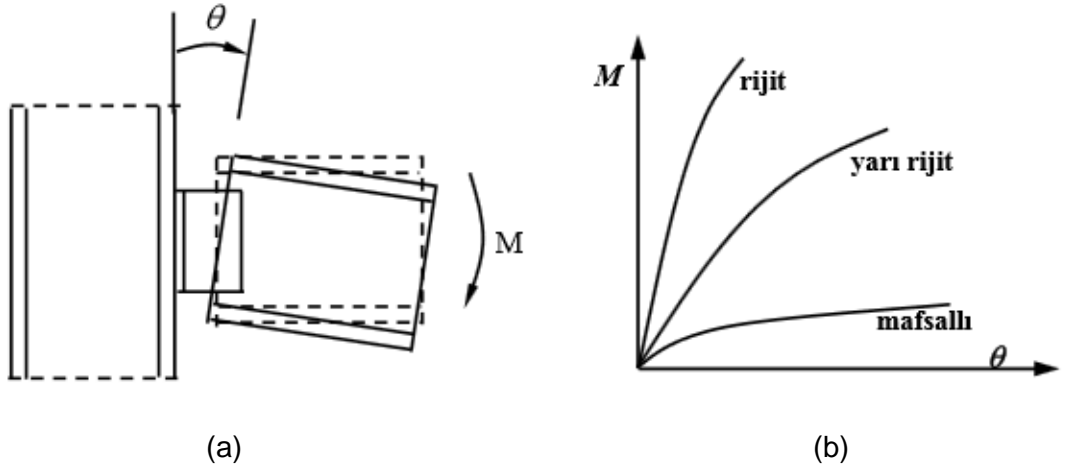
kullanılmıştır. Kullanılan örneklerde değişim parametresi olarak bulon sayılarının farklılığı amaçlanmıştır. Çalışmaya göre bulon sayılarının farklı olmasına rağmen her iki yönetmeliğe göre oluşturulan moment dönme grafikleri benzerlik göstermiştir. Buna ek olarak Avrupa yönetmeliğine göre tasarlanan kiriş-kolon birleşimlerinin daha büyük dönme kapasitesine ve daha sünek davranışa sahip oldukları görülmüştür.

Liang vd. (2020) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı kiriş-kolon birleşimlerinin sonlu elemanlar analizini yapmıştır. Kiriş-kolon birleşim parametreleri olan bulon çapı, alın levhası kalınlığı ve kesme kuvvetlerinin rijitlik üzerinde etkileri incelenmiştir. Bu çalışmaya göre panel bölgesi kesme kuvvetinin birleşimin rijitliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

## 1. KIRIŞ KOLON BİRLEŞİM TIPLERİ

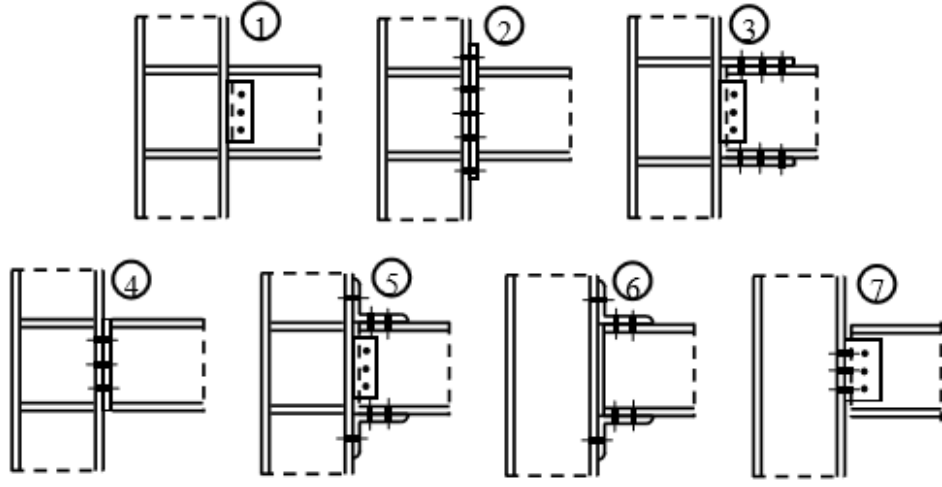
Kiriş-kolon birleşimleri, birleşim tipine ve birleşimin parametrik değerlerine göre değişik moment-dönme grafikleri oluştururlar. Birleşimlerin rijitlik ve kapasite değerleri, berkitme levhası kalınlığı, alın levhası kalınlığı, birleşimi oluşturan kiriş-kolon boyutları ve bulon çapı gibi geometrik parametrelere bağlıdır.

Çelik çerçeve sistemlerinin analiz ve tasarımı yapılırken, kiriş-kolon birleşim bölgeleri mafsallı veya rijit olarak kabul edilmektedir. Rijit kabul edilen birleşimlerde, momentler elemanların rijitlikleri ile orantılı bir biçimde dağıtılır. Mafsallı kabul edilen birleşimlerde ise kiriş uçlarında moment aktarımı gerçekleşmez ve görelî dönme olur. Fakat tasarımı rijit ya da mafsallı olarak kabul edilen birleşimlerin analizlerinde, yapının gerçek davranışına göre farklılıklar çıkmaktadır. Gerçek analizlerde birleşimler ne tam mafsallı ne de tam rijittir. Şekil 1.1 (a)'da birleşime uygulanan  $M$  moment değeri ve  $\theta$  görelî dönme değeri. Bu değerlere göre Şekil 1.1 (b)'de ise birleşimin davranışı moment dönme diyagramı ile gösterilir.



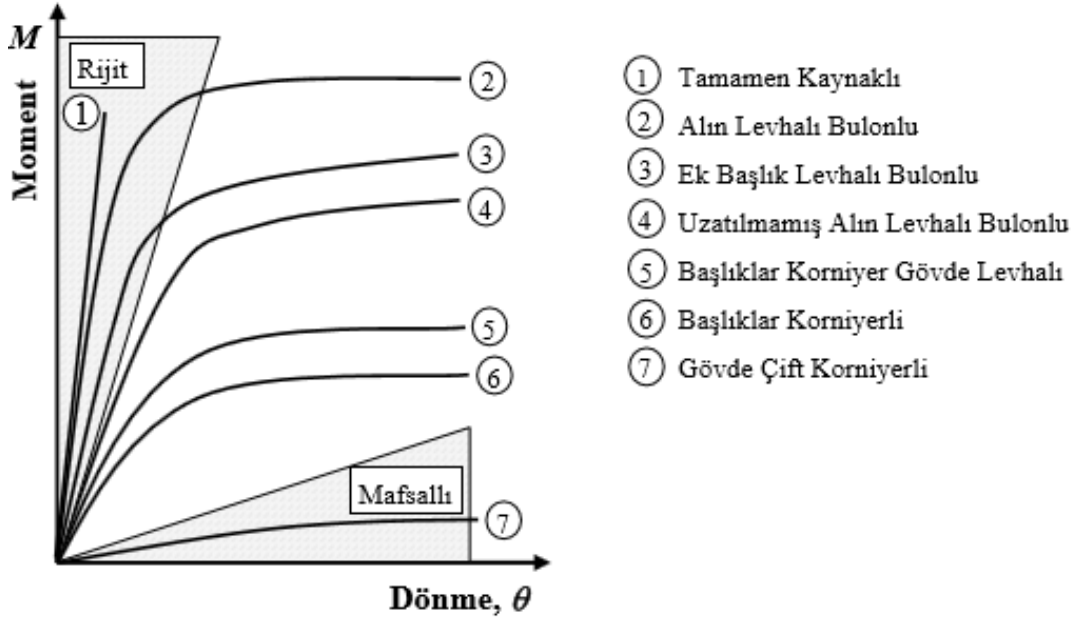
Şekil 1.1: Birleşimin moment dönme ilişkisi

Günümüzde çelik yapılarda en sık kullanılan 7 birleşim tipi Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Bu birleşim tiplerinden bazılarının davranışları rijit, yarı rijit ve mafsallı olarak kabul edilir. Tamamen kaynaklı birleşimler (1) çok rijit olduklarından, rijit birleşim olarak kabul edilir. Korniyerli birleşimler (7) ise narin davranış gösterdikleri için mafsallı birleşim olarak adlandırılırlar. Bunların dışındaki birleşimler ise yarı rijit birleşimler olarak kabul edilir.



**Şekil 1.2:** Kiriş kolon birleşim tipleri

Birleşimlerin davranışları moment dönme ( $M-\theta$ ) ilişkisi ile tanımlanır. Çelik yapılarda sıklıkla kullanılan birleşimlerin moment dönme ilişkileri Şekil 1.3'de verilmiştir. Rijit ve mafsallı birleşimlerin arasında olan yarı rijit birleşimler doğrusal olmayan moment dönme ilişkisine sahiptir. Birleşimin doğrusal olmayan davranışı birçok parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerden bazıları birleşimi oluşturan elemanların malzeme özellikleri ve elemanlardaki akma durumlarıdır. Elemanlar arasında sünek olan birleşimin daha büyük dönme kapasitesine sahiptir.



**Şekil 1.3:** Moment dönme diyagramları (Chen ve Toma, 1994)

## 2. KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Bu bölümde kiriş kolon birleşimleri çeşitli parametrelere bağlı olarak TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'e göre sınıflandırılması incelenmiştir. Literatürde ve yönetmeliklerde birleşimlerin sınıflandırılması genellikle birleşimin rijitliğine ve taşıma kapasitesine göre yapılmaktadır.

### 2.1 TBDY (2018)'E GÖRE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

TBDY (2018)'de kiriş-kolon birleşimlerinin sınıflandırılmasına ait bir bilgiye rastlanılmamıştır.

### 2.2 EUROCODE EN 1993 1-8 (2005)'E GÖRE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Kiriş kolon birleşimleri Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'de kullanıldıkları taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak birleşimin kapasitesine ve rijitliğine bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

#### 2.2.1 Birleşim Kapasitesine Göre Sınıflandırma

Kiriş kolon birleşimleri birleşim kapasitesine göre 3 sınıfa ayrılır.

##### (a) Mafsallı birleşim

Kiriş kolon birleşiminin plastik moment taşıma kapasitesi, rijit birleşim olması için gereken değer olan yani kirişin plastik moment kapasitesinin %25'inden daha küçükse birleşim mafsallı olarak adlandırılır.

##### (b) Rijit birleşim

Kiriş kolon birleşiminin plastik moment taşıma kapasitesi, birleşimi oluşturan kiriş veya kolon plastik moment taşıma kapasitesine eşit veya daha büyükse birleşim rijit olarak adlandırılır. Bu tip birleşimlerde plastik mafsal kirişte oluşur.

##### (c) Kısmi dayanımlı birleşim

Kiriş kolon birleşiminin plastik moment taşıma kapasitesi, yukarıda açıklanan iki değer arasında kalıyorsa, birleşim kısmi dayanımlı olarak adlandırılır.

### 2.2.2 Birleşim Rijitliğine Göre Sınıflandırma

Kiriş kolon birleşimleri Şekil 2.1'de gösterilen başlangıç rijitliklerine göre 3 sınıfa ayrılmaktadır.

#### (a) Mafsallı birleşim

Bu birleşimin, moment aktaran çelik çerçevelerdeki başlangıç rijitliği  $0.5EI_b/L_b$  değerinden daha küçükse, birleşim mafsallı olarak adlandırılır. Bu tür birleşimlerde, birleşimi oluşturan elemanlardan kiriş ve kolon arasında moment aktarımı olmadığı fakat rölatif dönmenin olduğu kabul edilir.

Burada;

E : Kiriş elastisite modülü

$I_b$  : Kiriş atalet momenti

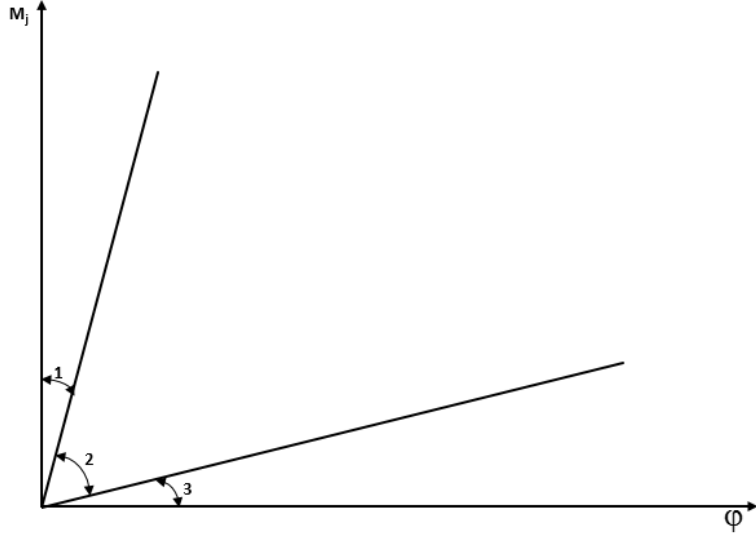
$L_b$  : Kolon aksları arasında kalan kiriş açıklığı

#### (b) Rijit birleşim

Bu birleşimin, moment aktaran çelik çerçevelerdeki başlangıç rijitliği  $25EI_b/L_b$  değerinden daha büyükse, birleşim rijit olarak adlandırılır. Bu tür birleşimlerde birleşen elemanlar arasında moment, rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılır. Burada kiriş kolon arasında rölatif dönme yoktur.

#### (c) Yarı rijit birleşim

Bu birleşimin, moment aktaran çelik çerçevelerdeki başlangıç rijitliği, yukarıda verilen iki değer arasında ise birleşim yarı rijit olarak kabul edilir. Bu tür birleşimlerde moment aktarımı ve rölatif dönme var kabul edilir.



**Şekil 2.1:** Başlangıç rijitliklerine göre sınıflandırmaya ait  $M-\varphi$  eğrisi

Şekil 2.1'de görülen bölgeler birleşimlerin rijitliklerine göre sınıflandırmasını temsil etmektedir. Buna göre ;

- 1.bölge : Rijit birleşimler
- 2.bölge : Yarı rijit birleşimler
- 3.bölge : Mafsallı birleşimler olarak adlandırılır.



## 2.3 EUROCODE EN 1993 1-8 (2005)'E GÖRE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN MODELLENMESİ

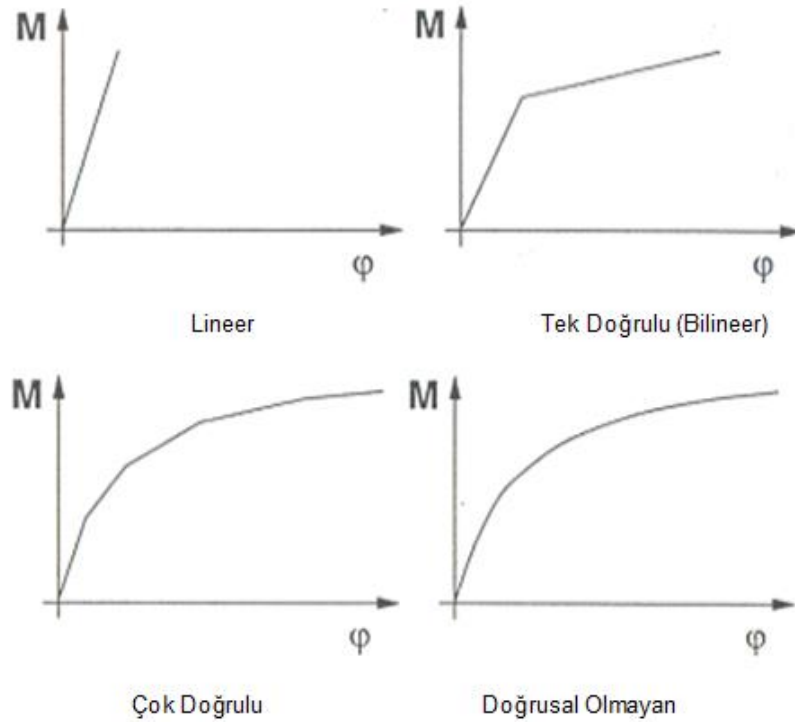
Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'e göre kiriş-kolon birleşimlerin davranışlarının belirlenmesi ve modellenmesi 3 farklı yöntem kullanılarak yapılır. Bunlar;

- i. Analitik modeller
- ii. Mekanik modeller
- iii. Sonlu eleman modelidir.

Kiriş-kolon birleşim bölgelerine ait moment-dönme eğrilerinin doğru şekilde modellenmesi yapılan analizlerin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Tezin bu bölümünde moment-dönme eğrilerinin belirlenmesinde kullanılan analitik modelleme anlatılmıştır.

### 2.3.1 Moment-Dönme Eğrisinin Analitik Model İle Belirlenmesi

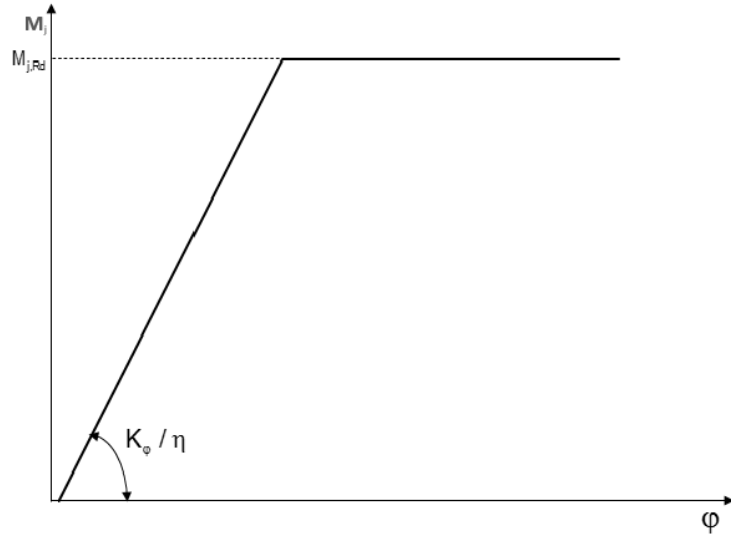
Çalışmada kullanılan kiriş-kolon birleşiminin  $M-\phi$  eğrisi istenilen hassasiyete göre sırayla doğrusal (lineer), tek doğrulu (bilineer), çok doğrulu (multilineer) veya doğrusal olmayan (nonlineer) olarak kullanılabilir.  $M-\phi$  eğrileri Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2:  $M-\phi$  eğrisinin matematiksel ifadesi (Faella vd., 2000)

Şekil 2.2'ye göre bir birleşimin moment-dönme eğrisini en basit ifade etmek için doğrusal model kullanılır. Doğrusal model için tek bir rijitlik değerinin bulunması yeterlidir ancak bu durum bulunan moment-dönme eğrisinin daha az hassasiyette olmasına sebep olur. Daha hassas bir hesap yapmak istenildiğinde çok doğrusal veya doğrusal olmayan model kullanılabilir. Bu durumda karmaşık gale gelen matematiksel ifadeden dolayı yapısal analiz programının yükü artar.

Bu tezde kiriş kolon birleşim davranışının modellenmesinde Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'de verilen tek doğrusal ve üç doğrusal modellemeler kullanılmıştır. Şekil 2.3'te moment dönme ilişkisi görülen tek doğrusal model hesabında elastik-plastik analiz kullanılır. Tek doğrusal moment dönme eğrisi birleşimin plastik moment kapasitesi ve başlangıç rijitliğine bağlı olarak çizilir.



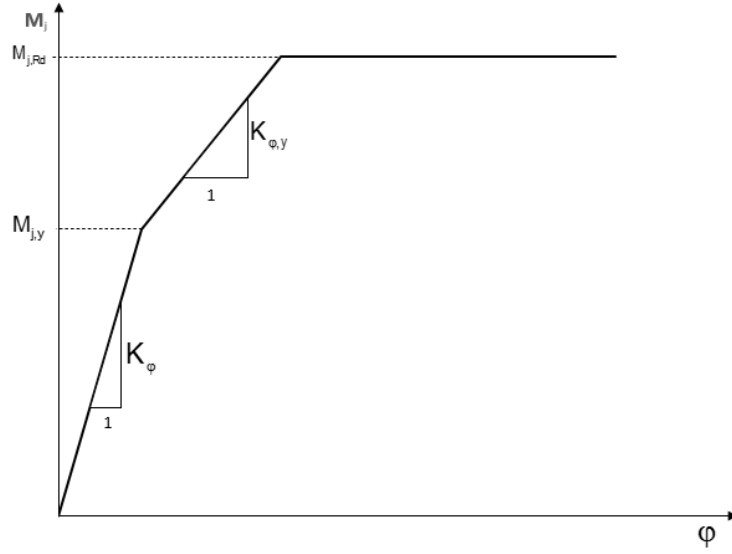
**Şekil 2.3:** Tek doğrusal M- $\phi$  eğrisi (Eurocode EN1993-1-8, 2005)

Tek doğrusal moment dönme eğrisinde kullanılan rijitlik değiştirme katsayısı  $\eta$  birleşim tiplerine bağlı olarak Çizelge 2.1'de verilen şekilde belirlenir.

**Çizelge 2.1:**  $\eta$  katsayısı

Birleşimin tipi	Kiriş-kolon birleşim noktası	Diğer birleşim noktası tipleri
Kaynaklı	2	3
Bulonlu alın levhalı	2	3
Bulonlu başlık korniyerli	2	3,5

Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'de tanımlanan üç doğrusu modellemenin birleşimlerin davranışını ideal ve doğru şekilde ifade ettiği birçok deneysel ve analitik çalışmada gösterilmiştir. Şekil 2.4'de verilen üç doğrusu moment dönme ilişkisini tarifleyebilmek için beş parametreye ihtiyaç vardır. Parametrelerden üçü, birleşim tipine bağlı olan basit matematiksel bağıntılarla diğer iki parametreden elde edilir. Gerekli olan bu iki parametre, birleşimin başlangıç rijitliği ve plastik moment kapasitesidir.



**Şekil 2.2:** Üç doğrusu M- $\phi$  eğrisi (Eurocode EN1993-1-8, 2005)

Burada kullanılan parametreler;

$K_{\phi}$  : Başlangıç dönme rijitliği

$M_{j,y}$  : Akma moment kapasitesi

$K_{\phi,y}$  : Akma sonrası dönme rijitliği

$M_{j,Rd}$  : Plastik momenti kapasitesi

$K_{\phi,p}$  : Plastik dönme rijitliğidir.

Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'te üç doğrusu moment dönme ilişkisini birleşimin başlangıç rijitliği ve plastik moment kapasitesini kullanarak basit matematiksel bağıntılarla elde edilir. Diğer üç parametrenin hesaplanma adımları aşağıda açıklanmıştır.

Başlangıç rijitliği ve plastik moment kapasitesi bilinen birleşimin akma moment kapasitesi Denklem 2.1 kullanılarak belirlenir.

$$M_{j,y} = \frac{2}{3} \times M_{j,Rd} \quad (2.1)$$

Birleşimin akma sonrası dönme rijitliği ise Denklem 2.2 ile belirlenir.

$$K_{\phi,y} = \frac{K_{\phi}}{3 \times \left[ 1,5^{\xi} - \frac{2}{3} \right]} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de verilen  $\xi$  katsayısı kaynaklı ve bulonlu alın levhalı birleşimler için  $\xi = 2,7$  olarak Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'te ifade edilmiştir.

### 3.TBDY 2018 YÖNETMELİĞİNE GÖRE ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİM TASARIMI

Bu bölümde alın levhalı bulonlu kolon-kiriş birleşiminin tasarım detayları TBDY (2018) ve ÇYTHYE (2016) yönetmeliklerine göre incelenecektir. Birleşime ait elemanların geometrik sınırları, kapasite kontrolleri ve birleşimin moment kapasitesi hesaplanacaktır. Çalışma sonucunda oluşturulan TBDY (2018)'e göre alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin tasarımı akış şeması olarak Eklerde verilmiştir.

#### 3.1 MOMENT AKTARAN ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİMİN BOYUTLANDIRILMASI

Bu bölümde alın levhalı bulonlu kiriş kolon birleşimlerinin Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'de verilen tasarım boyutlandırılması için ifade edilen esaslar özetlenmiş ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları (ÇYTHYE, 2016) ve AISC yönetmeliklerinin ilgili kısımları incelenerek tasarım süreçleri belirlenmiştir.

##### 3.1.1 Birleşen Elemanların Malzeme Özellikleri Belirlenmesi

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan yapısal çelik malzemelerin karakteristik akma gerilmeleri  $F_y$  ile karakteristik çekme dayanımları  $F_u$ , sıcak haddelenerek üretilmiş çelik profil ve levhalar için ÇYTHYE (2016)' da detaylı olarak verilmiş ve Çizelge 3.1'de kısaca özetlenmiştir.

**Çizelge 3.1:** Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerin karakteristik akma gerilmesi ( $F_y$ ) ve çekme dayanımları ( $F_u$ )

Standartlar ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t(mm)			
	t≤40mm		40mm≤t≤80mm	
	$F_y(N/mm^2)$	$F_u(N/mm^2)$	$F_y(N/mm^2)$	$F_u(N/mm^2)$
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	450	550	410	550

Birleşimi oluşturan elemanlardan kolon ve kirişlerde kullanılan çelik sınıfı belirlendikten sonra kesit özelliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Kolon ve kiriş profil enkesit seçimlerinde IPE, IPN, HEA, HEB ve HEM profilleri kullanılabilir.

Birleşimi oluşturan elemanlardan birisi de bulonlardır. Bulonlar ÇYTHYE (2016)'a göre normal bulonlar ve yüksek dayanımlı bulonlar olarak ikiye ayrılır. Yönetmeliğe göre 4.6, 4.8, 5.6, 5.8 ve 6.8 bulon sınıfları normal bulon olarak 8.8 ve 10.9 bulon sınıfları ise yüksek dayanımlı bulonlar olarak adlandırılır. Bulon sınıfına göre bulonların karakteristik gerilme dayanımları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Bulonların karakteristik gerilme dayanımları (ÇYTHYE, 2016)

Bulon Sınıfı	Diş Açılmış Gövde Bölümünün Konumu	Karakteristik Çekme Gerilmesi Dayanımı, $F_{nt}$ (MPa) <sup>a</sup>	Karakteristik Kayma Gerilmesi Dayanımı, $F_{nv}$ (MPa) <sup>a</sup>
4.6 <sup>c</sup>	-	300	180
4.8 <sup>c</sup>	-	300	180
5.6 <sup>c</sup>	-	375	225
5.8 <sup>c</sup>	-	375	225
6.8 <sup>c</sup>	-	450	270
8.8	Kayma düzlemi içinde	600	360
	Kayma düzlemi dışında		450
10.9	Kayma düzlemi içinde	750	450
	Kayma düzlemi dışında		563

<sup>a</sup>=Yorulma yüklemesi altında çekme etkisindeki yüksek dayanımlı bulonlar için ÇYTHYE Ek 2'ye bakınız.  
<sup>b</sup>=Doğrudan eksenel yük etkisindeki bir birleşim uzunluğunun 950mm'yi aşması halinde, çizelgedeki  $F_{nv}$  değerleri %15 oranında azaltılacaktır.  
<sup>c</sup>=Birleşimin kalınlığı bulon çapının 5 katını aştığında, aşan her 2 mm için normal bulonların çizelgede verilen değerleri %1 oranında azaltılmalıdır.

Bulon sınıfına göre bulonların karakteristik akma ve çekme dayanımları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3:** Bulonların karakteristik akma ve çekme dayanımları (ÇYTHYE, 2016)

Bulon Sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$F_{yb}$ (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
$F_{ub}$ (Mpa)	400	400	500	500	600	800	1000

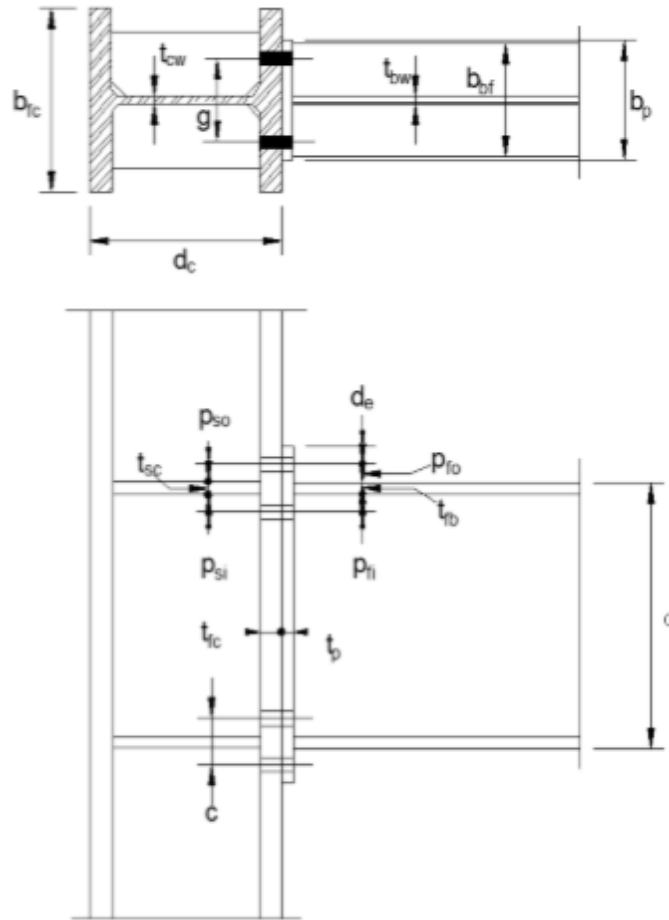
Yukarıda verilen çizelgeler kullanılarak birleşimlerde kullanılan bulonların sınıfı ve bulon çapları belirlenebilir. Bunlara ek olarak ÇYTHYE (2016) yönetmeliği kullanılan bulon çaplarına bağlı olarak elemanlarda açılacak delik çaplarını delik tiplerine bağlı olarak vermiştir. Çizelge 3.4'de delik tiplerine göre verilen karakteristik delik boyutları görülmektedir. ÇYTHYE (2016) yönetmeliğinde bulon delik boyutları ve uygulama koşulları detaylı olarak açıklanmıştır.

**Çizelge 3.4:** Karakteristik delik boyutları, mm (ÇYTHYE, 2016)

<b>Bulon</b>	<b>Delik Boyutları</b>			
	<b>Standart Dairesel Delik Çapları</b>	<b>Büyük Dairesel Delik Çapları</b>	<b>Kısa Oval Delik (Genişlik x uzunluk)</b>	<b>Uzun Oval Delik (Genişlik x uzunluk)</b>
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	26	30	26 x 32	26 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥M36	d+3	d+8	(d+3) x (d+10)	(d+3) x 2,5*d

### 3.1.2 Birleşen Elemanların Geometrisinin Uygulama Sınırları İle Karşılaştırılması

TBDY (2018) yönetmeliği moment aktaran çelik çerçevelerde kullanılmak üzere yeterlilikleri deneysel ve analitik yöntemlerle kanıtlanan üç farklı tip alın levhalı bulonlu kiriş kolon birleşim detayı vermiştir. Bu birleşim tiplerinden bu çalışmada kullanılan alın levhalı dört bulonlu kiriş kolon birleşim detayı ve geometrik değerleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Alın levhalı dört bulonlu kolon kiriş birleşim detayı

TBDY (2018) yönetmeliği bu tip kiriş-kolon birleşimlerinin davranışında belirleyici olan sınır durumlar olarak kiriş enkesitinin eğilme etkisinde akmaya ulaşması, alın levhasının eğilme etkisinde akmaya ulaşması, kolon panel bölgesinin akmaması, çekme etkisindeki bulonların kopması, kayma etkisindeki bulonların kırılması veya kaynaklı birleşim bölgelerinde kırılmalar meydana gelmesini vermiştir.



TBDY (2018) yönetmeliğinde bu birleşim detayının süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çerçevelerin birleşimlerinde kullanılabilmesi için uyulması gereken sınırlar Çizelge 3.5'de verilmiştir.

**Çizelge 3.5:** Alın levhalı dört bulonlu birleşim detayı için uygulama sınırları

Birleşim Detayı Özellikleri	Uygulama Sınırları
Plastik mafsalın kolon yüzünden uzaklığı, $l_h$	$\min(d_b / 2, 3b_f)$
Alın levhası kalınlığı, $t_p$	$12 \text{ mm} \leq t_p \leq 60 \text{ mm}$
Alın levhası genişliği, $b_p$	$160 \text{ mm} \leq b_p \leq 300 \text{ mm}$
Bulonlar arasındaki yatay uzaklık, $g$	$100 \text{ mm} \leq g \leq 155 \text{ mm}$
$p$ ( $p_{fi}$ ve $p_{fo}$ )	$40 \text{ mm} \leq p_{fi} \leq 115 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} \leq p_{fo} \leq 115 \text{ mm}$
Kiriş enkesit yüksekliği, $d_b$	$270 \text{ mm} \leq d_b \leq 1400 \text{ mm}$
Kiriş başlık kalınlığı, $t_{fb}$	$10 \text{ mm} \leq t_{fb} \leq 25 \text{ mm}$
Kolon enkesit yüksekliği, $d_c$	$d_c \leq 920 \text{ mm}$
Bulon sınıfı	8.8, 10.9
Alın levhası malzeme sınıfı	S275, S355
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

### 3.1.3 Gerekli Bulon Çapının Belirlenmesi ( $d_b$ )

Alın levhalı bulonlu birleşimlerde gerekli bulon çapı Denklem 3.1 ile belirlenir.

$$d_{b,gerekli} = \sqrt{\frac{2 \times M_{uc}}{\pi \times \phi \times F_{nt} \times (h_1 + h_2)}} \quad (3.1)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,90)

$F_{nt}$  : Bulon karakteristik çekme gerilmesi dayanımı

$h_1$  :  $h_1$  ve  $h_2$  değerleri sırasıyla 1. ve 2. sıra bulon merkezlerinin kiriş alt başlığına olan uzaklığı

$M_{uc}$  : Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme momenti

Bulon çapı kontrollerinde  $d_{b,gerekli} \leq d_b$  eşitliğinin sağlanması gerekir.

### 3.1.4 Bulonların Çekme Dayanımı

Bulonların çekme dayanım kapasitesi aşağıda verilen Denklem 3.2 ile belirlenmiştir.

$$\phi \times M_n = 2 \times R_{nt} \times A_b \times \sum_{i=1}^N h_i \quad (3.2)$$

Burada;

$h_i$  :  $h_1$  ve  $h_2$  değerleri sırasıyla 1. ve 2. sıra bulon merkezlerinin kiriş alt başlığına olan uzaklığı

$A_b$  : Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı. (Denklem 3.5)

$R_{nt}$  : Karakteristik çekme kuvveti dayanımı.

$$R_{nt} = F_{nt} \times A_b \quad (3.3)$$

Burada  $\phi \times M_n > M_{uc}$  eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Eşitlik kullanılarak plastik moment kapasitesinin en büyük değeri hesaplanır. Bu eşitlik sağlanmadığı takdirde birleşimde kullanılan bulon çapının (d) boyutu artırılır ve eşitlik sağlanıncaya kadar Denklem 3.2 tekrarlanmalıdır.

### 3.1.5 Bulonların Kesme Dayanımı

Birleşimin basınç bölgesindeki bulonlarında kesme kapasitesi kontrolü sağlanması AISC 358 (2016)'da tanımlanan ifadesiyle bulon kesme kuvvetinin kolon yüzündeki kesme kuvvetinden büyük olması durumu olarak belirtilmiş ve Denklem 3.4 ile verilmiştir.

$$\phi_n \times R_n = \phi_n \times n_b \times F_{nv} \times A_b \quad (3.4)$$

Burada;

$\phi_n$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,75)

$F_{nv}$  : Alın levhası karakteristik kesme gerilmesi

$n_b$  : Kiriş başlığına gelen kuvveti karşılayan bulon sayısı

$A_b$  : Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı. Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanır.

$$A_b = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (3.5)$$

Yapılan hesaplar sonucunda  $\phi \times R_n > \frac{M_{uc} - M_{pr}}{\ell_h}$  eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Bulonların kesme kapasitesi durumuna göre moment kapasitesinin maksimum değerinin bulunması için eşitliğin düzenlenmesi gerekir.

Denklem 3.6'da eşitliğin düzenlenmiş hali verilmiştir. Düzenlenen denklem ile moment kapasitesinin en büyük değeri belirlenir.

$$M_{uc} \leq \phi \times R_n \times \ell_h + M_{pr} \quad (3.6)$$

Burada;

$M_{pr}$  : Plastik moment kapasitesi

$\ell_h$  : Plastik mafsalin kolona olan uzaklığı  $\min(d_b / 2, 3b_f)$  denklemi ile hesaplanır.

Yukarıda verilen eşitlik sağlanmadığı takdirde bulon çapının (d) boyutu artırılır ve eşitlik sağlanıncaya kadar Denklem 3.4 tekrarlanır.

### 3.1.6 Bulon Deliği Ezilme Dayanımı

ÇYTHYE (2016) yönetmeliğine göre bulon deliğinin karakteristik ezilme kuvveti dayanımı gelen yükten bağımsız olarak aşağıda verilen bulon deliklerine sahip olan birleşimler için Denklem 3.7a ve 3.7b ile hesaplanır.

- Standart dairesel delik
- Büyük dairesel delik
- Kısa oval delik
- Uzun oval delik

(a) Bulon deliğinin oval form alması sınır durumu

$$\phi \times R_n = \phi \times 2,4 \times d_h \times t_p \times F_u \quad (3.7a)$$

(b) Birleşen elemanların kesme etkisinde kırılması sınır durumu

$$\phi \times R_n = \phi \times 1,2 \times \ell_c \times t_p \times F_u \quad (3.7b)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,75)

$d_h$  : Bulon delik çapı

$t_p$  : Alın levhası kalınlığı

$F_u$  : Kolon karakteristik çekme gerilmesi

$l_c$  : Bulon deliğinin kenarı ile alın levhası kenarı arasındaki mesafe ve Denklem 4.8 ile hesaplanır.

$$l_c = d_e - \frac{d_h + 2}{2} \quad (3.8)$$

Burada  $d_e$  bulon deliği merkezinden alın levhası kenarına olan uzaklıktır.

Burada  $\sum \phi \times R_n > \frac{M_{uc} - M_{pr}}{l_h}$  eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Bulon

deliğinin ezilme kapasitesi durumuna göre moment kapasitesinin maksimum değerinin bulunması için eşitliğin düzenlenmesi gerekir. Denklem 3.9'da eşitliğin düzenlenmiş hali verilmiştir. Düzenlenen denklem ile moment kapasitesinin en büyük değeri belirlenir.

$$M_{uc} \leq \sum \phi \times R_n \times l_h + M_{pr} \quad (3.9)$$

Eşitliğin sağlanamaması durumunda alın levhası kalınlığı  $t_p$  değeri ya da kolon kesiti büyütülerek hesap tekrarlanır.

### 3.1.7 Gerekli Alın Levhası Kalınlığının Belirlenmesi ( $t_p$ )

Alın levhasında eğilmeden kaynaklanan akmaları önlemek için gerekli alın levhası kalınlığı Denklem 3.10 kullanılarak belirlenir.

$$t_{p,gerekli} = \sqrt{\frac{1,11 \times \phi \times M_{np}}{\phi_b \times F_y \times Y_p}} \quad (3.10)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,90)

$\phi_b$  : 0,90

$F_y$  : Alın levhası karakteristik akma dayanımı

$M_{np}$  : Bulon çekme dayanımı

$Y_p$  : Alın levhası akma çizgisi mekanizması değişkeni

AISC Tasarım Raporu 4 (2003)'de rijitleştirilmemiş uzatılmış alın levhalı bulonlu birleşimler için akma çizgisi mekanizma değişkeni Denklem 3.11' ile tanımlanmıştır.

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_2 \times \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \times \left( \frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} \times \left[ h_2 \times (p_{fi} + s) + h_1 \times (d_e + p_{fo}) \right] \quad (3.11)$$

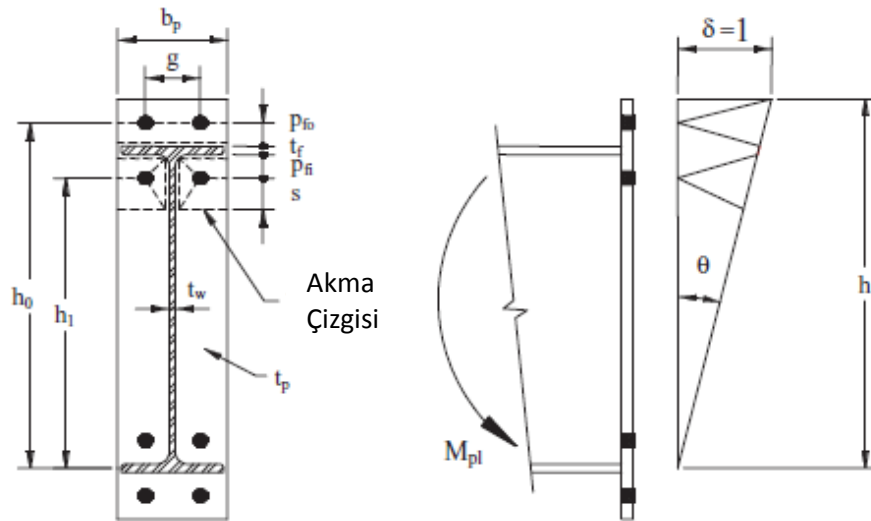
Denklem 3.11'de kullanılan s değeri aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p \times g} \quad (3.12)$$

Burada  $b_p$  alın levhası genişliği ve g iki bulon arası yatay uzaklığıdır.

Alın levhası akma çizgisi mekanizmasının daha kolay anlaşılabilmesi için akma çizgisi yöntemi kısaca açıklanmıştır. Akma çizgileri, plastik mafsalların bir doğru veya eğri boyunca sürekli olarak oluşması halidir. Akma çizgilerinin arasında kalan plak bölgesinin rijit kaldığı kabul edilir. Plak elemanına gelen yük, kesitin eğilme kapasitesini aştığı zaman akma çizgileri oluşur. Oluşan akma çizgileri bir göçme mekanizması oluşturduğu zaman plak elemanının taşıma kapasitesine ulaştığı kabul edilir.

AISC Tasarım Raporu 4 (2003)'de farklı birleşim detaylarına ait akma çizgisi modelleri ve kapasite denklemleri verilmiştir. Şekil 3.2'de bu çalışmada kullanılan dört bulonlu alın levhalı birleşim için akma çizgisi modeli ve taşıma kapasitesi hesapları verilmiştir.



**Şekil 3.2:** Dört bulonlu alın levhalı birleşim akma çizgisi modeli (AISC 2003)

Yapılan hesaplar neticesinde gereken alın levhası kalınlığından daha büyük bir değer seçilerek alın levhası kalınlığı belirlenir.

### 3.1.8 Alın Levhası Akma ve Kopma Dayanımı

Alın levhası akma dayanımı Denklem 3.13 kullanılarak belirlenir.

$$\phi \times R_n = \phi \times 0,60 \times F_y \times t_p \times b_p \quad (3.13)$$

Burada;

$F_y$  : Alın levhası karakteristik akma dayanımı

$t_p$  : Alın levhası kalınlığı

$b_p$  : Alın levhası genişliği

Dört bulonlu alın levhalı birleşim için  $\phi \times R_n > \frac{F_{fu}}{2}$  eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Eşitlik sağlanmadığı takdirde alın levhası kalınlığı,  $t_p$  eşitlik sağlanıncaya kadar artırılmalıdır. Eşitlikte görülen  $F_{fu}$  kiriş başlıklarına gelen çekme kuvveti değeridir ve Denklem 3.14'le tanımlanmıştır.

$$F_{fu} = \frac{M_{uc}}{d_b - t_{fb}} \quad (3.14)$$

Burada;

$M_{uc}$  : Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme momenti

$d_b$  : Kiriş enkesit yüksekliği

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

Alın levhasının uzatılmış kısmının kopma kapasitesi ise aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$\phi \times R_n = \phi \times 0,60 \times F_u \times A_n \quad (3.15)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,90)

$F_u$  : Alın levhası karakteristik çekme dayanımı

$A_n$  : Alın levhası en kesit alanıdır ve Denklem 3.16 ile hesaplanır.

$$A_n = t_p \times (b_p - 2 \times d_e) \quad (3.16)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,75)

$d_e$  : Alın levhasının 1. bulon sırası merkezine olan uzaklığı

Alın levhasının uzatılmış kısmının kopma kapasitesinin belirlenmesinde  $\phi \times R_n > \frac{F_{fu}}{2}$  eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Alın levhasının akma ve kopma durumuna göre moment kapasitesinin en büyük değerinin bulunması için eşitlik düzenlenerek,  $F_{fu}$  çekme kuvveti yerine Denklem 3.14 yazılarak aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$M_{uc} \leq (\phi \times R_n) \times 2 \times (d_b - t_{fb}) \quad (3.17)$$

Eşitlik sağlanmadığı takdirde alın levhası kalınlığı  $t_p$  artırılır ve eşitlik sağlanıncaya kadar Denklem 3.13 ve 3.15 tekrarlanır.

### 3.1.9 Kolon Başlığı Kalınlığının Belirlenmesi ( $t_{fc}$ )

Kolon başlığında eğilmeden kaynaklanan akmaları önlemek için gerekli kalınlığının kontrolü için AISC Tasarım Raporu 4 (2003)'de verilen yöntemle göre hesap Denklem 3.18 kullanılarak yapılır.

$$t_{fc,gerekli} = \sqrt{\frac{1.11 \times \phi \times M_n}{\phi_d \times Y_c \times F_y}} \quad (3.18)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,90)

$\phi_d$  : 0,90

$F_y$  : Kolon başlığı karakteristik akma dayanımı

$M_{np}$  : Bulon çekme dayanımı

$Y_c$  : Kolon başlığı akma çizgisi mekanizması değişkeni

Rijitleştirilmemiş uzatılmış alın levhalı birleşimlerde kolon başlığı için Denklem 3.19 ile belirlenir.

$$Y_c = \frac{b_c}{2} \times \left( h_2 \times \left( \frac{1}{s} \right) + h_1 \left( \frac{1}{s} \right) \right) + \frac{2}{g} \times \left( h_2 \times \left( s + \frac{3 \times c}{4} \right) + h_1 \times \left( s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{4} \right) + \frac{g}{2} \quad (3.19)$$

Burada;

$c$  : Kiriş başlığının üzerindeki bulondan kiriş başlığının altındaki bulon merkezine olan uzaklık (Denklem 3.20)

$$c = p_{fi} + p_{fo} + t_{fb} \quad (3.20)$$

$p_{fi}$  : Kiriş başlığının altındaki bulonun kiriş başlığına olan mesafesi

$p_{fo}$  : Kiriş başlığının üzerindeki bulonun kiriş başlığına olan mesafesi

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

$g$  : İki bulon arası yatay uzaklık

$h_1$  : 1.bulonun merkezi ile kiriş alt başlığı merkezi arasındaki uzaklık

$h_2$  : 2.bulonun merkezi ile kiriş alt başlığı merkezi arasındaki uzaklık

$s$  : Denklem 3.12'de verilmiştir.

Kolon başlık kalınlığının yeterliliğinin kontrolü için AISC Tasarım Raporu 4 (2003)'de verilen yöntemle göre  $t_{fc, gerekli} < t_{fc}$  eşitliğinin sağlanması durumunda kolon başlık kalınlığının yeterli olduğu kabul edilir. Eşitliğin sağlanmaması durumunda ise kolon enkesiti büyütülür veya süreklilik levhaları kullanılarak kolon başlıklarının eğilme dayanımı artırılmalıdır.

TBDY (2018) yönetmeliği Bölüm 9'da bu tip birleşimlerde süreklilik levhası kullanılması durumunda yapılması gereken tahkikler açıklanmıştır. Buna göre süreklilik levhalarının kalınlıkları tek taraflı kiriş kolon birleşimlerinde birleşen kirişin başlık kalınlığından daha az olmaması koşuluyla kolon başlığı kalınlığının yeterliliği kontrol edilir. Bu durumda rijitleştirilmiş kolon başlığının akma çizgisi mekanizması değişkeni yeniden belirlenerek aşağıda verilen Denklem 3.21 ile hesaplanır.

$$Y_c = \frac{b_c}{2} \times \left[ h_2 \times \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_1 \times \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} \times \left[ h_2 \times (s + p_{si}) + h_1 \times (s + p_{so}) \right] \quad (3.21)$$



Denklemden kullanılan  $p_{si}$  ve  $p_{so}$  değerleri  $c$  değeri kullanılarak hesaplanır (Denklem 3.22).

$$p_{si} = p_{so} = \frac{c - t_s}{2} \quad (3.22)$$

Burada  $t_s$  süreklilik levhası kalınlığıdır.

### 3.1.10 Kolon Başlığı Eğilme Dayanımı

Kolon başlığı eğilme dayanımı Denklem 3.23 kullanılarak belirlenir.

$$\phi \times R_n = \frac{\phi \times M_{fc}}{d_b - t_{fb}} \quad (3.23)$$

Burada;

$d_b$  : Kiriş enkesit yüksekliği

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

$\phi \times M_{fc}$  : Süreklilik levhaları ile rijitleştirilen kolon başlığının tasarım eğilme moment dayanımınıdır ve Denklem 3.24 ile hesaplanır.

$$\phi \times M_{fc} = \phi_b \times F_y \times Y_c \times t_{fc}^2 \quad (3.24)$$

Burada;

$\phi_b$  : 0,90

$F_y$  : Kolon başlığı karakteristik akma gerilmesi

$t_{fc}$  : Kolon başlık kalınlığı

$Y_c$  : Süreklilik levhaları kullanılmış ve kullanılmamış durumdaki birleşimler için Denklem 3.19 ve 3.21'de verilmiştir.

Kolon başlığının eğilme dayanımının yeterli olması için  $\phi \times R_n > F_{tu}$  eşitliğinin sağlanması gerekir. Kolon başlığının eğilme durumuna göre moment kapasitesinin en büyük değerinin bulunması için eşitlik düzenlenir ve  $F_{tu}$  kuvveti yerine Denklem 3.14 yazılarak aşağıda verilen Denklem 3.25 elde edilir. Bu denklem kullanılarak moment kapasitesinin en büyük değeri bulunur.

$$M_{uc} \leq \phi \times M_{fc} \quad (3.25)$$

Eşitliğin sağlanmaması durumunda süreklilik levhaları kullanılmalıdır.

### 3.1.11 Kolon Gövdesi Yerel Akma Dayanımı

Kolon gövdesi yerel akma dayanımı ile ilgili TBDY (2018) ve ÇYTHYE (2016) yönetmeliklerinde bir bilgiye rastlanılmadığından bu bileşenin dayanım hesapları AISC Tasarım Raporu 4 (2003) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre kolon gövdesi yerel akma dayanımı Denklem 3.26'da verilen ifade ile belirlenir.

$$\phi_d \times R_n = \phi_d \times \phi \times \left[ C_t \times (6 \times k_c \times t_{fb} + 2 \times t_p) \right] \times F_y \times t_{wc} \quad (4.26)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (1,0)

$\phi_d$  : 1,0

$C_t$  : Kolonun üst ucu olmadığı durumda 1.0 olarak alınır

$k_c$  : Kolon başlığından gövde kaynağına olan mesafe. (Denklem 3.27)

$$k_c = t_{fc} + r_c \quad (3.27)$$

Denklemde kullanılan  $r_c$  kolon iç yuvarlatma çapıdır.

Kolon gövdesinin yeterli akma dayanımına sahip olması için  $\phi_d \times R_n > F_{tu}$  eşitliğinin sağlanması gerekir. Kolon gövdesinin yerel akma dayanımı durumuna göre moment kapasitesinin en büyük değerinin bulunması için eşitlik düzenlenir ve  $F_{tu}$  kuvveti yerine Denklem 3.14 yazılarak aşağıda verilen Denklem 3.28 elde edilir. Elde edilen denklem ile moment kapasitesinin en büyük değeri bulunur.

$$M_{uc} \leq (\phi_d \times R_n) \times (d - t_{bf}) \quad (3.28)$$

Eşitliğin sağlanmaması durumunda süreklilik levhaları kullanılmalıdır.

### 3.1.12 Kolon Gövdesi Yerel Burkulma Dayanımı

Kolon gövdesi yerel burkulma dayanımı ile ilgili TBDY (2018) ve ÇYTHYE (2016) yönetmeliklerinde bir bilgiye rastlanılmadığından bu bileşenin dayanım hesapları AISC Tasarım Raporu 4 (2003) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre kolon gövdesi yerel burkulma dayanımı Denklem 3.29'da verilen ifade ile belirlenir.

$$\phi \times R_n = \phi \times 0,80 \times t_{wc}^2 \times \left[ 1 + 3 \times \left( \frac{N}{d_c} \right) \times \left( \frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1,5} \right] \times \sqrt{\frac{E \times F_y \times t_{fc}}{t_{wc}}} \quad (3.29)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,75)

$t_{wc}$  : Kolon gövde kalınlığı

$t_{fc}$  : Kolon başlık kalınlığı

$F_y$  : Kolon malzemesi karakteristik akma gerilmesi

$d_c$  : Kolon enkesit yüksekliği

$N$  : Burkulmanın olduğu bölgenin uzunluğudur. (Denklem 3.30)

$$N = b_{fb} + 2 \times t_p \quad (3.30)$$

Denklem 3.30'da  $b_{fb}$  giriş başlık genişliğini ve  $t_p$  alın levhası kalınlığıdır.

Kolon gövdesinin yerel burkulmaya karşı yeterli dayanımına sahip olması için  $\phi_d \times R_n > F_{tu}$  eşitliğinin sağlanması gerekir. Kolon gövdesinin yerel burkulma dayanımı durumuna göre moment kapasitesinin en büyük değerinin bulunması için eşitlik düzenlenmesiyle Bölüm 3.1.11'de verilen Denklem 3.28 elde edilir. Eşitliğin sağlanmaması durumunda süreklilik levhaları kullanılmalıdır.

### 3.1.13 Kolon Gövdesi Burkulma Dayanımı

Kolon gövdesi burkulma dayanımı ile ilgili TBDY (2018) ve ÇYTHYE (2016) yönetmeliklerinde bir bilgiye rastlanılmadığından bu bileşenin dayanım hesapları AISC Tasarım Raporu 4 (2003) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre kolon gövdesi yerel burkulma dayanımı Denklem 3.31'de verilen ifade ile belirlenir.

$$\phi \times R_n = 24 \times t_{wc}^3 \times \sqrt{E \times F_y} \times \frac{1}{h} \quad (3.31)$$

Burada;

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısı (0,75)

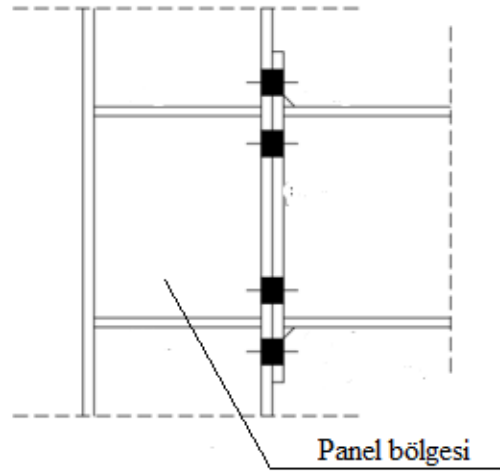
$h$  : Kolon net gövde yüksekliğidir. (Denklem 3.32)

$$h = d_c - 2 \times (t_{fc} + r_c) \quad (3.32)$$

Daha önce yapılan dayanım kontrollerinde olduğu gibi  $\phi \times R_n > F_{tu}$  eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Eşitlik düzenlendiğinde yine Denklem 3.28 bulunur ve moment kapasitesinin en büyük değeri belirlenir. Eşitliğin sağlanmaması durumunda süreklilik levhaları kullanılmalıdır.

### 3.1.14 Kolon Gövdesi Kesme Dayanımı

Kiriş başlık levhaları hizasında kolon gövdesine her iki yandan konan süreklilik levhalarıyla sınırlandırılmış kolon gövdesinde büyük bir moment değerinin kolona aktarılması sırasında kesme kuvvetlerinin doğuracağı büyük kayma gerilmeleri oluşabilir (Şekil 3.3). Bu bölge panel bölgesi olarak da adlandırılır. Panel bölgesi kolon gövdesinde süreklilik levhalarının sınırladığı kayma bölgesidir ve Şekil 3.3' te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3:** Kiriş kolon birleşim detayında panel bölgesi

TBDY (2018) yönetmeliğine göre kiriş-kolon birleşim detayında, kolon ve kiriş başlıklarının sınırladığı kayma bölgesinin  $V_{up}$  gerekli kesme kuvveti dayanımı, kolona birleşen kirişlerin olası plastik momentleri etkisinden meydana gelen kolon kesme kuvveti esas alınarak aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenir.

$$V_{up} = \sum M_{uc} \left( \frac{1}{d_b - t_{bf}} - \frac{1}{H_{ort}} \right) \quad (3.33)$$

Burada;

$d_b$  : Kiriş enkesit yüksekliği

$t_{bf}$  : Kiriş enkesitinin başlık kalınlığı

$H_{ort}$  : Düğüm noktasının üstündeki ve altındaki kolon yüksekliklerinin ortalaması

$M_{uc}$  : Kiriş-kolon birleşiminde, kirişin kolon yüzündeki gerekli eğilme momenti dayanımıdır.

(a) Kolon gövde bölgesinin karakteristik kayma dayanımı,  $R_n$  ÇYTHYE (2016)'da panel bölgesinin kayma etkisindeki akma sınır durumu dikkate alınarak aşağıda verilen denklemler kullanılarak belirlenir.

Eğer  $\alpha P_r \leq 0,4P_y$  ise,

$$R_n = 0.60 \times F_y \times d_c \times t_{wc} \quad (3.34a)$$

Eğer  $\alpha P_r > 0,4P_y$  ise,

$$R_n = 0.60 \times F_y \times d_c \times t_{wc} \times \left( 1.4 - \frac{\alpha \times P_r}{P_y} \right) \quad (3.34b)$$

Burada;

$P_r$  : YDKT veya GKT yük birleşimleri için gerekli aksenal dayanım

$P_y$  : Kolon aksenal akma dayanımı ( $P_y = F_y \times A_g$ )

$A_g$  : Kayıpsız enkesit alanı

$F_y$  : Kolon gövde malzemesinin karakteristik akma gerilmesi

$d_c$  : Kolon enkesit yüksekliği

$t_{wc}$  : Kolon gövde kalınlığı

$\alpha$  : 1,0 (YDKT)

Kayma bölgesinin yeterli dayanıma sahip olması için,

$$\phi R_n \geq V_{up} \quad (3.35)$$

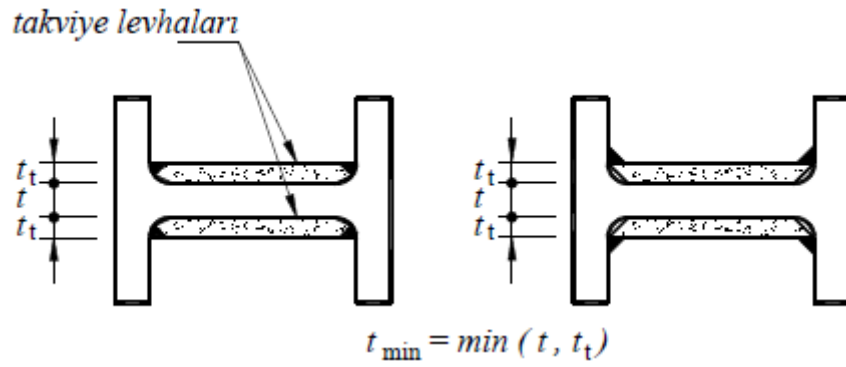
eşitliğinin sağlanması gerekir ( $\phi = 1.0$ ). Bu koşulun sağlanmaması halinde kayma bölgesi, gövde takviye levhaları veya örneğin köşegen doğrultusunda levhalar eklenerek güçlendirilecektir.

(b) Kolon gövde levhasının ve eğer kullanılmış ise takviye levhalarının her birinin en küçük kalınlığı,  $t_{min}$  aşağıdaki koşulu sağlamalıdır (TBDY, 2018)

$$t_{min} \geq u / 180 \quad (3.36)$$

Bu koşulun sağlanmadığı durumlarda, takviye levhaları ve kolon gövde levhası birbirlerine kaynakla bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacak ve levha kalınlıkları toplamının Denklem 3.36'yı sağladığı kontrol edilecektir.

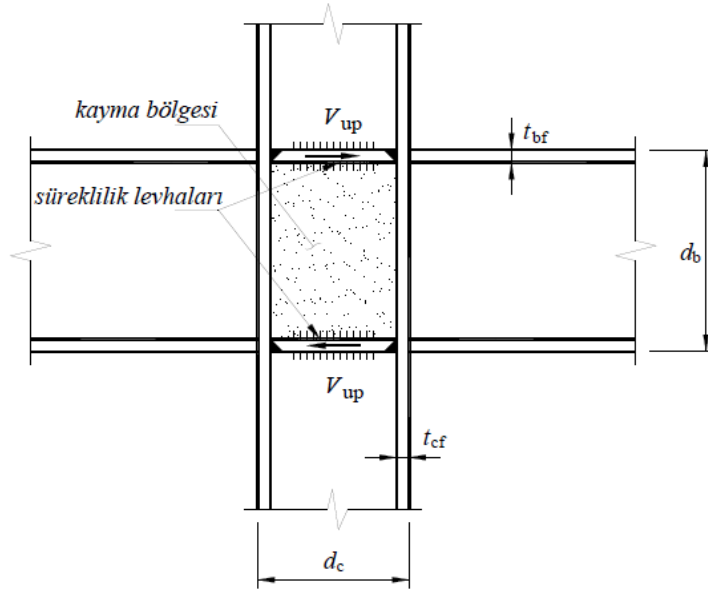
(c) Kayma bölgesinde takviye levhaları kullanılması halinde, bu levhaların kolon başlık levhalarına bağlanması için tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı kullanılacaktır (Şekil 3.4). Bu kaynaklar, takviye levhası tarafından karşılanan kesme kuvveti gözönüne alınarak boyutlandırılacaktır



**Şekil 3.4:** Kayma bölgesi takviye levha detayları (TBDY, 2018)

### 3.2 SÜREKLİLİK LEVHASI TASARIMI

Moment aktaran kiriş kolon birleşim detaylarında, birleşim bölgesinde oluşmaları muhtemel olan akma, yerel burkulma ve panel bölgesi yük taşıma kaybı durumlarının önlenmesi gerekir. Bu amaçla Şekil 3.5'te görüldüğü gibi kolon gövdesinin her iki tarafına kiriş başlıkları seviyesinde süreklilik levhaları konulması, kolon gövdesinde oluşması muhtemel akma, yerel burkulma durumlarını önemli ölçüde önler.



**Şekil 3.5:** Kiriş kolon birleşim detayı (TBDY, 2018)

TBDY (2018) yönetmeliğine göre moment aktaran kiriş-kolon birleşim detaylarında kiriş başlıklarındaki çekme ve basınç kuvvetlerinin kolona (ve iki taraflı kiriş-kolon birleşimlerinde komşu kirişe) güvenle aktarılması amacıyla kullanılan süreklilik levhalarının sağlaması gereken koşullar aşağıda açıklanmıştır.

(a) Süreklilik levhalarının kalınlıkları, tek taraflı kiriş birleşimlerinde birleşen kirişin başlık kalınlığından, kolona iki taraftan kiriş birleşmesi durumunda ise birleşen kirişlerin başlık kalınlıklarının büyüğünden daha az olmayacaktır.

(b) Süreklilik levhalarının kolon gövde ve başlıklarına bağlantısı için tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılacaktır. Süreklilik levhasının kolon gövdesine bağlantısı için köşe kaynağı da kullanılabilir. Ancak bu kaynağın, süreklilik levhasının kendi düzlemindeki kesme kapasitesine eşit bir kuvveti kolon gövdesine aktaracak boy ve kalınlıkta olması gereklidir.

(c) Kolon başlık kalınlığının

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \quad (3.37)$$

ve

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (3.38)$$

koşullarının her ikisini de birlikte sağlaması durumunda süreklilik levhasına gerek olmayabilir.

Burada;

$t_{cf}$  : Kolon enkesitinin başlık kalınlığı

$b_{bf}$  : Kiriş kesitinin başlık genişliği

$t_{bf}$  : Kiriş enkesitinin başlık kalınlığı

$R_{yb}$  : Kirişte olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı

$R_{yc}$  : Kolonda olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı

$F_{yb}$  : Kiriş malzemesinin karakteristik akma gerilmesi

$F_{yc}$  : Kolon malzemesinin karakteristik akma gerilmesi

Kiriş kolon birleşim detayında süreklilik levhalarının gerekliliği için kolon başlığı yerel eğilme sınır durumu, kolon gövdesi yerel akma sınır durumu, kolon gövdesi buruşma veya basınç burkulması sınır durumları kontrol edilir. Bunlara ek olarak kolon gövdesi (panel bölgesi) kayma dayanımı da dikkate alınır. Bu sınır durumların aşılması halinde kolon gövdesinin güçlendirilmesi gerekir.

AISC 360 (2016) yönetmeliği süreklilik levhalarının dayanımını akma sınır durumunu kullanarak belirler. Buna göre süreklilik levhasının karakteristik dayanımı;

$$F_{yst} \times A_{st} \quad (3.39)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada;

$F_{ys}$  : Süreklilik levhası malzemesi karakteristik akma gerilmesi

$A_{st}$  : Süreklilik levhası alanı



Sürekli levhasının tasarım dayanımını artan (gerekli olan) dayanıma eşitleyerek sürekli levhasının gerekli alanını hesaplarız.

$$\phi_{st} F_{yst} A_{st} = P_{bf} - \phi \times R_{nmin} \quad (3.40)$$

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - \phi \times R_{nmin}}{\phi_{st} F_{yst}} \quad (3.41)$$

Burada;

$\phi_{st}$  : Dayanım azaltma katsayısı 0.90 (Akma sınır durumu)

$P_{bf}$  : Kiriş başlıklarına gelen çekme kuvveti (Denklemler 3.14' de verilen  $F_{fu}$ )

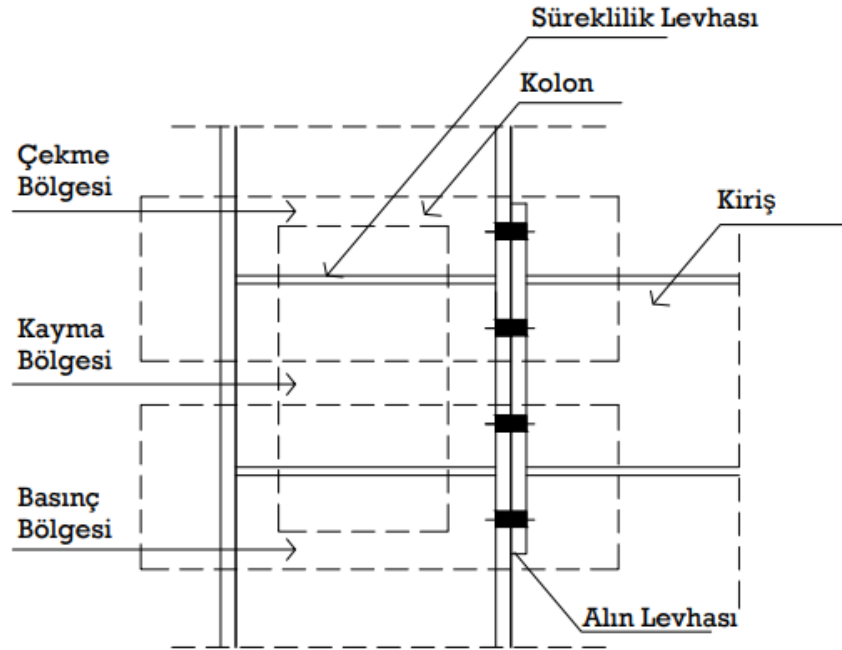
$\phi R_{nmin}$  : Yukarıda açıklanan üç sınır durumun elde edilen dayanımların en küçüğü

#### 4. EUROCODE EN 1993-1-8 (2005) YÖNETMELİĞİNE GÖRE ALIN LEVHALI BULONLU BİRLEŞİM TASARIMI

Bu bölümde alın levhali bulonlu kiriş-kolon birleşiminin tasarım detayları incelenmiştir. Birleşime ait elemanların taşıma kapasite kontrolleri, birleşimin moment kapasitesi ve rijitliği hesaplanmıştır. Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre alın levhali bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin moment kapasitelerinin hesaplanması ve rijitliklerinin belirlenmesi Ekler'de verilen akış şemasında özetlenmiştir.

##### 4.1 ELEMANA DAYALI YÖNTEM KULLANILARAK BİRLEŞİMİN MOMENT KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

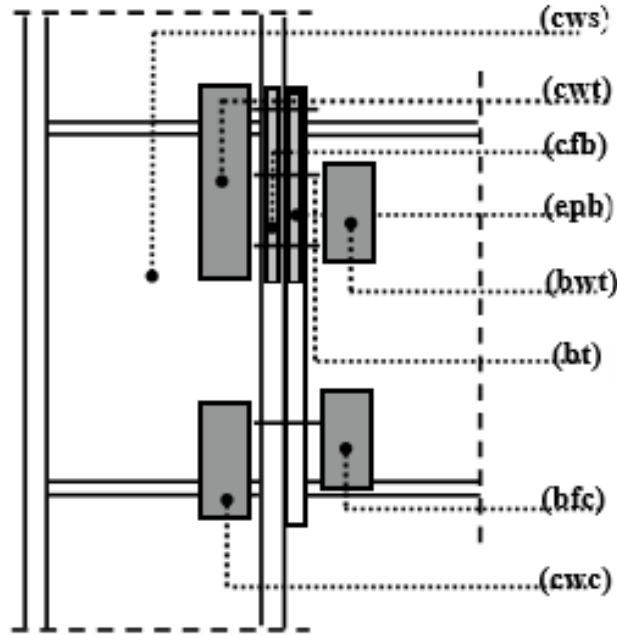
Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'te verilen ve mekanik bir yöntem olan elemana dayalı yöntem ile birleşimin başlangıç rijitliği ve taşıma kapasitesi belirlenebilir. Yönetmelikte ayrıntılı olarak açıklanan bu tasarım yöntemi teorik olarak modellenebilen ve kapasite hesabı yapılabilen tüm birleşimlere uygulanabilmektedir. Elemana dayalı yöntem ile kiriş kolon birleşimini oluşturan elemanların her birinin çekme, basınç ve kayma bölgesindeki dayanımları belirlenir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Kiriş-kolon birleşiminde elemanlar ve bölgeler

Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'te elemana dayalı yöntem kullanılarak alın levhalı bulonlu birleşimlerin tasarımları ayrıntılı olarak yapılabilmektedir. Ancak diğer birleşim tipleri için yönetmelikte detaylı bir bilgi bulunmamaktadır. Bu yöntemde kiriş kolon birleşim detayı için temel bileşenler kolon, kiriş, alın levhası ve bulon olarak tanımlanabilir. Buna göre alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimleri için birleşim tasarımını 8 eleman ile ifade edilir (Şekil 4.2). Bunlar;

- Kayma etkisindeki kolon gövdesi (cws)
- Basınç etkisindeki kolon gövdesi (cwc)
- Çekme etkisindeki kolon gövdesi (cwt)
- Eğilme etkisindeki kolon başlığı (cfb)
- Eğilme etkisindeki alın levhası (epb)
- Basınç etkisindeki kiriş başlığı ve gövdesi (bfc)
- Çekme etkisindeki kiriş gövdesi (bwt)
- Çekme etkisindeki bulonlar (bt)



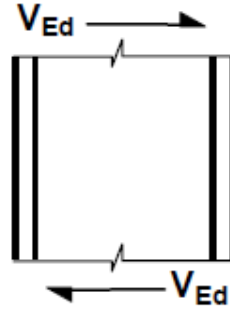
**Şekil 4.2:** Birleşim tasarımında kullanılan elemanlar

Kiriş kolon birleşim bölgesinin dayanımını elemana dayalı yöntemle belirlenirken öncelikle birleşimde bulunan tüm elemanların (yukarıda verilen 8 eleman) dayanımları ayrı ayrı belirlenir. Her aşamada dayanımları hesaplanan bileşenlerin basınç merkezine uzaklıkları olan  $h_r$  ve hesaplanan  $F_{tr,Rd}$  dayanımları arasından en küçük değerde olanları tespit edilir. Bu bileşenlerin dayanımlarının her birinin katkıları bulon sıralarından bağımsız olarak ayrı ayrı ve birbirleri ile etkileşimli olarak (gruplu) göz önünde bulundurulur. Hesaplanan bu değerler sonucunda aşağıda verilen denklem ile birleşime ait eğilme moment kapasitesi elde edilir.

$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^n (F_{tr,Rd} \times h_i) \quad (4.1)$$

Bu bölümde elemana dayalı yöntemle alın levhalı bulonlu kiriş kolon birleşiminin eğilme moment kapasitesini,  $M_{j,Rd}$  belirleyebilmek için Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'de açıklanan her bir elemanın tasarım dayanım esasları özetlenecektir.

#### 4.1.1 Kayma Etkisindeki Kolon Gövdesi Kesme Kuvveti Tasarımı



**Şekil 4.3:** Kesme kuvveti etkisindeki kolon gövdesi (EN 1993-1-8, 2005)

Birleşim eğilme moment dayanımının kesme kuvveti etkisindeki kayma bölgesinin dayanımı sınır durumu ile belirlendiği kiriş kolon birleşimlerde aşağıdaki denklemin sağlanması durumunda yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu kabul edilir. EN EN 1993 1-8 (2005)'te kolon gövde narinlik değeri

$$\frac{d_c}{t_{wc}} \leq 69 \times \varepsilon \quad (4.2)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Bu denklemde  $d_c$  kolon enkesit gövde yüksekliğini,  $t_w$  kolon gövde kalınlığını  $\varepsilon$  ise EN 1993-1-1'de  $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$  ile tanımlanan bir katsayıdır.

Tek taraflı ve her iki taftaki kiriş derinliklerinin aynı olduğu çift taraflı düğüm noktası için kolon gövdesi tasarım kesme dayanımı  $V_{cw,Rd}$  aşağıdaki bağıntıyla belirlenir.

$$V_{cw,Rd} = 0.9 \times \frac{F_y \times A_{vc}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} \quad (4.3)$$

Burada;

$\gamma_{M0}$  : Enkesit dayanımı için kısmi güvenlik katsayısı (1.0)

$F_y$  : Kolon gövdesi akma dayanımı

$A_{vc}$  : Kolon gövdesi kesme alanıdır ve Denklem 4.4 ile belirlenir.

$$A_{vc} = A_c - 2 \times b_c \times t_{fc} + (t_{wc} + 2 \times r_c) \times t_{fc} \quad (4.4)$$

Burada;

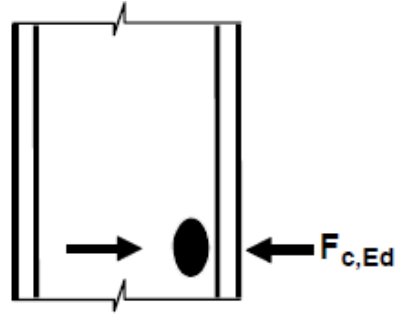
$A_c$  : Kolon kesit alanı

$b_c$  : Kolon başlık genişliği

$t_{fc}$  : Kolon başlık kalınlığı

$t_{wc}$  : Kolon gövde kalınlığı

#### 4.1.2 Basınç Kuvveti Etkisindeki Kolon Gövdesi Tasarımı



**Şekil 4.4:** Basınç kuvveti etkisindeki kolon gövdesi (EN 1993 1-8, 2005)

Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'de basınç kuvveti etkisindeki rijitleştirilmemiş kolon gövdesinin tasarım dayanımı kuvveti Denklem 4.5a ve 4.5b ile hesaplanır.

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \times k_{wc} \times b_{eff,t,wc} \times t_{wc} \times F_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.5a)$$

$$F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega \times k_{wc} \times b_{eff,t,wc} \times t_{wc} \times F_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.5b)$$

Burada;

$\omega$  : Kolon gövdesinde kesme etkileşimini dikkate alan azaltma katsayısıdır.

Kesme etkileşimi için azaltma faktörü Çizelge 4.1'e göre belirlenir. Çizelge 4.1'de görülen  $\beta$  parametresi EN 1993 1-8 (2005)'de birleşimin yönüne göre  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  olarak adlandırılmıştır. Sağdan kiriş birleşen kiriş-kolon birleşimlerinde  $\beta = \beta_1$  alınırken, soldan kiriş birleşen kiriş-kolon birleşimlerinde  $\beta = \beta_2$  olarak alınır.

**Çizelge 4.1:** Kesme etkileşimi için azaltma faktörü

Dönüşüm parametresi, $\beta$	Azaltma faktörü, $\omega$
$0 \leq \beta \leq 0.5$	$\omega = 1$
$0.5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2 \times (1 - \beta) \times (1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1) \times (\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \times \left( \frac{b_{eff,t,wc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2 \times \left( \frac{b_{eff,t,wc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$

$k_{vc}$  : Azaltma katsayısı (Alın levhali bulonlu birleşimlerde 1.0 alınır).

$\gamma_{M0}$  : Enkesit dayanımı için kısmi güvenlik katsayısı (1.0)

$\gamma_{M1}$  : Elemanların burkulmaya karşı dayanımı için kısmi güvenlik katsayısı (1.0)

$\rho$  : Levha burkulması için azaltma katsayısı

$$\text{eğer } \lambda_p \leq 0.72 \quad \text{ise} \quad \rho = 1.0 \quad (4.6)$$

$$\text{eğer } \lambda_p > 0.72 \quad \text{ise} \quad \rho = \frac{(\lambda_p - 0.2)}{\lambda_p^2} \quad (4.7)$$

$\lambda_p$  : Levhanın narinliği

$$\lambda_p = 0.932 \times \sqrt{\frac{b_{\text{eff},t,wc} \times d_{wc} \times F_y}{E \times t_{wc}^2}} \quad (4.8)$$

Hadde I ve H profilleri için  $d_{wc} = h_c - 2 \times (t_{fc} + r_c)$

Kaynaklı I ve H profilleri için  $d_{wc} = h_c - 2 \times (t_{fc} + \sqrt{2 \times \alpha_c})$

$b_{\text{eff},c,wc}$  : Basınç kuvveti etkisindeki kolon gövdesi etkili genişliği

Alın levhali bulonlu birleşimler için,

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \times a_p + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p \quad (4.9)$$

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

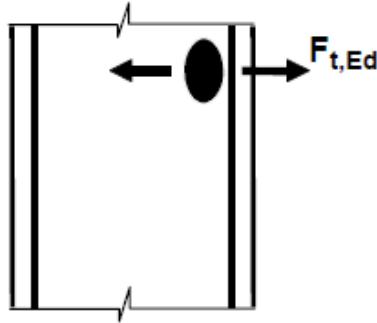
$a_p$  : Kaynak dikiş kalınlığı

$s_p$  : Basınç kuvvetinin alın levhasından  $45^\circ$  'lik açı ile yayılmasıyla elde edilen uzunluk (en az  $t_p$  olmalıdır, alın levhası bulonlu birleşimlerde  $s_p = 2 \times t_p$  alınabilir).

Hadde I ve H profilleri için  $s = r_c$

Kaynaklı I ve H profilleri için  $s = \sqrt{2} \times \alpha_c$

#### 4.1.3 Çekme Etkisindeki Kolon Gövdesi Tasarımı



**Şekil 4.5:** Çekme kuvveti etkisindeki kolon gövdesi (EN 1993-1-8, 2005)

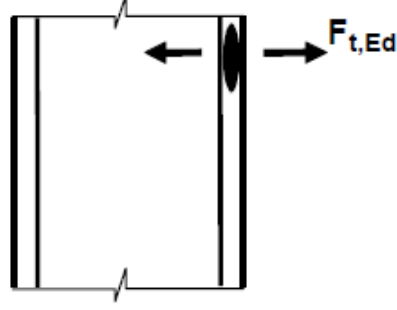
Eurocode EN 1993 1-8 (2005)'de çekme kuvveti etkisindeki rijitleştirilmemiş kolon gövdesinin tasarım dayanımı aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmelidir.

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \times b_{\text{eff},t,wc} \times t_{wc} \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.10)$$

Denkleimde verilen  $\omega$ ,  $t_{wc}$ ,  $F_y$  değerleri Bölüm 4.1.2'de açıklanmıştır. Bulonlu birleşimler için çekme kuvveti etkisindeki kolon gövdesinin etkili genişliği  $b_{eff,t,wc}$  Bölüm 4.1.4'de açıklanan kolon başlığını temsil eden T-Stub'ın etkin uzunluğuna eşit alınır.



#### 4.1.4 Eğilme Etkisindeki Kolon Başlığı Tasarımı



**Şekil 4.6:** Eğilme etkisindeki kolon başlığı (EN 1993-1-8, 2005)

Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'de eğilme etkisindeki kolon başlığının dayanımı eşdeğer T-stub başlığına benzer şekilde hesaplanır. Eğilme etkisindeki kolon başlığının tasarım dayanımı ve göçme modu çekme bölgesindeki bulonlarda dikkate alınarak;

- çekmeye karşı her bir bulon sırasının gerekli dayanımı
- çekmeye karşı her bir bulon grubunun gerekli dayanımlarına

göre hesaplanır. Eşdeğer T-stub yöntemi kullanılarak eğilme etkisindeki kolon başlığının dayanımı dayanımı 3 farklı göçme modu göz önüne alınarak belirlenir.

Mod 1 bulonlar güç tükenmesine ulaşmadan önce kolon başlığının tamamen akması sınır durumudur. Her bir bulon sırası için kolon başlığı geometrik özelliğine bakılarak tasarım dayanımı aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \times M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (4.11)$$

Burada;

$$m = \frac{w - t_{wc} - 2 \times 0.8 \times r_c}{2} \quad (4.12)$$

w : İki bulon arasındaki yatay mesafe

t<sub>wc</sub> : Kolon gövde kalınlığı

r<sub>c</sub> : Kök yarıçapı

EN 1993-1-8 (2005)'de Mod 1 için kolon başlığının eğilme momenti  $M_{pl,1,Rd}$  aşağıdaki denklemlerle tanımlanmıştır.

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,1} \times t_{fc}^2 \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.13)$$

Burada;

$\ell_{eff,1}$  : Mod 1 için eğilme etkisindeki kolon başlığının etkili genişliği. Kiriş-kolon birleşim bölgesinin rijitleştirilmemiş olması durumunda Çizelge 4.2'ye göre, rijitleştirilmiş olması durumunda ise Çizelge 4.3'e göre hesaplanır.

Mod 2 kolon başlığının akmasıyla beraber bulonların göçmesi sınır durumudur. Bu durumda 2 plastik mafsallı kolon başlığı-gövde birleşiminde oluşur ve bu sırada bulonlar devre dışı kalır. Mod 2 için tasarım dayanımı aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanır.

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \times M_{pl,2,Rd} + n \times \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad (4.14)$$

Burada;

$n$  : Bulon gövde ekseninden kolon kenarına olan uzaklık ( $e_{min}$ ,  $n \leq 1.25m$ )

$F_{t,Rd}$  : Bulon çekme tasarım dayanımı.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad (4.15)$$

Burada;

$k_2$  : 0,9

$f_{ub}$  : Bulon çekme dayanımı

$A_b$  : Bulon alanı

$\gamma_{M2}$  : 1.25 (Eurocode EN 1993-1-1)

EN 1993-1-8 (2005)'de Mod 2 için kolon başlığının eğilme momenti  $M_{pl,2,Rd}$  aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,2} \times t_{fc}^2 \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.16)$$

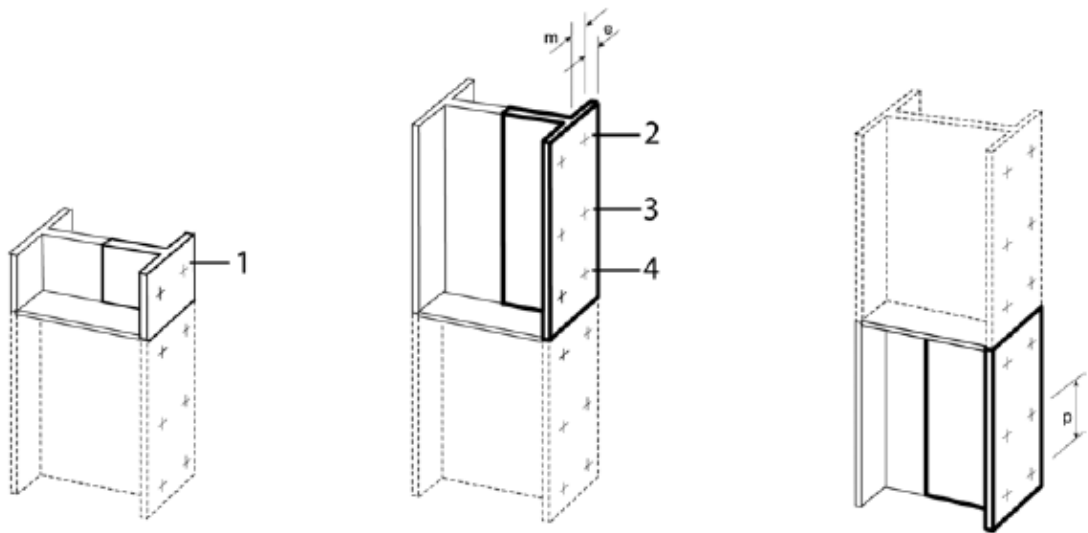
$l_{eff,2}$  : Mod 2 için eğilme etkisindeki kolon başlığının etkili genişliğidir. Kiriş-kolon birleşim bölgesinin rijitleştirilmemiş olması durumunda Çizelge 4.2'ye göre, rijitleştirilmiş olması durumunda ise Çizelge 4.3'e göre hesaplanır.

Mod 3 kolon başlığında akma başlamadan önce bulonların göçmesi sınır durumudur. Bu nedenden dolayı Mod 3 tasarım dayanımı toplam bulon tasarım dayanımına eşit olarak kabul edilir.

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad (4.17)$$

Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 göçme modlarının tasarım dayanımları belirlenirken bulon sıra yerleri ve akma şekillerinin dairesel olup olmadığı belirleyicidir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te belirleyici faktörler gözetilerek bir bulon sıralı veya birden fazla bulon sıralı birleşimlere ait kolon başlığı modeli eşdeğer T-stub için etkili genişlik bağıntıları verilmiştir. Çizelge 4.2'de rijitleştirilmemiş kolon başlığı için etkili genişlik değeri, Çizelge 4.4'de ise rijitleştirilmiş kolon başlığı için etkili genişlik değeri verilmiştir. Bu çizelgelerde kullanılan bulon sıra yerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Bu şekilde;

1. Süreklilik levhasına komşu son bulon sırasını,
2. Son bulon sırasını,
3. İç bulon sırasını,
4. Süreklilik levhasına komşu bulon sırasını tanımlar.



**Şekil 4.7:** Rijitleştirilmiş kolon başlığının ayrı T-stub olarak modellenmesi (EN 1993-1-8, 2005)

**Çizelge 4.2:** Rijitleştirilmemiş kolon başlığı etkili uzunlukları (a)

Bulon sırası yeri	Bulon sırasının tek başına dikkate alınması durumu	
	Dairesel şekil $l_{eff,cp}$	Dairesel olmayan şekil $l_{eff,nc}$
İç bulon sırası	$2 \times \pi \times m$	$4 \times m + 1,25 \times e$
Son bulon sırası	Min. $2 \times \pi \times m$ $\pi \times 2 \times e_1$	Min. $4 \times m + 1,25 \times e$ $2 \times m + 0,625 \times e + e_1$
Mod 1	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ve $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	
Mod 2	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	

**Çizelge 4.3:** Rijitleştirilmemiş kolon başlığı etkili uzunlukları (b)

Bulon sırası yeri	Bulon sırasının grup olarak dikkate alınması durumu	
	Dairesel şekil $l_{eff,cp}$	Dairesel olmayan şekil $l_{eff,nc}$
İç bulon sırası	$2 \times p$	$p$
Son bulon sırası	Min. $\pi \times m + p$ $2 \times e_1 + p$	Min. $2 \times m + 0,625 \times e + 0,5 \times p$ $e_1 + 0,5 \times p$
Mod 1 için	$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ ve $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Mod 2 için	$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

**Çizelge 4.4:** Rijitleştirilmiş kolon başlığı etkili uzunlukları (a)

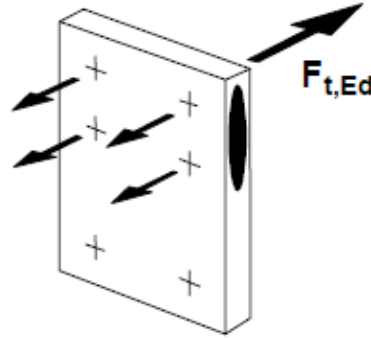
Bulon sırası yeri	Bulon sırasının tek başına dikkate alınması durumu	
	Dairesel şekil $l_{eff,cp}$	Dairesel olmayan şekil $l_{eff,nc}$
Rijitleştiriciye komşu bulon sırası	$2 \times \pi \times m$	$\alpha \times m$
Diğer iç bulon sırası	$2 \times \pi \times m$	$4 \times m + 1,25 \times e$
Diğer son bulon sırası	Min. $2 \times \pi \times m$ $\pi \times 2 \times e_1$	Min. $4 \times m + 1,25 \times e$ $2 \times m + 0,625 \times e + e_1$
Rijitleştiriciye komşu son bulon sırası	Min. $2 \times \pi \times m$ $\pi \times 2 \times e_1$	Min. $e_1 + \alpha \times m - (2 \times m + 0,625 \times e)$
Mod 1 için	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ve $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	
Mod 2 için	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	

**Çizelge 4.5:** Rijitleştirilmiş kolon başlığı etkili uzunlukları (b)

Bulon sırası yeri	Bulon sırasının grup olarak dikkate alınması durumu	
	Dairesel şekil $l_{eff,cp}$	Dairesel olmayan şekil $l_{eff,nc}$
Rijitleştiriciye komşu bulon sırası	$\pi \times m + p$	$0,5 \times p + \alpha \times m - (2 \times +0,625 \times e)$
Diğer iç bulon sırası	$2 \times p$	$p$
Diğer son bulon sırası	Min. $\pi \times m + p$ $2 \times e_1 + p$	Min. $2 \times m + 0,625 \times e + 0,5 \times p$ $e_1 + 0,5 \times p$
Rijitleştiriciye komşu son bulon sırası	---	---
Mod 1 için	$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ ve $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Mod 2 için	$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

Eğilme etkisindeki kolon başlığının tasarım dayanımı, Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 sınır durumlarına göre hesaplanacak  $F_{t,1,Rd}$ ,  $F_{t,2,Rd}$  ve  $F_{t,3,Rd}$  dayanımlarının en küçüğü olarak alınacaktır.

#### 4.1.5 Eğilme Etkisindeki Alın Levhası Tasarımı



**Şekil 4.8:** Eğilme etkisindeki alın levhası (EN 1993-1-8, 2005)

Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'de eğilme etkisindeki alın levhasının dayanımı bir önceki bölümde açıklanan eğilme etkisindeki kolon başlığının dayanım hesabına benzer şekilde eşdeğer T-stub modellemesi ile yapılır. Eğilme etkisindeki alın levhasının tasarım dayanımı ve göçme modu çekme bölgesindeki bulonlarda dikkate alınarak;

- çekmeye karşı her bir bulon sırasının gerekli dayanımı
- çekmeye karşı her bir bulon grubunun gerekli dayanımlarına

göre hesaplanır.

Eurocode yönetmeliğine göre alın levhasına bağlanan rijitlik levhasının her iki yanındaki bulon sırası grupları, ayrı eşdeğer T-stub olarak ele alınmalıdır. Uzatılmış alın levhalarında, Şekil 4.9'da görüldüğü üzere uzatılmış kısmındaki bulon sırası da ayrı bir eşdeğer T-stub olarak ele alınır. Her bir eşdeğer T-stub için tasarım dayanımı ve göçme modları ayrı ayrı hesaplanır.

Mod 1 göçme modu için etkili genişlik ve alın levhasının kalınlığı göz önüne alınarak eğilme etkisindeki alın levhası dayanımı aşağıda verilen denklem ile belirlenir.

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \times M_{pl,1,Rd}}{m_x} \quad (4.18)$$

Burada;

$$m_x = \left( p_{fo} + \frac{t_{fb}}{2} \right) - 0.8 \times s_f \quad (4.19)$$

$s_f$  : Başlıklarda yapılan kaynak kalınlığı

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

$p_{fo}$  : Bulon gövdesinin kiriş başlığına mesafesi

EN 1993-1-8 (2005)'de Mod 1 göçme modu için alın levhasının eğilme momenti  $M_{pl,1,Rd}$  aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır.

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,1} \times t_p^2 \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.20)$$

Burada;

$\ell_{eff,1}$  : Mod 1 için eğilme etkisindeki alın levhasının etkili genişliğidir. Rijitleştirilmiş kiriş-kolon birleşim bölgesi için sırasıyla Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'ye göre hesaplanır.

Mod 2 göçme modu için eğilme etkisindeki alın levhası tasarım dayanımı aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanır.

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \times M_{pl,2,Rd} + n \times \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad (4.21)$$

Denklemde yer alan  $\sum F_{t,Rd}$  değeri Denklem 4.15 kullanılarak bulunur.

EN 1993-1-8 (2005)'de Mod 2 göçme modu için alın levhasının eğilme momenti aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır.

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,2} \times t_p^2 \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.22)$$

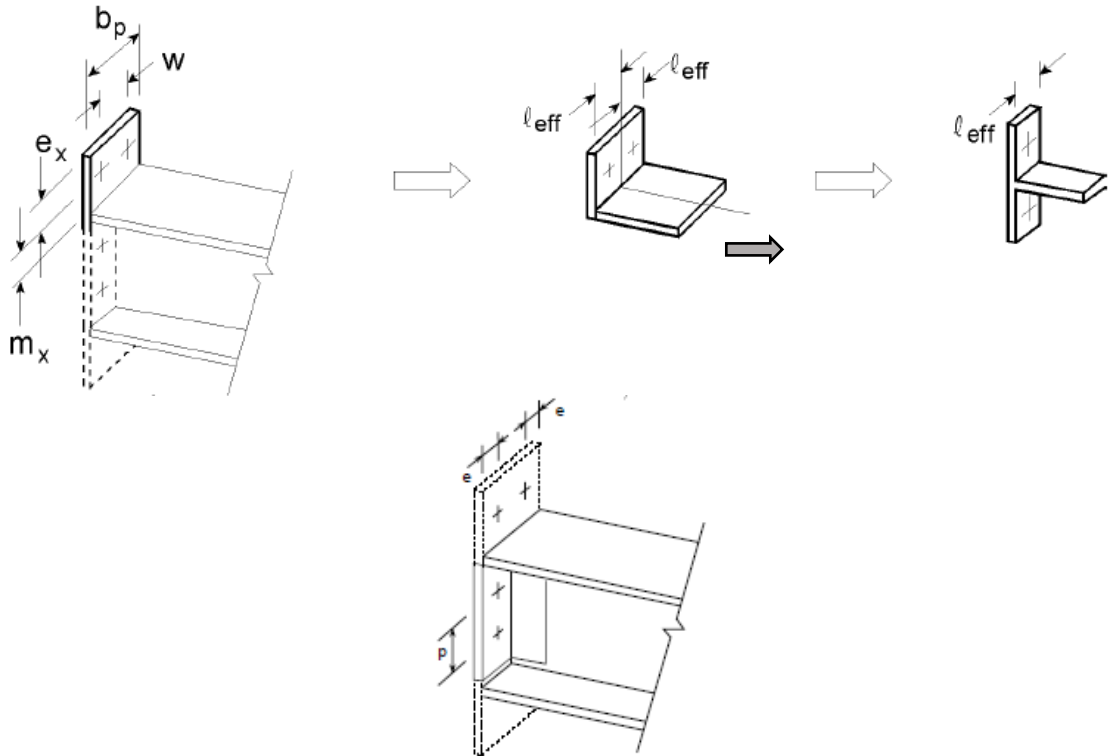
Burada;

$\ell_{eff,1}$  : Mod 2 için eğilme etkisindeki alın levhasının etkili genişliğidir. Rijitleştirilmiş kiriş-kolon birleşim bölgesi için sırasıyla Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'ye göre hesaplanır.

Mod 3 göçme modu için eğilme etkisindeki alın levhası tasarım dayanımı aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad (4.23)$$

Mod 1 ve Mod 2 göçme sınır durumlarının belirlenmesinde kullanılan denklemlerde yer alan etkili genişlik değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan parametreler Şekil 4.9'da verilmiştir.



**Şekil 4.9:** Uzatılmış alın levhasının ayrı T-stub olarak modellenmesi (Eurocode EN 1993-1-8, 2005)

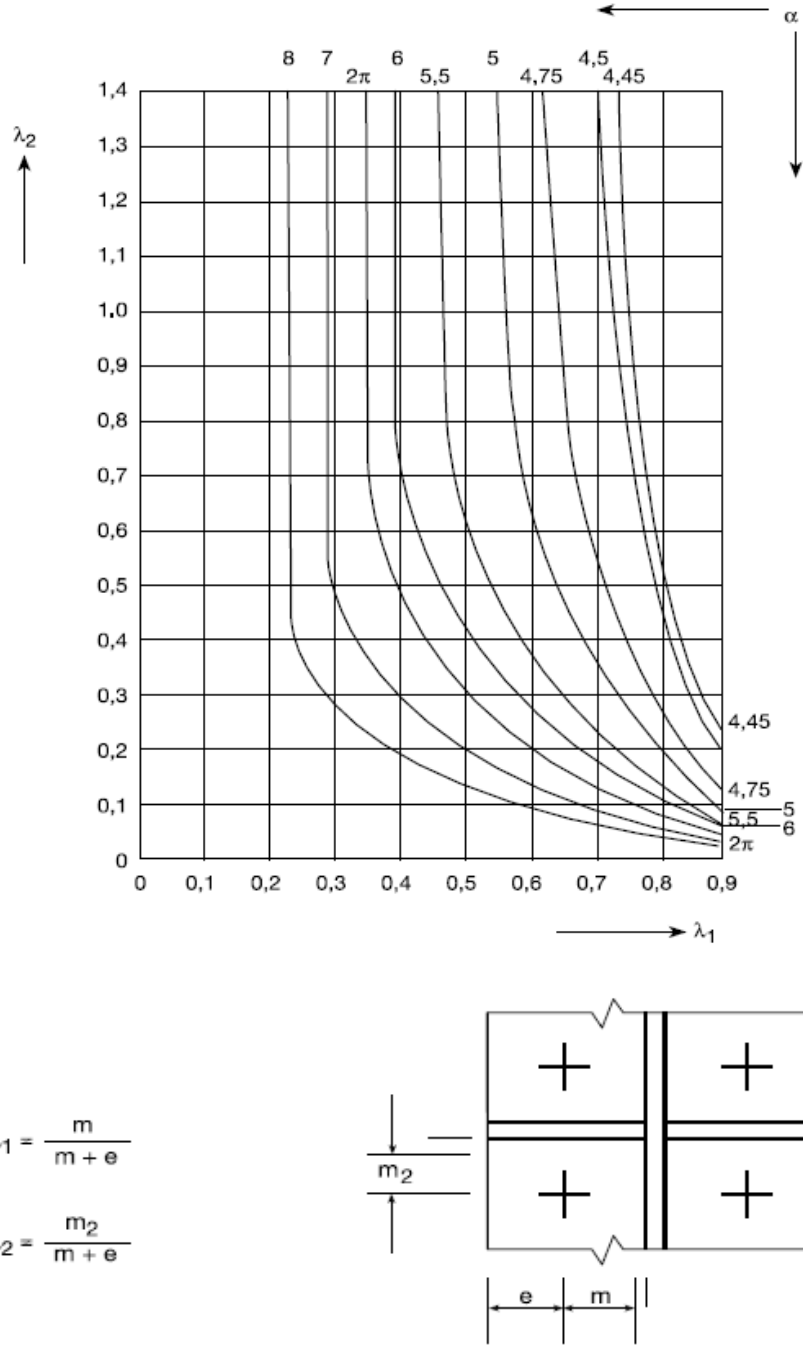
**Çizelge 4.6:** Alın levhasının etkili uzunlukları (a)

Bulon sırası yeri	Bulon sırasının tek başına dikkate alınması durumu	
	Dairesel şekil $l_{eff,cp}$	Dairesel olmayan şekil $l_{eff,nc}$
Kiriş başlığı dışında bulon sırası	Min. $2 \times \pi \times m_x$ $\pi \times m_x \times w$ $\pi \times m_x + 2 \times e$	Min. $4 \times m_x + 1,25 \times e_x$ $e + 2 \times m_x + 0,625 \times e_x$ $0,5 \times b_p$ $0,5 \times w + 2 \times m_x + 0,625 \times e_x$
Kiriş başlığı içinde bulon sırası	$2 \times \pi \times m$	$\alpha \times m$
Diğer iç bulon sorası	$2 \times \pi \times m$	$4 \times m + 1,25 \times e$
Diğer dış bulon sırası	$2 \times \pi \times m$	$4 \times m + 1,25 \times e$
Mod 1	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ve $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	
Mod 2	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	

**Çizelge 4.7:** Alın levhasının etkili uzunlukları (b)

Bulon sırası yeri	Bulon sırasının grup olarak dikkate alınması durumu	
	Dairesel şekil $l_{eff,cp}$	Dairesel olmayan şekil $l_{eff,nc}$
Kiriş çekme başlığı dışında kalan bulon sırası	---	---
Kiriş çekme başlığı içinde kalan birinci bulon sırası	$\pi \times m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Diğer iç bulon sorası	$2 \times p$	$p$
Diğer dış bulon sırası	$\pi \times m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Mod 1	$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ ve $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Mod 2	$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

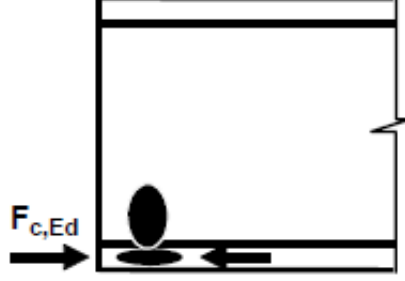




**Şekil 4.10:** Rijitleştirilmiş kolon başlığı ve alın levhası için  $\alpha$  parametresi (Eurocode EN 1993-1-8, 2005)

Şekil 4.10'da eğilme etkisindeki kolon başlığı ve alın levhasının dayanım hesaplarındaki etkili genişlik değerinin belirlenmesinde kullanılan  $\alpha$  parametresinin hesabı gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere  $\alpha$  değeri  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  katsayılarına bağlı olarak bulunur.

#### 4.1.6 Basınç Etkisindeki Kiriş Başlığı ve Gövdesinin Tasarımı



**Şekil 4.11:** Basınç etkisindeki kiriş başlığı ve gövdesi (EN 1993-1-8, 2005)

Basınç etkisindeki kirişin gövdesi kirişin dayanımına ek bir sınırlama getirdiğinden bu bileşenin tasarım dayanımı belirlenirken kirişin dayanımından fazla olmaması sağlanır. Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'de basınç etkisindeki kiriş başlığı ve gövdesinin dayanımı aşağıdaki denklem ile tanımlanır.

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} \quad (4.24)$$

Burada;

$h$  : Kirişin derinliği

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

$M_{c,Rd}$  : Kiriş enkesitinin eğilme moment dayanımı (EN 1993-1-1).

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.25)$$

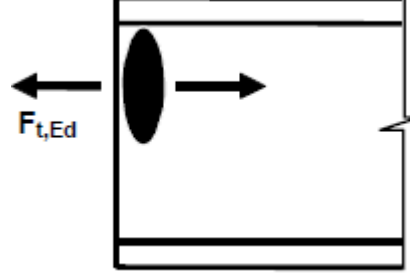
Burada;

$W_{pl}$  : Kiriş enkesitinin plastik mukavemet momenti

$F_y$  : Kiriş akma dayanımı

$\gamma_{M0}$  : Enkesit dayanımı için kısmi katsayı (1.0)

#### 4.1.7 Çekme Etkisindeki Kiriş Gövdesi Tasarımı



**Şekil 4.12:** Çekme etkisinde kiriş gövdesi (EN 1993-1-8, 2005)

Kiriş kolon birleşim detayında bu bileşenin dayanım hesabı çekme etkisindeki kolon gövdesi tasarımına benzer şekilde gerçekleştirilir. Kirişin geometrik ve mekanik özellikleri dikkate alınarak kiriş gövdesinin çekme etkisindeki dayanımı Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğine göre aşağıda verilen Denklem 4.26 ile hesaplanır.

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \times t_{wb} \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.26)$$

Burada;

$t_{wb}$  : Kiriş gövde kalınlığı

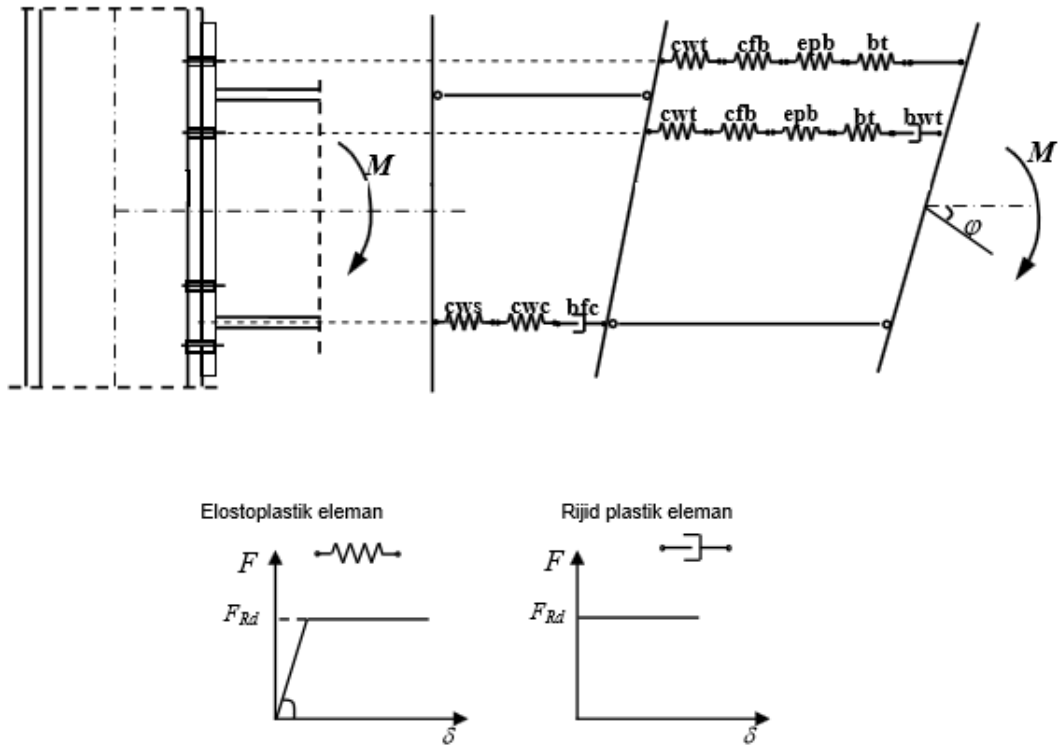
$\gamma_{M0}$  : : Enkesit dayanımı için kısmi güvenlik katsayısı (1.0)

$b_{eff,t,wb}$  : Kiriş gövdesinin çekmede etkili genişliği olarak tanımlanır ve eğilme etkisindeki T parçası ile modellenen alın levhasının etkili genişliği olan  $l_{eff}$  ile eşit olarak alınmalıdır. Bu yüzden  $b_{eff,t,wb}$  değeri Çizelge 4.4 veya Çizelge 4.5'e göre hesaplanmaktadır.

## 4.2 BAŞLANGIÇ DÖNME RİJİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Bulonlu kiriş kolon birleşim bölgesinin moment dönme ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi başlangıç rijitliğidir. Literatürde bulonlu kiriş kolon birleşimlerinin başlangıç rijitliklerinin bulunması için yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Eurocode yönetmeliği EN 1993-1-8 (2005)'de birleşimlerin başlangıç rijitliklerini belirlemek için elemana dayalı metod kullanılır. Bu yöntemde birleşimin davranışı her biri belirli rijitlik ve dayanıma sahip elastik yaylarla temsil edilen bir dizi elemanla tanımlanır. Daha sonra tüm yayları paralel bağlayarak birleşimin başlangıç rijitliği elde edilir.

Bu çalışmada kullanılan dört bulonlu alın levhalı bulonlu birleşim için çıkarılan mekanik model Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Bu model de sadece eğilme dayanımına etkisi olan elemanlar rijit plastik yay olarak, diğer elemanlar ise elasto plastik yay elemanı olarak modellenmiştir.



Şekil 4.13: Dört bulonlu alın levhalı bulonlu birleşimin yay modellemesi

Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğine göre bağlanan elemandaki eksenel normal kuvvet  $N_{ed}$ , enkesitinin normal kuvvet tasarım dayanımı  $N_{pl,Rd}$  nin %5'ini aşmıyorsa alın levhalı bulonlu birleşimler için dönme rijitliği aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenir.

$$K_{\phi} = \frac{E \times z_{eq}^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (4.27)$$

Burada;

$E$  : Çelik elastisite modülü

$z$  : Moment kolu Denklem 4.29 ile hesaplanır

$k_i$  : Elemana dayalı yöntemde belirlenen bölgeler için ayrı ayrı hesaplanan rijitlik katsayısı

#### 4.2.1 Kayma Etkisindeki Kolon Gövdesinin Kesme Kuvveti Rijitliği

Kesme etkisindeki kolon gövdesini modelleyen yayın eksenel rijitliği aşağıda verilen Denklem 4.28'de hesaplanır. Bu denklem rijitleştirilmemiş tek taraflı veya çift taraflı aynı kiriş derinliklerine sahip birleşimler için kullanılır.

$$k_1 = \frac{0.38 \times A_{vc}}{\beta \times z} \quad (4.28)$$

Burada;

$A_{vc}$  : Kolon gövde kesme alanı

$\beta$  : Dönüşüm katsayısı (1.0)

$z$  : Alın levhalı ve 2' den fazla bulonlu birleşimler için  $z = z_{eq}$  kabul edilir.

Eşdeğer moment kolu  $z_{eq}$  aşağıdaki denklem ile belirleir.

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \times h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \times h_r} \quad (4.29)$$

Burada;

$h_r$  : Basınç merkezi ve r. bulon arasındaki mesafe

$k_{eff,r}$  : Etkili rijitlik katsayısı (Denklem 4.30)

r. bulon sırası için etkili narinlik katsayısı,

$$k_{\text{eff},r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (4.30)$$

denklemlerle belirlenmelidir. Burada;

$k_{i,r}$  : r. bulon sırasına ait i. birleşim rijitlik katsayısı

Rijitleştirilmiş kolon kiriş birleşimleri için rijitlik katsayısı  $k_1 = \infty$  kabul edilir.

#### 4.2.2 Basınç Etkisindeki Kolon Gövdesinin Rijitliği

Basınç etkisindeki kolon gövdesinin yay modelinin başlangıç rijitliğini aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır. Bu denklem rijitleştirilmemiş kiriş kolon birleşimleri için kullanılır.

$$k_2 = \frac{0.7 \times b_{\text{eff},c,wc} \times t_{wc}}{d_c} \quad (4.31)$$

Burada;

$d_c$  : Kolon gövde derinliği

$t_{wc}$  : Kolon gövde kalınlığı

$b_{\text{eff},c,wc}$  : Etkili genişlik (Denklem 4.32)

Basınç etkisindeki kiriş başlığından  $45^\circ$  lik açıyla yayılan kuvvete ait etkili genişlik alın levhalı bulonlu birleşimler için

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \times a_p + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p \quad (4.32)$$

denklemlerle belirlenir. Burada;

$t_{fb}$  : Kiriş başlık kalınlığı

$a_p$  : Kaynak dikiş kalınlığı

$s$  : Hadde I ve H profilleri için  $s = r_c$

Kaynaklı I ve H profilleri için  $s = \sqrt{2} \times \alpha_c$

$s_p$  : Basınç kuvvetinin alın levhasından  $45^\circ$  'lik açı ile yayılmasıyla elde edilen uzunluk (en az  $t_p$  olmalıdır, alın levhası bulonlu birleşimlerde  $2 \times t_p$  alınabilir).

Rijitleştirilmiş kiriş-kolon birleşimleri için rijitlik katsayısı  $k_2 = \infty$  kabul edilir.

### 4.2.3 Çekme Etkisindeki Kolon Gövdesinin Rijitliği

Çekme etkisindeki kolon gövdesinin yay modelinin rijitliği aşağıda verilen denklem ile belirlenir. Kolon gövdesi T parçası olarak modellenen kolon gövdesinin rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş birleşimde her bir bulon sırasına göre rijitlik hesabı ayrı ayrı dikkate alınır.

$$k_3 = \frac{0.7 \times b_{\text{eff,t,wc}} \times t_{\text{wc}}}{d_c} \quad (4.33)$$

Burada;

$d_c$  : Kolon gövde derinliği

$t_{\text{wc}}$  : Kolon gövde kalınlığı

$b_{\text{eff,t,wc}}$  : Etkili genişlik. Bulonlu birleşimler için Bölüm 4.1.4' de açıklanan kolon başlığını temsil eden T-parçasının etkin uzunluğuna eşit olarak alınır.

### 4.2.4 Eğilme Etkisindeki Kolon Başlığının Rijitliği

Eğilme etkisindeki kolon başlığı Bölüm 4.1.4'de anlatıldığı gibi eşdeğer T parçası ile modellenir. Her bir bulon sırasına ait T parçasının etkili uzunlukları hesaplandıktan sonra tek bir bulon sırası için eğilme etkisindeki kolon başlığına karşılık gelen yay elemanının rijitlik değeri Denklem 4.34 ile belirlenir.

$$k_4 = \frac{0.9 \times l_{\text{eff}} \times t_{\text{fc}}^3}{m^3} \quad (4.34)$$

Burada;

$t_{\text{fc}}$  : Kolon başlık kalınlığı

$l_{\text{eff}}$  : Etkili genişlik. Kiriş-kolon birleşim bölgesinin rijitleştirilmemiş olması durumunda Çizelge 4.2'ye göre, rijitleştirilmiş olması durumunda ise Çizelge 4.3'e göre hesaplanır.

### 4.2.5 Eğilme Etkisindeki Alın Levhası Rijitliği

Eğilme etkisindeki kolon başlığına benzer şekilde eğilme etkisi altındaki alın levhasıda eşdeğer T parçası ile modellenir. Her bir bulon sırasına ait T parçasının etkili uzunlukları hesaplandıktan sonra tek bir bulon sırası için eğilme etkisindeki alın levhasına karşılık gelen yay elemanının rijitlik değeri Denklem 4.35 ile belirlenir.

$$k_5 = \frac{0.9 \times \ell_{\text{eff}} \times t_p^3}{m^3} \quad (4.35)$$

Burada;

$t_p$  : Alın levhası kalınlığı

$\ell_{\text{eff}}$  : Etkili genişlik. Rijitleştirilmiş kiriş-kolon birleşim bölgesi için sırasıyla Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'ye göre hesaplanır.

#### 4.2.6 Çekme Etkisindeki Bulonların Rijitliği

Her bir bulon sırası için çekme etkisinde bulonları modelleyen yay elemanının rijitliği,

$$k_{10} = \frac{1.6 \times A_s}{L_b} \quad (4.36)$$

denklemleri ile belirlenir. Burada;

$L_b$  : Bulon uzunluğu (Bağlanan levhaların ve bulonların kalınlığı, somun ve bulon başının yarım kalınlıkları cinsinden hesaplanır.)

$A_s$  : Bulon alanı

#### 4.2.7 Alın Levhalı Bulonlu Birleşimlerin Başlangıç Rijitliği

EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğinde çekme bölgesinde bir veya birden çok bulon sırası bulunan alın levhalı bulonlu birleşimlerin başlangıç dönme rijitliklerinin belirlenmesinde izlenen yol kısaca açıklanmıştır. Konunun bütünlüğü açısından bu yöntem burada kısaca özetlenecektir.

(1) Her bir bulon sırası rijitliği  $k_{\text{eff},r}$  aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$k_{\text{eff},r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (4.37)$$

(2) Kiriş gövdesinin basınç merkezi etrafında rijit dönme yaptığı kabul edilerek, çekme bölgesindeki bulon sıralarının eşdeğer toplam rijitliği,  $k_{\text{eq}}$ , hesaplanır.

$$k_{\text{eq}} = \frac{\sum_r k_{\text{eff},r} \times h_r}{z_{\text{eq}}} \quad (4.38)$$



Burada  $z_{eq}$

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \times h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \times h_r} \quad (4.39)$$

(3) Birleşimin başlangıç rijitliği, bulon sıralarından bağımsız elemanların rijitlikleri ile bulon sıralarının eşdeğer toplam rijitliğinin, birleştirilmesiyle hesaplanır.

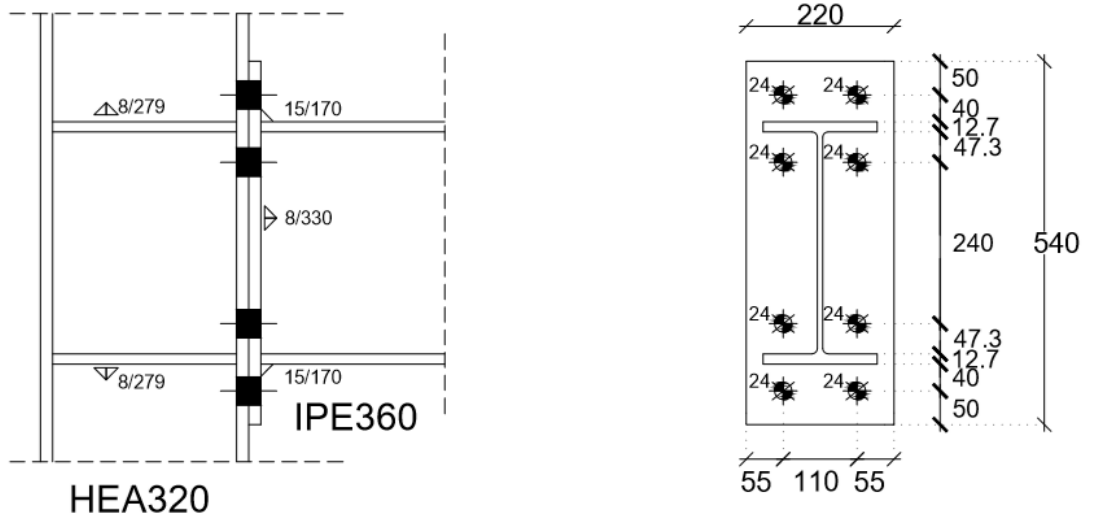
Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'de  $k_{eq}$  eşdeğer rijitlik katsayısının hesabında alın levhali bulonlu birleşimler için ele alınabilecek  $k_i$  rijitlik katsayıları tanımlanmıştır. Alın levhali bulonlu birleşimler için kullanılan rijitlik katsayıları aşağıda verilmiştir.

- Çekme etkisindeki kolon gövdesi ( $k_3$ )
- Eğilme etkisindeki kolon başlığı ( $k_4$ )
- Eğilme etkisindeki alın levhası ( $k_5$ )
- Çekme etkisindeki bulonlar ( $k_{10}$ )

## 5.SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde Bölüm 5'de açıklanan TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliklerinde verilem kiriş kolon birleşimlerinin moment taşıma kapasitesi ve başlangıç rijitliklerini kapsayan tasarım süreci bir birleşim detayı üzerinde sayısal olarak gösterilmiştir. Seçilen birleşim detayı TBDY (2018) yönetmeliğinde verilen alın levhali dört bulonlu kiriş kolon birleşim detayıdır.

İlk olarak aşağıdaki Şekil 5.1'de verilen kiriş-kolon birleşimi ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) 'e yönetmeliklerine göre tasarlanmış ve moment kapasitesi belirlenmiştir. Çelik sınıfı, en kesit özellikleri, uygulama sınırları ve diğer geometrik özellikler belirlenmiş ve ilerleyen kısımlarda gösterilmiştir. İkinci aşamasında ise aynı kiriş kolon birleşimin Eurocode EN 1993 1-8 (2005) yönetmeliğinde verilen elamana dayalı metod kullanılarak moment kapasitesi ve rijitliği hesaplanmıştır. Daha sonra birleşime ait moment dönme eğriliği EN 1993 1-8 (2005)'de tanımlanan tek doğrulu ve çok doğrulu model ile ifade edilmiştir. Sayısal bölümün son aşamasında hesaplanan değerlerin doğruluğunun kontrolü için aynı özelliklere sahip kiriş kolon birleşim detayının deneysel sonuçları dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar için literatür özetinde kısa özeti verilen Nogueiro vd. (2006) çalışması kullanılmıştır.



Şekil 5.1: Kiriş-kolon birleşim detayı

## 5.1 TBDY (2018)'E GÖRE MOMENT KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

### (a) Çelik sınıfı

S355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$

### (b) Enkesit özellikleri

- Kolon HEA 320

$d = 310 \text{ mm}$   $h = 225 \text{ mm}$   $h_w = 279 \text{ mm}$   $b = 300 \text{ mm}$   $t_w = 9 \text{ mm}$   $t_f = 15.5 \text{ mm}$

$r = 27 \text{ mm}$   $A = 12440 \text{ mm}^2$

-Kiriş IPE360

$d = 360 \text{ mm}$   $h = 298.6 \text{ mm}$   $h_w = 334.6 \text{ mm}$   $b = 170 \text{ mm}$   $t_w = 9 \text{ mm}$   $t_f = 12.7 \text{ mm}$

$A = 7273 \text{ mm}^2$

-Alın Levhası

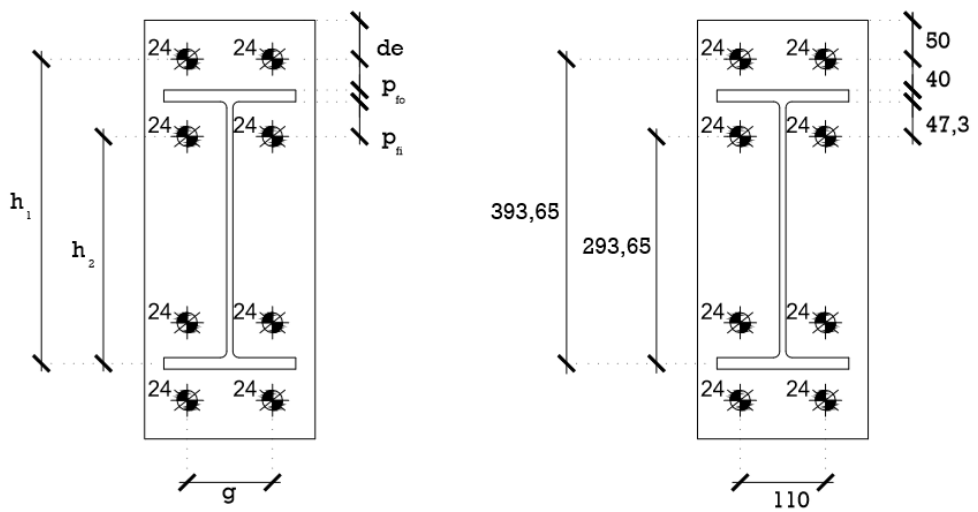
$t_p = 18 \text{ mm}$   $b_p = 220 \text{ mm}$   $h_p = 540 \text{ mm}$

-Süreklilik Levhası

$t_s = 15 \text{ mm}$

-Bulonlar ve Bulon Mesafeleri

M24 10.9



Şekil 5.2: Kiriş-kolon birleşim detayına ait özellikler

### (c) TBDY (2018)'e göre uygulama sınır kontrolleri

TBDY (2018)'e göre tam dayanımlı bulonlu alın levhali birleşimlerden 4 bulonlu rijitlik levhasız birleşim tipi için uygulama sınırları aşağıda verilen Çizelge 5.1'de kontrol edilmiş ve birleşim detayı özelliklerinin yönetmeliğe uygun olduğu gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Tam dayanımlı bulonlu alın levhali birleşimlerin uygulama sınır kontrolleri

Birleşim Detayı Özellikleri	Uygulama Sınırları
Plastik mafsalın kolon yüzünden uzaklığı, $l_h$	$\min(d_b / 2, 3b_f) = 180\text{mm}$
Alın levhası kalınlığı, $t_p$	$12\text{mm} \leq t_p = 18\text{mm} \leq 60\text{mm}$
Alın levhası genişliği, $b_p$	$160\text{mm} \leq b_p = 220\text{mm} \leq 300\text{mm}$
Bulonlar arasındaki yatay uzaklık, $g$	$100\text{mm} \leq g = 110\text{mm} \leq 155\text{mm}$
$p$ ( $p_{fi}$ ve $p_{fo}$ )	$40\text{mm} \leq p_{fi} = 47.3\text{mm} \leq 115\text{mm}$ $40\text{mm} \leq p_{fo} = 40\text{mm} \leq 115\text{mm}$
Kiriş enkesit yüksekliği, $d_b$	$270\text{mm} \leq d_b = 360\text{mm} \leq 1400\text{mm}$
Kiriş başlık kalınlığı, $t_{bf}$	$10\text{mm} \leq t_{bf} = 12.7\text{mm} \leq 25\text{mm}$
Kolon enkesit yüksekliği, $d_c$	$d_c \leq 920\text{mm}$
Bulon sınıfı	10.9
Alın levhası malzeme sınıfı	S355
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

### (d) Kullanılan bulon çapına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi

TBDY (2018)'de gerekli bulon çapı

$$d_{b,\text{gerekli}} = \sqrt{\frac{2 \times M_{uc}}{\pi \times \phi \times F_{nt} \times (h_1 + h_2)}} \quad (5.1)$$

Denklemlerle belirlenir. Bu denklemlerle örnekte kullanılacak olan bulon çapının yeterliliği hesaplanır. Yukarıdaki denklem düzenlendiğinde Denklem 5.2 elde edilir. Böylece moment kapasitesinin en büyük değerini buluruz.

$$M_{uc} < \frac{d_b^2 \times \pi \times \phi \times F_{nt} \times (h_1 + h_2)}{2} \quad (5.2)$$

Burada bulon çapı  $d_b = 24\text{mm}$ , bulon çekme kuvveti  $F_{nt} = 750\text{kN}$ , bulon merkezlerinden kiriş alt başlığının merkezine uzaklıklar  $h_1 = 393,65\text{mm}$  ve  $h_2 = 293,65\text{mm}$  olarak verilmiştir. Buna göre verilenler denklemde yerlerine konulursa moment kapasitesinin maksimum değeri;

$$M_{uc} < \frac{24^2 \times \pi \times 0,90 \times 750 \times (393,65 + 293,65)}{2} \times 10^{-6} \quad M_{uc} < 420\text{kNm}$$

olarak hesaplanmıştır

#### **(e) Bulonların çekme dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Birleşimde kullanılan M24 (10.9) bulonlarının karakteristik çekme dayanımları ÇYTHYE (2016) Denklem 13.10a kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre Denklem 5.3 ile gösterilmiştir.

$$R_{nt} = 750 \times \left( \frac{\pi \times 24^2}{4} \right) \times 10^{-3} = 339\text{kN} \quad (5.3)$$

Yukarıda verilen denklemde bir bulona ait çekme dayanımı verilmiştir. Kullanılan kiriş-kolon birleşiminde bir sırada 2 bulon olmak üzere 2 sırada toplam 4 bulon vardır. Buna göre 4 bulon için moment değeri Denklem 5.4b ile gösterilmiştir.

$$M_n = 2 \times R_{nt} \times h_1 + 2 \times R_{nt} \times h_2 \quad (5.4a)$$

$$M_n = 2 \times 339 \times (393,65 \times 10^{-3}) + 2 \times 339 \times (293,65 \times 10^{-3}) = 465\text{kNm} \quad (5.4b)$$

Buna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri için  $M_{uc} < \phi \times M_n$  eşitliğinin sağlanması gerekir.

$$\phi \times M_n = 0.75 \times 465 = 350\text{kNm} \quad (5.5)$$

Bulon çekme dayanımına göre birleşimin moment kapasitesinin en büyük değeri  $M_{uc} < 350\text{kNm}$  olarak bulunmuştur.

**(f) Bulonların kesme dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Bulonların kayma kırılması dayanımı Denklem 5.6b'de verilmiştir.

$$\phi \times R_n = \phi \times n_b \times F_{nv} \times A_b \quad (5.6a)$$

$$\phi \times R_n = 0.75 \times 4 \times 450 \times 452 \times 10^{-3} = 610 \text{ kN} \quad (5.6b)$$

Yukarıdaki denklemde hesaplanan bulonların kayma kırılması durumuna göre olan dayanımı kullanılarak  $M_{uc} \leq \phi \times R_n \times \ell_h + M_{pr}$  eşitliği ile birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanmıştır.

$$M_{uc} \leq 610 \times (180 \times 10^{-3}) + 900 = 1009 \text{ kNm} \quad (5.7)$$

Buna göre bulonların kayma kırılması durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin en büyük değeri  $M_{uc} \leq 1009 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

**(g) Bulon deliklerinin ezilme dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Kiriş üst başlığının üst kısmında kalan 1.bulon sırasında bulunan 2 bulon deliğinin ezilme dayanımı Denklem 5.8a kullanılarak hesaplanmıştır. Burada bulon çapı  $d=24 \text{ mm}$ , alın levhası kalınlığı  $t_p=18 \text{ mm}$  ve kolon çekme dayanımı  $F_u=510 \text{ MPa}$  olarak verilmiştir.

$$\phi_n \times R_{ni} = \phi_n \times 2.4 \times d \times t_p \times F_u \quad (5.8a)$$

$$\phi_n \times R_{ni} = 0.75 \times 2.4 \times 24 \times 18 \times 510 = 396 \text{ kN} \quad (5.8b)$$

Kiriş üst başlığının alt kısmında kalan 2.bulon sırasında bulunan 2 bulon deliğinin ezilme dayanımı Denklem 5.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\phi_n \times R_{no} = \phi_n \times 1.2 \times \ell_c \times t_p \times F_u \quad (5.9)$$

Burada  $\ell_c$  bulon deliğinin kenarı ile alın levhasının kenarı arasındaki mesafe olarak tanımlanır ve Denklem 5.10a ile hesaplanır. Denklemde alın levhası kenarı ile bulon deliği merkezi arasındaki mesafe  $d_e=50 \text{ mm}$ , bulon deliği çapı ise  $d+2=26 \text{ mm}$  olarak verilmiştir.

$$\ell_c = d_e - \frac{d+2}{2} \quad (5.10a)$$

$$\ell_c = 50 - \frac{24+2}{2} = 37\text{mm} \quad (5.10b)$$

$$\phi_n \times R_{no} = 0.75 \times 1.2 \times 37 \times 18 \times 510 \times 10^{-3} = 311\text{kN} \quad (5.11)$$

Buna göre yukarıdaki denklemlerden elde edilen toplam dayanım değerleri Denklem 5.12'de gösterilmiştir.

$$\phi_n \times R_n = 2 \times 396 + 2 \times 311 = 1414\text{kN} \quad (5.12)$$

Yukarıdaki denklemde hesaplanan bulon deliklerinin ezilme durumuna göre olan dayanım kullanılarak  $M_{uc} \leq \phi \times R_n \times \ell_h + M_{pr}$  eşitliği ile birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanır.

$$M_{uc} \leq 1414 \times (180 \times 10^{-3}) + 900 = 1154\text{kNm} \quad (5.13)$$

Buna göre bulon deliklerinin ezilmesi durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri  $M_{uc} \leq 1154\text{kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

#### (h) Gerekli alın levhası kalınlığının belirlenmesi

Gerekli alın levhası kalınlığının belirlenmesi için Denklem 5.14 kullanılmıştır.

$$t_{p,gerekli} = \sqrt{\frac{1.11 \times \phi \times M_n}{\phi_b \times F_{yp} \times Y_p}} \quad (5.14)$$

Burada s değeri 2.sıradaki bulonların merkezinden alın levhasının merkezine olan uzaklık olarak ifade eder ve Denklem 5.15a ile belirlenir. Burada alın levhası genişliği  $b_p = 220\text{mm}$ , iki bulon arası yatay mesafe  $g = 110\text{mm}$  olarak verilmiştir.

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p \times g} \quad (5.15a)$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{220 \times 110} = 77\text{mm} \quad (5.15b)$$

Denklem 6.14'te bulunan alın levhası akma çizgisi değişkeni  $Y_p$  değeri  $d_e$  ve s değerlerine göre belirlenir. Buna göre bulunan s değeri, bulon merkezinden alın

levhasına dik uzaklığı  $d_e$  değerinden büyük ise yani  $d_e \leq s$  ise;  $Y_p$  değeri Denklem 5.16a ile;

$$Y_p = \frac{\frac{b_p}{2} \left( h_2 \times \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \times \left( \frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right) + 2 \times (h_2 \times (p_{fi} + s) + h_1 \times (d_e + p_{fo}))}{g} \quad (5.16a)$$

Bulunan  $s$  değeri, bulon merkezinden alın levhasına dik uzaklığı olan  $d_e$  değerinden küçük ise yani  $d_e > s$  ise;  $Y_p$  değeri denklem (5.16b) ile hesaplanır.

$$Y_p = \frac{\frac{b_p}{2} \left( h_2 \times \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \times \left( \frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{s} \right) \right) + 2 \times (h_2 \times (p_{fi} + s) + h_1 \times (s + p_{fo}))}{g} \quad (5.16b)$$

$d_e = 50\text{mm} \leq s = 77\text{mm}$  olduğundan

$$Y_p = 3773\text{mm}$$

Bulunan değerler yerlerine konularak gerekli olan alın levhası kalınlığı aşağıda hesaplanmıştır.

$$t_{p,\text{gerekli}} = \sqrt{\frac{1.11 \times 350}{0.90 \times (355 \times 10^3) \times (3773 \times 10^{-3})}} = 0.018\text{m}$$

#### (i) Alın levhası akma dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi

Alın levhası akma kapasitesi Denklem 5.17a ile hesaplanmıştır. Burada alın levhası karakteristik akma gerilmesi olan  $F_y = 355\text{MPa}$  dir.

$$\phi \times R_n = \phi \times 0.60 \times F_y \times t_p \times b_p \quad (5.17a)$$

$$\phi \times R_n = 0.90 \times 0.60 \times 355 \times 18 \times 220 \times 10^{-3} = 759\text{kN} \quad (5.17b)$$

Yukarıdaki denklem düzenlendiğinde Denklem 5.18a elde edilir ve Denklem 5.18b kullanılarak moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanır.

$$M_{uc} \leq (\phi \times R_n) \times 2 \times (d - t_{fb}) \quad (5.18a)$$

$$M_{uc} \leq 759 \times 2 \times (310 - 12.7) \times 10^{-3} = 450\text{kNm} \quad (5.18b)$$



Buna göre alın levhasının akma durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri  $M_{uc} \leq 450 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

**(i) Alın levhası kopma dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Alın levhası kopma kapasitesi Denklem 5.19 ile hesaplanır. Burada alın levhası karakteristik çekme gerilmesi  $F_u = 510 \text{ MPa}$  dir. Alın levhası net alanı  $A_n$  Denklem 5.20a ile hesaplanmıştır.

$$\phi \times R_n = \phi \times 0.60 \times F_u \times A_n \quad (5.19)$$

$$A_n = t_p \times (b_p - 2 \times d_e) \quad (5.20a)$$

$$A_n = 18 \times (220 - 2 \times 50) = 2160 \text{ mm}^2 \quad (5.20b)$$

$$\phi \times R_n = (0.75 \times 0.60 \times 510 \times 2160) \times 10^{-3} = 495 \text{ kN} \quad (5.21)$$

Yukarıdaki denklem düzenlendiğinde Denklem 5.22a elde edilir ve Denklem 5.22b ile moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanır.

$$M_{uc} \leq (\phi \times R_n) \times 2 \times (d - t_{fb}) \quad (5.22a)$$

$$M_{uc} \leq 495 \times 2 \times (310 - 12.7) \times 10^{-3} = 294 \text{ kNm} \quad (5.22b)$$

Buna göre alın levhasının kopma durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri  $M_{uc} \leq 294 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

**(j) Gerekli kolon başlığı kalınlığının belirlenmesi**

Gerekli kolon başlığı kalınlığının belirlenmesi için Denklem 5.23 kullanılmıştır.

$$t_{fc,gerekli} = \sqrt{\frac{1.11 \times \phi \times M_n}{\phi_d \times Y_c \times F_y}} \quad (5.23)$$

Burada s değeri için kolon başlık genişliği  $b_c = 300 \text{ mm}$  , iki bulon arası yatay mesafe  $g = 110 \text{ mm}$  olarak verilmiştir.

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_c \times g} \quad (5.24a)$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{300 \times 110} = 90 \text{ mm} \quad (5.24b)$$

Denklem 5.23'te bulunan kolon başlığı akma çizgisi değişkeni  $Y_c$  değeri  $p_{si}, p_{so}$  ve  $s$  değerlerine göre belirlenir. Buna göre  $p_{si}, p_{so}$  değerleri Denklem 5.25a ile hesaplanır. Burada 1. bulon sırası ile kiriş başlığı arasındaki mesafe  $p_{fo} = 40 \text{ mm}$ , kiriş başlığı ile 2. bulon sırası arasındaki mesafe  $p_{fi} = 47,3 \text{ mm}$ , kiriş başlık kalınlığı  $t_{fb} = 12,7 \text{ mm}$  ve süreklilik levhası kalınlığı  $t_s = 15 \text{ mm}$  olarak alınmıştır.

$$p_{si} = p_{so} = \frac{(p_{fo} + p_{fi} + t_{fb}) - t_s}{2} \quad (5.25a)$$

$$p_{si} = p_{so} = \frac{(40 + 47.3 + 12.7) - 15}{2} = 42.5 \text{ mm} \quad (5.25b)$$

Buna göre bulunan  $p_{si} = p_{so}$  değeri,  $s$  değerinden küçük ise yani  $p_{si} < s$  ise  $Y_c$  değeri Denklem 5.26a ile hesaplanmıştır.

$$Y_c = \frac{b_c}{2} \times \left( h_2 \times \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_1 \times \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right) + \frac{2}{g} \times (h_2 \times (s + p_{si}) + h_1 \times (s + p_{so})) \quad (5.26a)$$

$$Y_c = \frac{300}{2} \times \left( 293.65 \times \left( \frac{1}{90} + \frac{1}{42.5} \right) + 393.65 \times \left( \frac{1}{90} + \frac{1}{42.5} \right) \right) + \frac{2}{110} \times (293.65 \times (90 + 42.5) + 393.65 \times (90 + 42.5)) = 5226 \text{ mm} \quad (5.26b)$$

Bulunan değerler yerlerine konularak gerekli kolon başlık kalınlığı

$$t_{fc, \text{gerekli}} = \sqrt{\frac{1.11 \times (350 \times 10^3)}{0.90 \times 5226 \times 355}} = 15.25 \text{ mm} \quad (5.27)$$

bulunmuştur.

### **(k) Kolon başlığı eğilme dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Kolon başlığı eğilme kapasitesi Denklem 5.28a ile hesaplanmıştır. Burada kolon karakteristik akma gerilmesi  $F_y = 355 \text{ MPa}$ , kolon başlığı akma çizgisi  $Y_c = 5226 \text{ mm}$ , kolon başlık kalınlığı  $t_{fc} = 15,5 \text{ mm}$  olarak alınmıştır.

$$\phi \times M_{fc} = \phi_b \times F_y \times Y_c \times t_{fc}^2 \quad (5.28a)$$

$$\phi \times M_{fc} = (0.90 \times 355 \times 5226 \times 15.5^2) \times 10^{-6} = 401 \text{ kNm} \quad (5.28b)$$

Yukarıdaki denklem düzenlendiğinde Denklem 5.29 elde edilir ve Denklem 5.29 ile moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanır.

$$M_{uc} \leq \phi \times M_{fc} \quad (5.29)$$

Buna göre kolon başlığı eğilme durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri  $M_{uc} \leq 401 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

### **(I) Kolon gövdesi yerel akma dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Kolon gövdesi yerel akma dayanımı Denklem 5.30a ile hesaplanmıştır. Burada kolon karakteristik akma gerilmesi  $F_y = 355 \text{ MPa}$ , kolon gövde kalınlığı  $t_{wc} = 9 \text{ mm}$ , kiriş başlık kalınlığı  $t_{fb} = 12,7 \text{ mm}$  olarak alınmıştır.  $C_t$  değeri ise kolon üst ucu olmadığı için 1.0 olarak kabul edilmiştir. Kolon başlığından gövde kaynağına mesafe olarak bilinen  $k_c$  değeri Bölüm 3.1.11 e göre hesaplanır.

$$\phi_d \times R_n = 1.0 \times [C_t \times (6 \times k_c + t_{fb} + 2 \times t_p)] \times F_y \times t_{wc} \quad (5.30a)$$

$$\phi_d \times R_n = 1.0 \times [1.0 \times (6 \times 42.5 + 12.7 + 2 \times 18)] \times 355 \times 9 \times 10^{-3} = 970 \text{ kN} \quad (5.30b)$$

Burada  $\phi_d \times R_n > F_{tu}$  eşitliğinin sağlanması gerekir. Eşitlik düzenlendiğinde Denklem 5.31a elde edilir ve Denklem 5.31b ile moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanır.

$$M_{uc} \leq (\phi_d \times R_n) \times (d - t_{bf}) \quad (5.31a)$$

$$M_{uc} \leq 970 \times (310 - 12.7) \times 10^{-3} = 288 \text{ kNm} \quad (5.31b)$$

Buna göre kolon gövdesi yerel akma durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri  $M_{uc} \leq 288 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

**(m) Kolon gövdesi yerel burkulma dayanımına göre birleşimin moment kapasitesi belirlenmesi**

Kolon gövdesi yerel burkulma dayanımı Denklem 5.32 ile hesaplanır. Burada kolon karakteristik akma gerilmesi  $F_y = 355\text{MPa}$ , kolon gövde kalınlığı  $t_{wc} = 9\text{mm}$ , kolon başlık kalınlığı  $t_{fc} = 15,5\text{mm}$ , kolon en kesit yüksekliği  $d_c = 310\text{mm}$ , çelik elastisite modülü  $E = 200\text{MPa}$  alınmıştır.  $N$  ise burkulmanın olduğu bölgenin uzunluğudur ve Denklem 5.33a ile hesaplanır.

$$\phi \times R_n = \phi \times 0.80 \times t_{wc}^2 \times \left[ 1 + 3 \times \left( \frac{N}{d_c} \right) \times \left( \frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \times \sqrt{\frac{E \times F_y \times t_{fc}}{t_{wc}}} \quad (5.32)$$

$$N = b_{bf} + 2 \times t_p \quad (5.33a)$$

$$N = 170 + 2 \times 18 = 206\text{mm} \quad (5.33b)$$

$$\phi \times R_n = 0.75 \times 0.80 \times 9^2 \times \left[ 1 + 3 \times \left( \frac{206}{310} \right) \times \left( \frac{9}{15.5} \right)^{1.5} \right] \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \times 355 \times 15.5}{9}} \times 10^{-3}$$

$$\phi \times R_n = 1011\text{kN} \quad (5.34)$$

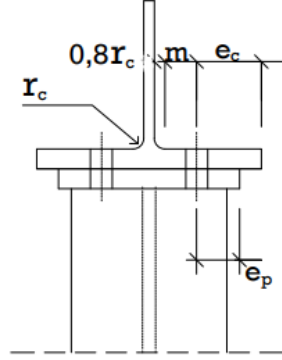
Burada  $\phi \times R_n > F_{tu}$  eşitliğinin sağlanması gerekir. Eşitlik düzenlendiğinde Denklem 5.35a elde edilir ve Denklem 5.35b ile moment kapasitesinin maksimum değeri hesaplanır.

$$M_{uc} \leq (\phi_d \times R_n) \times (d - t_{fb}) \quad (5.35a)$$

$$M_{uc} \leq 1011 \times (310 - 12.7) \times 10^{-3} = 300\text{kNm} \quad (5.35b)$$

Buna göre kolon gövdesi yerel burkulma durumuna göre birleşimin moment kapasitesinin maksimum değeri  $M_{uc} \leq 300\text{kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

## 5.2 EUROCODE EN 1993 1-8 (2005)'E GÖRE MOMENT KAPASİTESİ BELİRLENMESİ



**Şekil 5.3:** Kiriş-kolon birleşim detayında verilen değerler

### (a) Kayma Etkisindeki Kolon Gövdesinin Kesme Kuvveti Tasarımı

Kayma etkisindeki kolon gövdesi tasarım hesabı yapılırken öncelikle kolon gövdesi narinliği belirlenir.

$$\frac{d_c}{t_{wc}} \leq 69 \times \varepsilon \quad (5.36)$$

Burada kullanılan  $\varepsilon$  değeri ise Denklem 5.37'de verilmiştir. Denklemden belirtilen kolon akma kuvveti  $F_y$  355kN olarak alınmıştır.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{F_y}} \quad (5.37)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81 \text{ olarak bulunmuştur. Buna göre narinlik ;}$$

$$\frac{310}{9} \leq 69 \times 0,81 \text{ eşitliği } 34,44 \leq 55,89 \text{ olarak hesaplanmıştır. Eşitliğin sağlanması ile}$$

kesme kuvveti hesabı yapılır.

$$V_{cw,Rd} = 0,9 \times \frac{F_y \times A_{vc}}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} \quad (5.38)$$

Denklemden  $F_y = 355\text{kN}$ ,  $\gamma_{M0} = 1,0$  kolon kesme alanı  $A_{vc}$  ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A_{vc} = A_c - 2 \times b_c \times t_{fc} + (t_{wc} + 2 \times r_c) \times t_{fc} \quad (5.39)$$

$$A_{vc} = 12440 - 2 \times 300 \times 15,5 + (9 + 2 \times 27) \times 15,5 = 4116,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{cw,Rd} = 0,9 \times \frac{355 \times 4116,5}{\sqrt{3} \times 1,0} \times 10^{-3} = 759 \text{ kN} \quad (5.40)$$

### (b) Basınç Etkisindeki Kolon Gövdesinin Tasarımı

Basınç etkisindeki kolon gövdesi tasarımı aşağıdaki denklemlerle belirlenmiştir.

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \times k_{wc} \times b_{\text{eff},t,wc} \times t_{wc} \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.41)$$

Burada kolon gövde kalınlığı  $t_{wc} = 9 \text{ mm}$ , kolon akma dayanımı  $F_y = 355 \text{ kN}$ ,  $\gamma_{M0} = 1,0$  ve  $k_{wc} = 1,0$  olarak alınmıştır.  $b_{\text{eff},c,wc}$  efektif genişliği ise

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \times \alpha_p + 5 \times (t_{fc} + s) + s_p \quad (5.42)$$

Buna göre örnekte hadde profil kullanıldığı için  $s = r_c$  olarak kabul edilir. Bölüm 4'te de belirtildiği üzere  $s_p = 2 \times t_p$  olarak alınmıştır. O halde;

$$b_{\text{eff},c,wc} = 12,7 + 2 \times 15 + 5 \times (15,5 + 27) + 2 \times 18 = 291,2 \text{ mm} \quad (5.43)$$

Denklem (5.41)'de kullanılan  $\omega$  değeri bu tezin Bölüm 4.1.2'de belirtildiği gibi  $\beta = 1$  kabul edilmiş Çizelge 4.1'e göre  $\omega = \omega_1$  alınmıştır. Buna göre,

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \times \left( \frac{b_{\text{eff},t,wc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} \quad (5.44)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \times \left( \frac{291,2 \times 9}{4116,5} \right)^2}} = 0,81 \quad (5.45)$$

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{0,81 \times 1,0 \times 291,2 \times 9 \times 355}{1,0} = 753 \text{ kN} \quad (5.46)$$

### (c) Basınç Etkisindeki Kiriş Başlığı ve Gövdesinin Tasarımı

Basınç etkisindeki kiriş başlığı ve gövdesinin tasarımı aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenmiştir.

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} \quad (5.47)$$

Denklemden  $h$  kiriş derinliği,  $t_{fb}$  kiriş başlık kalınlığıdır.  $M_{c,Rd}$  ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{plx} \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.48)$$

Burada  $W_{plx}$  kiriş plastik mukavemet momenti,  $F_y$  kiriş akma dayanımıdır. Buna göre;

$$M_{c,Rd} = \frac{1019 \times 10^{-3} \times 355}{1,0} = 361 \text{ kNm} \quad (5.49)$$

Elde edilen değerler Denklem 5.47 de yerine yazıldığında.

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{361}{(298,6 - 12,7)} = 1265 \text{ kN} \quad (5.50)$$

bulunmuştur.

### (d) 1. bulon kolon başlığının eğilme etkisindeki tasarımı (cfb)

1. bulon sırası için kolon başlığının eğilmesi durumuna göre hesaplanan  $\ell_{eff}$  değerleri Denklem 5.51 ve 5.52'de hesaplanmıştır.

$$\ell_{eff,cp} = 2 \times \pi \times m \quad (5.51)$$

$$\ell_{eff,nc} = (\alpha \times m) \quad (5.52)$$

Denklemlerde verilen  $m$ , ve  $\alpha$  değerleri aşağıda verilmiştir. Burada  $m$  değeri belirlenirken iki bulon arası yatay mesafe  $w$ , kolon gövde kalınlığı  $t_{wc}$ , kolon atalet yarıçapı  $r_c$  kullanılmış ve Denklem 5.53b ile hesaplanmıştır.

$$m = \frac{w - t_{wc} - 2 \times 0.8 \times r_c}{2} \quad (5.53a)$$

$$m = \frac{110 - 9 - 2 \times 0.8 \times 27}{2} = 28.9 \text{ mm} \quad (5.53b)$$

Denklem 5.52'de kullanılan  $\alpha$  değeri için  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Bu denklemlerde kullanılan  $m_2$  ve  $e_c$  değerleri de aşağıda ayrıca belirtilmiştir.

Burada kullanılan  $e_c$  bulon gövdesinin kolon başlığına yatay mesafesidir ve  $e_c = 95 \text{ mm}$  olarak alınmıştır.

$$m_2 = \left( p_{fo} + \frac{t_{fb}}{2} - \frac{t_s}{2} \right) - 0.8 \times s_f \quad (5.54a)$$

$$m_2 = \left( 40 + \frac{12.7}{2} - \frac{15}{2} \right) - 0.8 \times 15 = 26.85 \text{ mm} \quad (5.54b)$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e_c} = \frac{28.9}{28.9 + 95} = 0.23 \text{ mm} \quad (5.55)$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e_c} = \frac{26.85}{28.9 + 95} = 0.21 \text{ mm} \quad (5.56)$$

$\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'ye bağlı olarak bulunan  $\alpha$  değeri Bölüm 4'te verilen Şekil 4.8 kullanılarak  $\alpha = 8.0$  olarak bulunmuştur.

$$I_{\text{eff,cp}} = 2 \times \pi \times 28.9 = 181.58 \text{ mm} \quad (5.57)$$

$$I_{\text{eff,nc}} = 8.0 \times 28.9 = 231.2 \text{ mm} \quad (5.58)$$

Kolon başlığında olma olasılığı olan üç göçme modu bulunmaktadır. Bu göçme modları;

Mod 1 : Bulonlar göçmeden kolon başlığının tamamen akması

Mod 2 : Kolon başlığının akmasıyla beraber bulonların göçmesi

Mod 3 : Kolon başlığı akmadan bulonların göçmesi



Göçme modu 1 için kolon başlığının çekme dayanımı hesabı aşağıdaki gibidir.

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \times M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (5.59)$$

Burada 1.bulon sırası için kolon başlığının moment kapasitesi  $M_{pl,1,Rd}$  değeri Denklem 5.60b'de hesaplanmıştır.

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,1} \times t_{fc}^2 \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.60a)$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \times 181.58 \times 15.5^2 \times 355}{1} = 3871 \times 10^{-3} \text{ kNm} \quad (5.60b)$$

Burada gerekli  $e_w$  değeri 9 mm, n değeri  $1.25 \times m$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre  $n=36.13$  mm olarak bulunmuştur.

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \times 3871 \times 10^3}{28.9} \times 10^{-3} = 535.77 \text{ kN} \quad (5.61)$$

Göçme modu 2 için 1.bulon sırasının kolon başlığının çekme dayanımı hesabı aşağıdaki gibidir.

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \times M_{pl,2,Rd} + n \times \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad (5.62)$$

Çekme dayanımı hesabında moment kapasitesi Denklem 5.63b'de hesaplanmıştır.

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,2} \times t_{fc}^2 \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.63a)$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \times 231.2 \times 15.5^2 \times 355}{1} = 4929 \times 10^{-3} \text{ kNm} \quad (5.63b)$$

Göçme modu 2 için çekme dayanımı denkleminde bulon çekme dayanım hesabı da hesaplara katılmıştır.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad (5.64a)$$

Burada;

$$k_2 : 0.9$$

$$\gamma_{M2} : 1.25$$

$$f_{ub} : 10.9 \text{ bulon sınıfı için } f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s : \text{Bulon alanı (M24 için } A_s = 353 \text{ mm}^2)$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times 1000 \times 353}{1.25} \times 10^{-3} = 254 \text{ kN} \quad (5.64b)$$

Yukarıda bulunan bulon çekme kuvveti tek bir bulona aittir. Fakat 1 bulon sırasında 2 tane bulon bulunmaktadır. Bu yüzden toplam bulon çekme kuvveti

$$\sum F_{t,Rd} = 2 \times 254 = 508 \text{ kN} \quad (5.65)$$

olarak elde edilmiştir.

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \times 4929 \times 10^3 + 36.13 \times 508}{28.9 + 36.13} \times 10^{-3} = 433.60 \text{ kN} \quad (5.66)$$

Göçme modu 3 için kolon başlığının çekme kuvveti hesabı aşağıdaki gibidir. Göçme modu 3 kolon başlığı akmadan bulonların göçmesi sınır durumu olduğu için sadece toplam bulon çekme kuvveti dikkate alınmıştır.

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 508 \text{ kN} \quad (5.67)$$

Göçme modlarından elde ettiğimiz 3 çekme kuvveti değerinden en küçüğü, çekme bölgesindeki kolon başlığının çekme kuvveti olarak kabul edilecektir. Bulunan değerler sırasıyla;

$$\text{Göçme modu 1 için } F_{t,1,Rd} = 535.77 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 2 için } F_{t,2,Rd} = 433.60 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 3 için } F_{t,3,Rd} = 508 \text{ kN}$$

olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden en küçüğü 2. Mod dan gelen  $F_{t,fc,Rd} = 433.60 \text{ kN}$  olduğundan tasarımda belirleyicidir.

**(e) 1.bulon sırası için çekme etkisindeki kolon gövdesinin tasarımı (cwt)**

Kolon gövdesinin çekme kuvveti Denklem 5.68 ile hesaplanmıştır.

$$F_{T,wc,Rd} = \frac{\omega \times b_{\text{eff},t,wc} \times t_{wc} \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.68)$$

Burada kullanılan kolon gövdesinin efektif uzunluğu  $b_{\text{eff},t,wc}$  değeri EN 1993-1-8 (2005) Bölüm 6.2.6.3'e göre çekme bölgesindeki kolon başlığının eşdeğer uzunluğu  $\ell_{\text{eff}}$  değerine eşit olarak kabul edilmiştir.

$$b_{\text{eff},t,wc} = \ell_{\text{eff},nc} = 231.2\text{mm}$$

Denklem 5.69'da belirtilen  $\omega$  değeri  $\beta$  parametresine göre hesaplanır. Eurocode EN 1993-1-8(2005)'de sağ taraflı kiriş-kolon birleşimi için  $\beta = \beta_1 = 1.0$  olarak verir. Buna göre Eurocode EN 1993-1-8(2005)'de  $\beta = 1$  olması durumunda  $\omega = \omega_1$  olarak kabul edilecektir.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \times \left( \frac{b_{\text{eff},t,wc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} \quad (5.69)$$

Burada kolon kesme alanı olarak belirtilen  $A_{vc}$ , Eurocode EN 1993-1-8 (2005) Bölüm 6.2.6'da verilen denklemlerle aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A_{vc} = A_c - (2 \times b_c \times t_{fc}) + (t_{wc} + 2 \times r_c) t_{fc} \quad (5.70)$$

$$A_{vc} = 12440 - (2 \times 300 \times 15.5) + (9 + 2 \times 27) \times 15.5 = 4116.5\text{mm}^2 \quad (5.71)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \times \left( \frac{231.2 \times 9}{4116.5} \right)^2}} = 0.87 \quad (5.72)$$

Bulunan tüm değerler Denklem 5.73'te yerine konularak kolon gövdesinin çekme kuvveti hesaplanmıştır.

$$F_{T,wc,Rd} = \frac{0.87 \times 231.2 \times 9 \times 355}{1} \times 10^{-3} = 642.65\text{kN} \quad (5.73)$$

**(f) 1.bulon sırası için alın levhasının eğilme etkisindeki tasarımı (epb)**

1.bulon sırası için alın levhasının eğilmesi durumuna göre hesaplanan  $l_{eff}$  değerleri Denklem 5.74 ve 5.75'te hesaplanmıştır.

$$l_{eff,cp} = \frac{2 \times \pi \times m_x}{\pi \times m_x + w} \quad (5.74)$$
$$\pi \times m_x + 2 \times e$$

$$l_{eff,nc} = \frac{4 \times m_x + 1.25 \times e_x}{e + 2 \times m_x + 0.625 \times e_x} \quad (5.75)$$
$$\frac{0.5 \times b_p}{0.5 \times w + 2 \times m_x + 0.625 \times e_x}$$

Birleşimin geometrik özelliklerine göre  $b_p=220\text{mm}$ ,  $e=55\text{mm}$   $e_x=50\text{mm}$  ve  $w=110\text{mm}$  olarak alınmıştır.  $m_x$  değeri ise Denklem 5.76b'de hesaplanmıştır.

$$m_x = \left( p_{fo} + \frac{t_{fb}}{2} \right) - 0.8 \times s_f \quad (5.76a)$$

$$m_x = \left( 40 + \frac{12.7}{2} \right) - 0.8 \times 15 = 34.35\text{mm} \quad (5.76b)$$

Burada n değeri  $1.25 \times m$  eşitliği kullanılarak  $42.94\text{mm}$  bulunmuştur.

$$n = 1.25 \times 34.35 = 42.94\text{mm} \quad (5.77)$$

Yukarıda bulunan değerlere göre  $l_{eff,cp}$  ve  $l_{eff,nc}$  uzunlukları

$$l_{eff,cp} = 2 \times \pi \times 34.35 = 215.83\text{mm}$$
$$\pi \times 34.35 + 110 = 217.91\text{mm}$$
$$\pi \times 34.35 + 2 \times 55 = 217.91\text{mm} \quad (5.78)$$

$$l_{eff,cp} = \min(215.83; 217.91; 217.91) = 215.83\text{mm}$$

$$l_{eff,nc} = 4 \times 34.35 + 1.25 \times 50 = 199.90\text{mm}$$
$$55 + 2 \times 34.35 + 0.625 \times 50 = 154.95\text{mm}$$
$$0.5 \times 220 = 110\text{mm} \quad (5.79)$$
$$0.5 \times 110 + 2 \times 34.35 + 0.625 \times 50 = 154.95\text{mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(199.90; 154.95; 110; 154.95) = 110\text{mm}$$

$l_{\text{eff,nc}} < l_{\text{eff,cp}}$  olduğu için  $l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,2}} = 110\text{mm}$  alınmıştır. Gerekli olan efektif uzunluk bulunduktan sonra ise göçme modları kullanılarak minimum çekme dayanımı belirlenmiştir.

Göçme modlarının çekme dayanımı hesabında kullanılan  $M_{\text{pl,Rd}}$  değeri aşağıda hesaplanmıştır. Buna göre efektif uzunluk göçme modu 1 ve göçme modu 2 için aynı değere sahip olduğundan, göçme modlarına ait moment değerleride aynı olmuştur. Burada kullanılan  $t_p$  alın levhasının kalınlığı,  $F_y$  alın levhası malzemesinin akma dayanımıdır.

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{0.25 \times l_{\text{eff}} \times t_p \times F_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.80a)$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{0.25 \times 110 \times 18^2 \times 355}{1} \times 10^{-6} = 3163 \times 10^{-3} \text{ kNm} \quad (5.80b)$$

Göçme modu 1 için moment değeri bulunduktan sonra Denklem 5.81'de yerine konularak çekme dayanımı hesabı yapılır.

Göçme modu 1

$$F_{\text{T,1,Rd}} = \frac{4 \times 3163 \times 10^3}{34.35} \times 10^{-3} = 368.32 \text{ kN} \quad (5.81)$$

Göçme modu 2

$$F_{\text{T,2,Rd}} = \frac{2 \times 3163 \times 10^3 + 42.94 \times 508}{34.35 + 42.94} \times 10^{-3} = 364 \text{ kN} \quad (5.82)$$

Göçme modu 3

$$F_{\text{T,3,Rd}} = \sum F_{\text{t,Rd}} = 508 \text{ kN} \quad (5.83)$$

Elde edilen göçme modlarından minimum değere sahip olanı, alın levhasının çekme dayanımı olarak kabul edilecektir. Bulunan değerler sırasıyla;

$$\text{Göçme modu 1 için } F_{\text{t,1,Rd}} = 368.32 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 2 için } F_{\text{t,2,Rd}} = 364 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 3 için } F_{\text{t,3,Rd}} = 508 \text{ kN}$$

olarak belirlenmiştir.

Buna göre bu değerlerden minimum olanı Göçme Mod 2 den gelen  $F_{t,ep,Rd} = 364 \text{ kN}$  alın levhasının çekme kuvvetidir.

Sonuç olarak 1.bulon sırası için çekme dayanımı değerleri aşağıdaki değerlerden minimum olanıdır.

$$F_{t,fc,Rd} = 433.60 \text{ kN}$$

$$F_{t,wc,Rd} = 642.65 \text{ kN}$$

$$F_{t,ep,Rd} = 364 \text{ kN}$$

Buna göre  $F_{t1,Rd} = 364 \text{ kN}$  1. Bulon sırası için çekme dayanım değeridir.

### **(g) 2.bulon sırası için kolon başlığının eğilme etkisindeki tasarımı (cfb)**

2.bulon sırası için kolon başlığının eğilmesi durumuna göre hesaplanan  $\ell_{eff}$  değerleri Denklem 5.84 ve 5.85'te hesaplanmıştır.

$$l_{eff,cp} = 2 \times \pi \times m \quad (5.84)$$

$$l_{eff,nc} = \alpha \times m \quad (5.85)$$

Yukarıdaki denklemlerde bulunan  $m$  ve  $\alpha$  değerleri aşağıda verilmiştir.

$$m = \frac{w - t_{wc} - 2 \times 0.8 \times r_c}{2} \quad (5.86a)$$

$$m = \frac{110 - 9 - 2 \times 0.8 \times 27}{2} = 28.9 \text{ mm} \quad (5.86b)$$

Eurocode EN 1993-1-8(2005) Şekil 6.11'de  $\alpha$  değeri hesaplanırken  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu değerlerin hesabında ise  $m$ ,  $m_2$  ve  $e_c$  değerleri kullanılmıştır.

Burada kullanılan  $e_c$  değeri 1.bulon sırasında hesaplanan değer ile aynı olduğu için  $e_c = 95 \text{ mm}$  kabul edilir.  $m_2$  değeri ise Denklem 5.87b'de hesaplanmıştır.

$$m_2 = \left( p_{fi} + \frac{t_{fb}}{2} - \frac{t_s}{2} \right) - 0.8 \times s_f \quad (5.87a)$$

$$m_2 = \left( 47.3 + \frac{12.7}{2} - \frac{15}{2} \right) - 0.8 \times 15 = 34.15 \text{ mm} \quad (5.87b)$$

Yukarıda hesaplanan değerler Denklem 5.88 ve 5.89'da yerlerine konularak  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  belirlenmiştir.

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e_c} = \frac{28.9}{28.9 + 95} = 0.23 \text{ mm} \quad (5.88)$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e_c} = \frac{34.15}{28.9 + 95} = 0.28 \text{ mm} \quad (5.89)$$

Bulunan  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'ye bağlı olarak Eurocode EN 1993-1-8(2005) Şekil 6.11'e göre  $\alpha = 8.0$  olarak hesaplanmıştır.

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \times \pi \times 28.9 = 181.58 \text{ mm} \quad (5.90)$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 8.0 \times 28.9 = 231.20 \text{ mm} \quad (5.91)$$

Elde edilen verilere göre etkin uzunluklar yukarıda ifade edilmiştir. Buna göre  $l_{\text{eff,1}} = 181.58 \text{ mm}$  ve  $l_{\text{eff,2}} = 231.20 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır.

Göçme modu 1 için gerekli olan  $l_{\text{eff,1}}$  değeri 1.bulon sırası ile aynı olduğu için sonuçlar direk alınmıştır.

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = 3871 \times 10^{-3} \text{ kNm}$$

$$F_{\text{t,1,Rd}} = 535.77 \text{ kN}$$

Göçme modu 2 için ise çekme kuvveti ve moment aşağıda hesaplanmıştır.

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{0.25 \times 231.20 \times 15.5^2 \times 355}{1} = 4929 \times 10^{-3} \text{ kNm} \quad (5.92)$$

$$F_{\text{t,2,Rd}} = \frac{2 \times 4929 \times 10^3 + 36.13 \times 508}{28.9 + 36.13} \times 10^{-3} = 433.83 \text{ kN} \quad (5.93)$$

Göçme modu 3 için ise;

$$F_{\text{t,3,Rd}} = \sum F_{\text{t,Rd}} = 508 \text{ kN} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Göçme modlarından en küçüğü kolon başlığının çekme dayanımı olarak kabul edilir. Bulunan değerler sırasıyla;

Göçme modu 1 için  $F_{t,1,Rd} = 535.77 \text{ kN}$

Göçme modu 2 için  $F_{t,2,Rd} = 433.83 \text{ kN}$

Göçme modu 3 için  $F_{t,3,Rd} = 508 \text{ kN}$

olarak belirlenmiştir.

Buna göre bu değerlerden minimum olanı kolon başlığının çekme kuvveti yani  $F_{t,fc,Rd} = 433.83 \text{ kN}$  olarak kabul edilmiştir.

### (h) 2.bulon sırası için çekme etkisindeki kolon gövdesinin tasarımı (cwt)

1.bulon sırası ile aynı  $b_{\text{eff},t,wc}$ ,  $A_{vc}$  ve  $\omega$  değerlerine sahip olduğu için kolon gövdesinin çekme kuvveti de aynı değer kabul edilir:

$$b_{\text{eff},t,wc} = l_{\text{eff},nc} = 231.20 \text{ mm}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \times \left( \frac{231.20 \times 9}{4116.5} \right)^2}} = 0.87 \quad (5.94)$$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{0.87 \times 231.20 \times 9 \times 355}{1} \times 10^{-3} = 642.65 \text{ kN} \quad (5.95)$$

### (i) 2.bulon sırası için alın levhasının eğilme etkisindeki tasarımı (epb)

2.bulon sırası için alın levhasının eğilmesi durumuna göre hesaplanan  $l_{\text{eff}}$  değerleri Denklem 5.96 ve 5.97'de hesaplanmıştır.

$$l_{\text{eff},cp} = 2 \times \pi \times m \quad (5.96)$$

$$l_{\text{eff},nc} = \alpha \times m \quad (5.97)$$

Yukarıda verilen denklemlerde bulunan  $m$  değeri aşağıda verilmiştir.

$$m = \frac{w - t_{wb} - 2 \times 0.8 \times s_w}{2} \quad (5.98a)$$

$$m = \frac{110 - 8 - 2 \times 0.8 \times 8}{2} = 44.6 \text{ mm} \quad (5.98b)$$

Denklem 5.97'de kullanılan  $\alpha$  değeri için  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri belirlemelidir. Bu denklemlerde kullanılan  $m_2$  ve  $e_p$  değerleri de aşağıda belirtilmiştir.



Burada kullanılan  $e_p$  değeri bulon gövdesinin alın levhasının kenarına olana olan yatay mesafesi ve  $e_p = 55\text{mm}$  olarak alınmıştır.

$$m_2 = \left( p_{fi} + \frac{t_{fb}}{2} \right) - 0.8 \times s_f \quad (5.99a)$$

$$m_2 = \left( 47.3 + \frac{12.7}{2} \right) - 0.8 \times 15 = 41.65\text{mm} \quad (5.99b)$$

Hesaplanan  $m$ ,  $m_2$  ve  $e_p$  değerleri yerlerine konularak  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerleri Denklem 5.100 ve 5.101'te hesaplanmıştır.

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e_p} = \frac{44.6}{44.6 + 55} = 0.44\text{mm} \quad (5.100)$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e_p} = \frac{41.65}{44.6 + 55} = 0.42\text{mm} \quad (5.101)$$

Bulunan  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'ye bağlı olarak Eurocode EN 1993-1-8(2005) Şekil 6.11'e göre  $\alpha = 5.7$  olarak hesaplanmıştır. Buna göre efektif uzunluklar aşağıda belirtilmiştir.

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \times \pi \times 44.6 = 280\text{mm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 5.7 \times 44.6 = 254.22\text{mm}$$

Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'de  $l_{\text{eff,nc}} < l_{\text{eff,cp}}$  olduğu durum için  $l_{\text{eff,nc}} = l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,2}}$  olarak kabul edilmektedir. Buna göre yukarıdaki verilerden yola çıkarak  $l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,2}} = 254.22\text{mm}$  olarak hesaplanmıştır.

Efektif uzunluklar göçme modu 1 ve göçme modu 2 için eşit olduğundan bu modlara ait moment dayanımları da eşit olarak hesaplanmıştır ve Denklem 5.102'de ifade edilmiştir.

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{0.25 \times 254.22 \times 18^2 \times 355}{1} \times 10^{-6} = 7310 \times 10^{-3} \text{ kNm} \quad (5.102)$$

Moment dayanımları bulunan Mod 1 ve Mod 2 için çekme kuvvetleri,

$$F_{\text{T,1,Rd}} = \frac{(8 \times 55.75 - 2 \times 9) \times 7310 \times 10^3}{2 \times 44.6 \times 55.75 - 9 \times (44.6 + 55.75)} \times 10^{-3} = 768.76 \text{ kN} \quad (5.103)$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \times 7310 \times 10^3 + 55.75 \times 508}{44.6 + 55.75} \times 10^{-3} = 427 \text{ kN} \quad (5.104)$$

Göçme modu 3 için çekme kuvveti 1 bulon sırasında bulunan bulon sayısı kadar bulon çekme kuvvetinin çarpımına eşittir ve aşağıda ifade edilmiştir.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 508 \text{ kN}$$

Elde edilen göçme modlarından minimum değere sahip olanı, alın levhasının çekme dayanımı olarak kabul edilecektir. Bulunan değerler sırasıyla;

$$\text{Göçme modu 1 için } F_{t,1,Rd} = 768.76 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 2 için } F_{t,2,Rd} = 427 \text{ kN}$$

$$\text{Göçme modu 3 için } F_{t,3,Rd} = 508 \text{ kN}$$

olarak belirlenmiştir.

Buna göre bu değerlerden minimum olanı  $F_{t,ep,Rd} = 427 \text{ kN}$  olarak kabul edilmiştir.

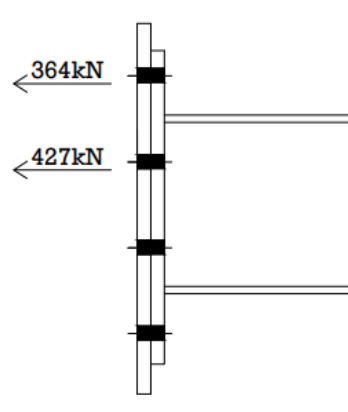
Bu durumda 2.bulon sırası için çekme dayanımı değeri aşağıdaki değerlerden minimum olanı olarak kabul edilmiştir. Bu değerler;

$$F_{t,fc,Rd} = 433.83 \text{ kN}$$

$$F_{t,wc,Rd} = 642.65 \text{ kN}$$

$$F_{t,ep,Rd} = 427 \text{ kN 'dur.}$$

Buna göre değerlerin en küçüğü  $F_{t,2,Rd} = 427 \text{ kN}$  hesaplarda dikkate alınmıştır



**Şekil 5.4:** Kiriş-kolon birleşiminde çekme dayanımı değerleri

Alın levhalı 4 bulonlu kiriş kolon birleşimin tasarımın moment kapasitesini aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^n (F_{ti,Rd} \times h_i) \quad (5.105a)$$

$$M_{j,Rd} = 364 \times (393.65 \times 10^{-3}) + 427 \times (293.65 \times 10^{-3}) = 268.68 \text{ kN} \quad (5.105b)$$

### 5.3 EUROCODE EN 1993-1-8 (2005)'E GÖRE BAŞLANGIÇ RİJİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Alın levhalı bulonlu birleşimler için kullanılan rijitlik katsayıları aşağıda verilmiştir.

- Çekme etkisindeki kolon gövdesi ( $k_3$ )
- Eğilme etkisindeki kolon başlığı ( $k_4$ )
- Eğilme etkisindeki alın levhası ( $k_5$ )
- Çekme etkisindeki bulonlar ( $k_{10}$ )

#### (a) 1.bulon sırası için çekme etkisindeki kolon gövdesinin rijitliği ( $k_3$ )

1.bulon sırası için kolon gövdesinin çekme gerilmesi rijitliği denklemi aşağıda verilmiştir. Denklemde verilen  $t_{wc}$  kolon gövde kalınlığı,  $d_c$  değeri kolon derinliği ve  $b_{eff,t,wc}$  etkili uzunluk değeridir.

$$k_3 = \frac{0.7 \times b_{eff,t,wc} \times t_{wc}}{d_c} \quad (5.106)$$

Burada  $b_{eff,t,wc}$  değeri aşağıdaki denklemden minimum değer seçilerek hesaplanmıştır.

$$\min \left[ \begin{array}{l} 2 \times \pi \times m \\ \alpha \times m \\ \pi \times m + p \\ 0.5 \times p + \alpha \times m - (2 \times m + 0.625 \times e) \end{array} \right] \quad (5.107)$$

$$\min \left[ \begin{array}{l} 2 \times \pi \times 28.9 = 181.58 \text{ mm} \\ 8.0 \times 28.9 = 231.2 \text{ mm} \\ \pi \times 28.9 + 100 = 190 \text{ mm} \\ 0.5 \times 100 + 231.2 - (2 \times 28.9 + 0.625 \times 95) = 164.03 \text{ mm} \end{array} \right] = 164.03 \text{ mm} \quad (5.108)$$

Buna göre 1.bulon sırası için çekme etkisindeki kolon gövdesinin rijitliği,

$$k_3 = \frac{0.7 \times 164.03 \times 9}{225} = 4.59 \text{ mm} \quad (5.109)$$

olarak elde edilmiştir.

**(b) 1.bulon sırası için eğilme etkisindeki kolon başlığı rijitliği ( $k_4$ )**

Kolon başlığının eğilmesi rijitliği olan  $k_4$  değeri için aşağıdaki denklem verilmiştir. Denklemde  $t_{fc}$  kolon başlık kalınlığı,  $b_{eff,t,wc}$  etkili uzunluk değeri ve  $m$  önceki bölümlerde detaylı olarak hesaplanan bir katsayıdır.

$$k_4 = \frac{0.9 \times b_{eff,t,wc} \times t_{fc}^3}{m^3} \quad (5.110)$$

$$k_4 = \frac{0.9 \times 164.03 \times 15.5^3}{28.9^3} = 22.77 \text{ mm} \quad (5.111)$$

**(c) 1.bulon sırası eğilme etkisindeki alın levhası rijitliği ( $k_5$ )**

Alın levhasının eğilmesi rijitliği olan  $k_5$  aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$k_5 = \frac{0.9 \times \ell_{eff} \times t_p^3}{m^3} \quad (5.112)$$

$$k_5 = \frac{0.9 \times 110 \times 18^3}{34.35^3} = 14.25 \text{ mm} \quad (5.113)$$

**(d) 1. bulon sırası için çekme etkisindeki bulonların rijitliği ( $k_{10}$ )**

Çekme etkisindeki bulonların rijitliği olan  $k_{10}$  aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır. Denklemde  $A_s$  bulon kesme alanı,  $L_b$  bulon uzunluğudur.

$$k_{10} = \frac{1.6 \times A_s}{L_b} \quad (5.114)$$

$$k_{10} = \frac{1.6 \times 353}{50} = 11.30 \text{ mm} \quad (5.115)$$

**(e) 2.bulon sırası için çekme etkisindeki kolon gövdesinin ( $k_3$ ) ve eğilme etkisindeki kolon başlığı rijitlikleri ( $k_4$ )**

2. bulon sırasının  $k_3$  ve  $k_4$  rijitlik katsayıları 1.bulon sırası denklemlerinde kullanılan değerler ile aynı olduğu için çekme etkisindeki kolon gövdesinin rijitliği ve eğilme etkisindeki kolon başlığının rijitliği sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$k_3 = 4.59\text{mm}$$

$$k_4 = 22.77\text{mm}$$

**(f) 2.bulon sırası için eğilme etkisindeki alın levhası rijitliği ( $k_5$ )**

Alın levhasının eğilme rijitliği hesaplanırken efektif uzunluk Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre belirlenmiştir.

$$\min \left[ \begin{array}{l} 2 \times \pi \times m \\ \alpha \times m \\ \pi \times m + p \\ 0.5 \times p + \alpha \times m - (2 \times m + 0.625 \times e) \end{array} \right] \quad (5.116)$$

$$\min \left[ \begin{array}{l} 2 \times \pi \times 44.6 = 280.23\text{mm} \\ 5.7 \times 44.6 = 254.22\text{mm} \\ \pi \times 44.6 + 100 = 240.11\text{mm} \\ 0.5 \times 100 + 5.7 \times 44.6 - (2 \times 44.6 + 0.625 \times 55) = 179.27\text{mm} \end{array} \right] \quad (5.117)$$

Buna göre  $\ell_{\text{eff}} = 179.27\text{mm}$  olarak alınmalıdır.

$$k_5 = \frac{0.9 \times 179.27 \times 18^3}{44.6^3} = 10.60\text{mm} \quad (5.118)$$

**(g) 2.bulon sırası için çekme etkisindeki bulonların rijitliği ( $k_{10}$ )**

2.bulon sırası için bulonların çekme rijitlik katsayısı olan  $k_{10}$  1.bulon sırası denklemlerinde kullanılan değerler ile aynı olduğu için çekme etkisindeki bulonların rijitliği

$$k_{10} = 11.30\text{mm}$$

olarak alınmıştır.

**(h) 3.bulon sırası için rijitlik değerleri ( $k_3$ ) ( $k_4$ ) ( $k_5$ ) ( $k_{10}$ )**

3. bulon sırası geometrik değerleri 2.bulon sırası ile aynı olduğu için rijitlik katsayıları da aynı şekilde alınır.

$$k_3 = 4.59\text{mm}$$

$$k_4 = 22.77\text{mm}$$

$$k_5 = 10.60 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 11.30 \text{ mm}$$

Başlangıç rijitliği hesaplanırken Denklem 5.119 kullanılmıştır. Denklemde elastisite modülü olan E değeri  $210 \times 10^3$  MPa olarak alınmıştır. Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre rijitleştirilmiş kiriş-kolon birleşimlerinde başlangıç rijitliği hesabında  $k_1$  ve  $k_2$  rijitlik katsayıları sonsuz olarak alınmaktadır.

$$K_{\phi} = \frac{E \times z_{eq}^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (5.119)$$

Eş değer rijitlik katsayısı  $k_{eq}$ , Denklem 5.120 ile ifade edilmiş ve 5.126'da hesaplanmıştır.

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \times h_r}{z_{eq}} \quad (5.120)$$

Yukarıdaki denklemde kullanılan  $k_{eff,r}$  etkili rijitlik katsayısı her bir bulon sırası için hesaplanmış,  $z_{eq}$  ise eşdeğer kuvvet kolu Denklem 5.124 verilmiştir.

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i k_{i,r}} \quad (5.121)$$

$$k_{eff,1} = \frac{1}{\frac{1}{4.59} + \frac{1}{22.77} + \frac{1}{14.25} + \frac{1}{11.30}} = 2.38 \text{ mm} \quad (5.122)$$

$$k_{eff,2} = \frac{1}{\frac{1}{4.59} + \frac{1}{22.77} + \frac{1}{10.60} + \frac{1}{11.30}} = 2.25 \text{ mm} \quad (5.123)$$

$$k_{eff,3} = 2.25 \text{ mm}$$

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \times h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \times h_r} \quad (5.124)$$

$$z_{eq} = \frac{2.38 \times 393.65^2 + 2.25 \times 293.65^2 + 2.25 \times 53.65^2}{2.38 \times 93.65 + 2.25 \times 293.65 + 2.25 \times 53.65} = 331.31 \text{ mm} \quad (5.125)$$

$$k_{eq} = \frac{2.38 \times 393.65 + 2.25 \times 293.65 + 2.25 \times 53.65}{331.31} = 5.19 \text{ mm} \quad (5.126)$$

Buna göre başlangıç rijitliği Denklem 5.127 ile hesaplanmıştır.

$$K_{\phi} = \frac{210000 \times 331.31^2}{\frac{1}{5.19}} = 119634 \text{ kNm} \quad (5.127)$$



## 6. SONUÇLAR

Uzatılmış alın levhalı bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin TBDY (2018) ve ÇYTHYE (2016) yönetmeliklerine göre tasarım kriterleri incelenmiş ve Eurocode Eurocode EN1993-1-8 (2005)'de verilen elemana dayalı tasarım yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Seçilen alın levhalı dört sıralı bulonlu birleşim ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmeliklerine göre tasarlanmış ve moment kapasitesi belirlenmiştir. Daha sonra tasarlanan birleşimin kapasitesi ve rijitliği Eurocode EN 1993 1-8 (2005) yönetmeliğinde verilen elemana dayalı yöntemle göre hesaplanmıştır. Ardından birleşim davranışı Eurocode EN1993-1-8 (2005)'de verilen üç doğrulu moment dönme eğrisi kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar ve moment-dönme ilişkisi literatürde Nogueiro P. vd. (2006) çalışmasında deneysel olarak incelenen aynı tip alın levhalı bulonlu birleşime ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tezin 3. ve 4. bölümlerinde verilen kiriş-kolon birleşimine ait hesap adımları incelendiğinde ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmeliği ile Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğinin farklı yöntemleri kullanarak birleşim moment kapasitelerini belirlemektedirler. Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliği mekanik bir yöntem olan elemana dayalı yöntem ile birleşimlerin moment kapasitelerini ve başlangıç rijitliklerini belirlemektedir. Buna karşın ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmelikleri birleşimin moment kapasitesinin belirlenmesinde AISC 358-16 yönetmeliğinde dayanan akma çizgileri yöntemini kullanmaktadır.

Çalışmada ilk olarak tam dayanımlı dört sıra bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşimi TBDY (2018)'e göre boyutlandırılmış ve uygulama sınırları TBDY (2018)'e göre kontrol edilmiştir. Uygulama sınırları kontrollerinde uygunsuzluk olmadığı görüldükten sonra ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018)'e göre moment kapasitesi belirlenmiştir. TBDY (2018)'e göre boyutlandırılan kiriş-kolon birleşiminin daha sonra Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre moment kapasitesi ve başlangıç rijitliği belirlenmiştir. ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018)'e göre rijitlik hesabı konusunda bir bilgi olmadığı için kiriş-kolon birleşiminin rijitlik hesabı sadece Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre yapılmıştır. Sayısal hesap ile bulunan sonuçlar daha sonra Nogueiro P. vd. (2006) deneysel çalışmasında bulunan veriler ile karşılaştırılmıştır.

Dört sıra bulonlu alın levhalı kiriş-kolon birleşiminin moment taşıma kapasitesi hesabında kolon başlığı, kolon gövdesi alın levhası ve bulon dayanımları ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Buna göre TBDY (2018)'e göre hesaplanan bazı sınır durum dayanımları, Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre hesaplanan dayanımlardan daha büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Fakat bu durumun TBDY (2018)'e göre hesaplanan bulon çekme-ezilme dayanımı ve kolon başlığı eğilme dayanımı için geçerli olmadığı görülmüştür. Çizelge 6.1'de hem TBDY (2018) hem de Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre bulunan dayanım değerleri verilmiştir.

**Çizelge 6.1:** TBDY (2018) ve Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre sayısal çalışma dayanım sonuçları

	Sınır Durum	TBDY (2018)	EC3 (2005)
Kolon gövdesi	Akma	970 kN	642 kN
	Burkulma	1011 kN	
Kolon başlığı	Eğilme	401 kN	433 kN
Alın levhası	Akma	495 kN	364 kN
	Kopma	759 kN	
Bulon	Çekme	339 kN	508 kN
	Kesme	610 kN	
	Ezilme	396 kN	

Çizelge 6.1'e göre kolon gövdesi için hesaplanan dayanım değerleri TBDY (2018) için Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre %51-57 oranında daha büyük çıkmıştır. Aynı şekilde alın levhası dayanım değerleri TBDY (2018) için Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre akma değerinde %35 kopma değerinde ise %118 daha büyük bulunmuştur. Bu değerlere göre kolon gövdesi ve alın levhası için Eurocode EN 1993-1-8(2005)'in TBDY (2018)'e göre daha hassas hesap yaptığı görülmüştür. Kolon başlığı ve bulonların çekme-ezilme dayanımları için ise TBDY (2018)'nin daha hassas hesap yaptığı görülmüştür. Buna göre Çizelge 6.1'de bulunan dayanımlar kullanılarak ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018)'e göre hesaplanan moment kapasitesi, Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre hesaplanan moment kapasitesinden %8 daha büyük olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler;

- ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018)'e

$M = 288 \text{ kNm}$

- Eurocode EN 1993-1-8(2005)'e göre;

$M = 268.7 \text{ kNm}$  olarak hesaplanmıştır.

Nogueiro vd. (2006) alışmasında geometrik özellikler sahip dört bulonlu alın levhalı birleşimin yapılan deneyler sonucunda  $M = 288 \text{ kNm}$  moment taşıma kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar bu çalışmada TBDY (2018) ve EN 1993-1-8 (2005)'e sayısal olarak hesaplanan birleşimin moment taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre sayısal çalışmada Eurocode En 1993-1-8(2005) için elde edilen moment kapasitesi değeri deneysel çalışma ile elde edilen moment kapasitesi değerine oranı 0.931 olarak bulunmuştur. TBDY 2018 ile elde edilen moment kapasitesi değeri ile deneysel çalışmada elde edilen moment kapasitesi değeri oranı ise 1.0 olarak bulunmuştur. Bu değerler izelge 6.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.2:** Deneysel ve sayısal moment kapasitesi sonuçlarının karşılaştırılması

Birleşim Tipi	Deneysel (kNm)	Sayısal (EC3) (kNm)	Sayısal (TBDY) (kNm)	Say. / Deney EC 3	Say. / Deney TBDY
Alın levhalı 4 bulonlu	288.0	268.7	288.0	0.931	1.0

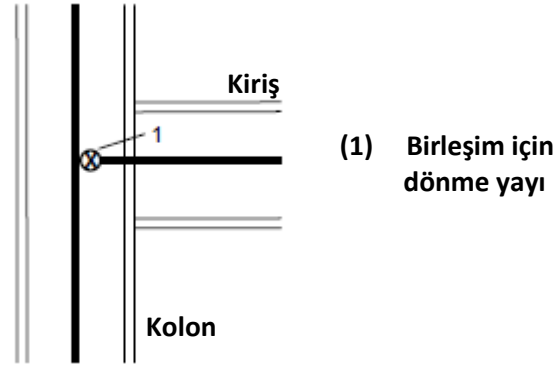
Alın levhalı dört bulonlu kiriş kolon birleşiminin moment dönme grafiğinin modellenmesi için gereken rijitlik değeri sadece Eurocode EN 1993-1-8(2005) yönetmeliğine göre belirlenmiştir. Bunun sebebi TBDY (2018)'de birleşimlerin rijitlik hesapları ile ilgili bir bilgiye rastlanılmamasıdır. Eurocode EN 1993-1-8 (2005)'e göre her bir bulon sırası için rijitlik katsayıları Bölüm 5'te hesaplanmış ve bu değerler izelge 6.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 6.3:** Bulon sıralarına göre rijitlik katsayıları

Bulon Sırası	$h_r$ (mm)	$k_1$ (mm)	$k_2$ (mm)	$k_3$ (mm)	$k_4$ (mm)	$k_5$ (mm)	$k_{10}$ (mm)
1.	393,35	$\infty$	$\infty$	4,59	22,77	14,25	11,30
2.	293,65	$\infty$	$\infty$	4,59	22,77	10,60	11,30
3.	53,65	$\infty$	$\infty$	4,59	22,77	10,60	11,30

Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğinde verildiği üzere bulunan rijitlik katsayıları paralel yaylar olarak bağlanarak birleşimin başlangıç rijitliği 119634 kNm olarak hesaplanmıştır.

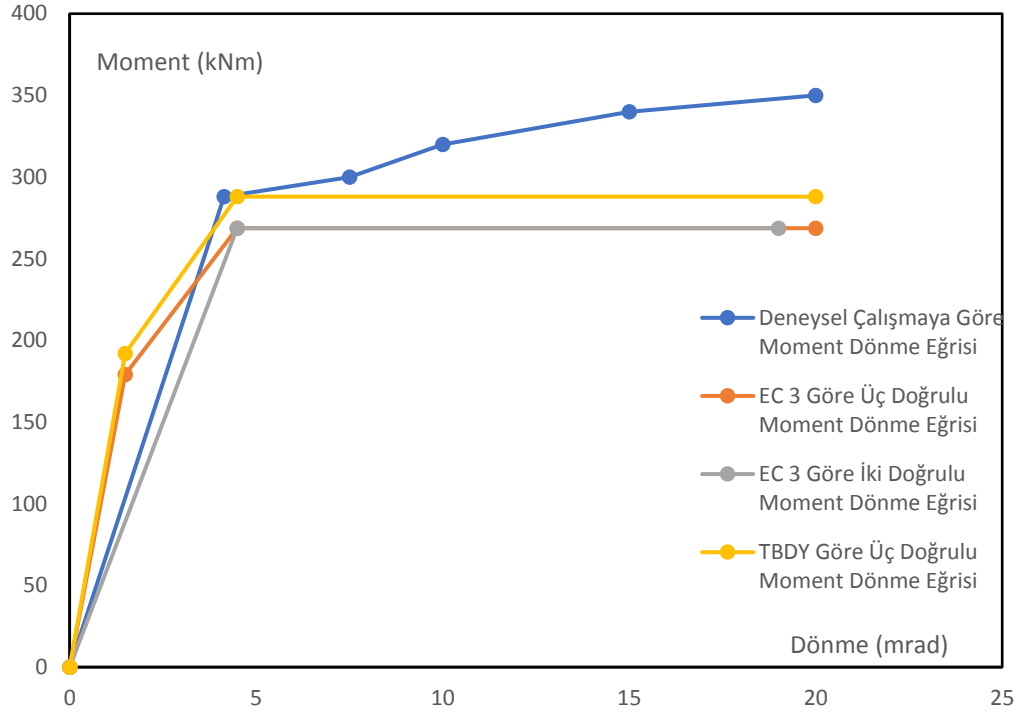
Kolon kiriş birleşim davranışının mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın şekilde yapısal analizlere yansıtılması gerekir. Bu amaçla Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğinde verilen dönme yaylı model sıklıkla kullanılır. Şekil 6.1’de tek taraflı düğüm noktası konfigürasyonu için birleşimin dönme yayı modeli verilmiştir.



**Şekil 6.1:** Tek taraflı düğüm noktası modellemesi

Eurocode EN 1993-1-8 (2005) yönetmeliğine göre kiriş kolon birleşimlerinin dönme rijitliğini Bölüm 4’te Denklem 4.27 eşitliği kullanılarak elde etmekteyiz. Bu çalışmada incelenen birleşim için dönme yayı rijitlik katsayısı 119634kNm olarak bulunmuştur.

Moment taşıma kapasitesi ve başlangıç rijitliğini belirlediğimiz alın levhalı 4 bulonlu kiriş kolon birleşiminin moment dönme grafiği Eurocode EN 1993-1-8 (2005) de tanımlanan tek doğrulu ve üç doğrulu matematiksel modellemeler kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen bu eğriler Nogueiro vd. (2006) çalışmasında aynı özelliklere sahip birleşimin detayı için verilen deneysel sonuç ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6.2).



**Şekil 6.2:** Moment-dönme grafiği

Deneysel çalışma ile karşılaştırılan sayısal çalışma arasındaki farkların,

- Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler fabrikada imal edilirken birtakım kusurların oluşması,
- Deneysel çalışma sırasında bulonlara ön germe kuvveti uygulanması
- Sayısal çalışmada malzemede meydana gelen pekleşme etkisinin göz ardı edilmesi gibi faktörlerden kaynaklandığı söylenebilir.

## KAYNAKÇA

- AISC Steel Design Guide Series 4 (2002).** Extended End Plate Moment Connections. AISC
- AISC Steel Design Guide Series 16 (2002).** Flush and Extended Multiple Row Moment End Plate Connections. AISC
- AISC 358-16 (2016).** Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. AISC
- AISC 360-16 (2016).** Specification for Structural Steel Buildings. AISC
- A.N. , Sherbourne ve M.R. ,Bahari (1994).** 3D Simulation of end plate bolted connections. *Journal of Structural Engineering*,(pp.3122-3136).
- Chen, W.F. ve Toma, S., (1994).** Advanced Analysis Of Steel Frames. Theory,Software and Applications.
- Coelho, A.M.G., Bijlaard, F. S. ve da Silva,L.S. (2004).** Experimental assessment of the ductility of extended end plate connections. *Engineering Structures*.26(9),(pp.1185-1206).
- ÇYTHYE (2016).** Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İstanbul.
- Eurocode EN 1993-1-1 (2005).** Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
- Eurocode EN 1993-1-8, (2005).**-Design of Steel Structures Part 1.8: Design of Joints. Commission of the European Communities, Brussels.
- FEMA 350 (Federal Emergency Management Agency), (2000).** Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings, Washington D.C.
- Faella, C., Piluso, V., ve Rizzano., G. (2000).** Structural Steel Semi rigid Connections. Theory,Design and Software.
- Ismail, Raafat, Khalifa,A., Fahmy, A.S. ve Mohamed, Y.M. (2014).** Behavior of end-plate steel connections stiffened with stiffeners of different geometrical dimensions. *AICSGE 8*.

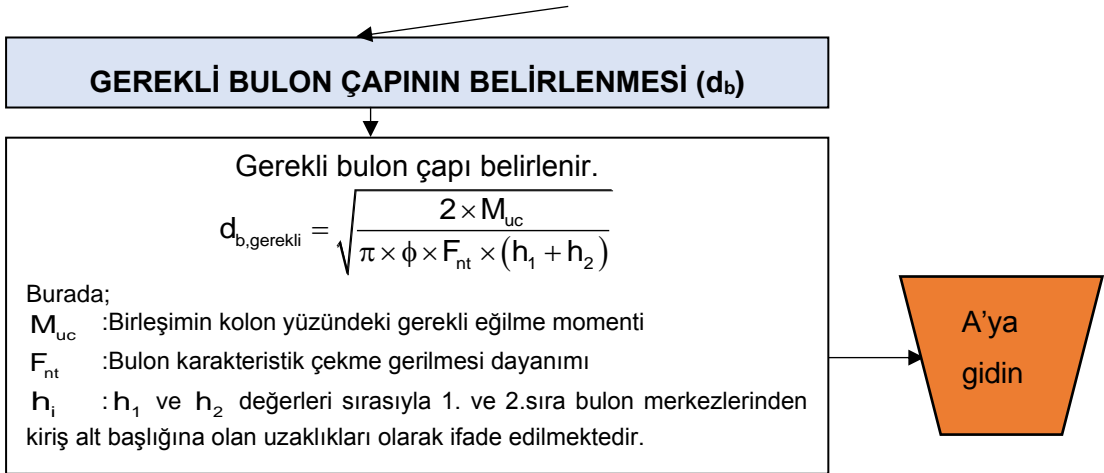
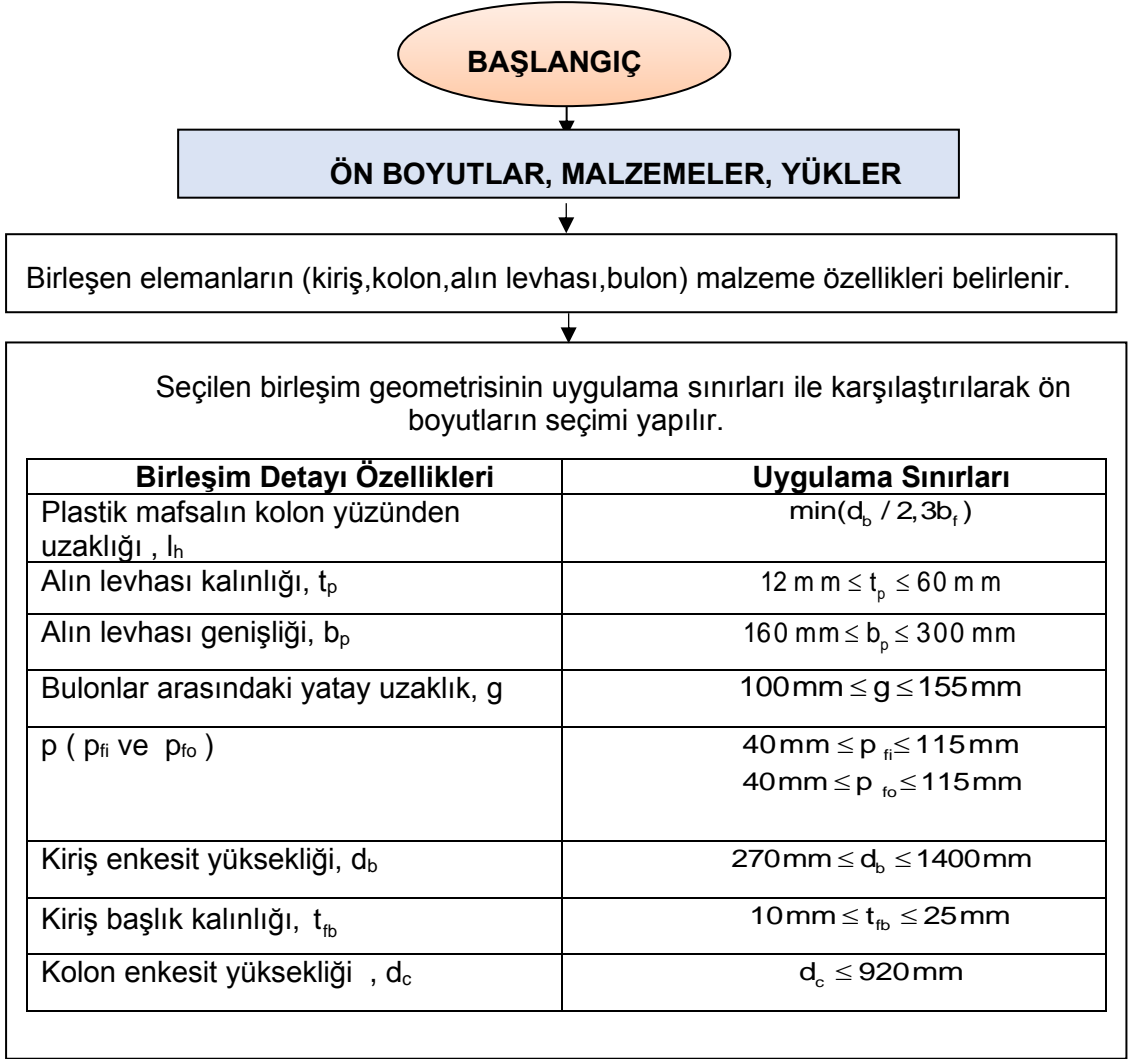
- Kaushik K., Sharma A.K. ve Kumar R. (2013).** Modeling and FE analysis of column to beam end-plate bolted connection, *Engineering Solid Mechanics*, Cilt 2, No 1, 51-66.
- Luo, L., Du, M., Yuan, J., Shi, J., Yu, S., ve Ziang, Y. (2020).** Parametric Analysis and Stiffness Investigation of Extended End-Plate Connection, *MDPI*.
- Maggi, Y.I., Gonçalves, R.M., Leon, R.T., ve Ribeiro, L.F.L.(2005).** Parametric analysis of steel bolted end plate connections using finite element modeling, *Journal of Constructional Steel Research*, Cilt 61, No 5, 689-708.
- Mashaly E, El-Heweity M, Abou-Elfath H ve Osman M. (2011).** “Finite element analysis of beam-to-column joints in steel frames under cyclic loading”, *Alexandria Engineering Journal*, Cilt 50, No 1, 91-104.
- Nogueiro, P., Simões da Silva L., Bento R. ve Simões, R. (2006).** Experimental behaviour of standardised european endplate beam-to-column steel joints under arbitrary cyclic loading, *Stab. Ductil. Steel Struct.*, Lisbon, Portugal.
- Özer E., (2018).** Deprem etkisi altında çelik binaların tasarımı. İMO – İstanbul Şubesi Sunumu.
- Prinz, G.S., Nussbaumer, A., Borges, L. ve Khadka, S. (2014).** “Experimental testing and simulation of bolted beam-column connections having thick extended endplates and multiple bolts per row”, *Engineering Structures*, Cilt 59, 434-447.
- SAC., (1995).** Analytical and Field Investigations of Buildings by the Northridge Earthquake of January 17, 1994, SAC/BD- 95/04, SAC Joint Venture
- Shaker, F.M.F. ve Abd Elrahman, W.M. (2014).** “Analytical behavior of steel pre-tensioned bolted connections with flushed and extended end plates under bending”, *World Applied Sciences Journal*, Cilt 30, No 6, 673-684.
- Tartaglia, R., D’aniello, M., Rassati, G., Swanson, J. ve Landolfo, R. (2018).** “Full strength extended stiffened end-plate joints:AISC vs recent European design criteria”, *Engineering Structures*, Cilt 159, 155-171.

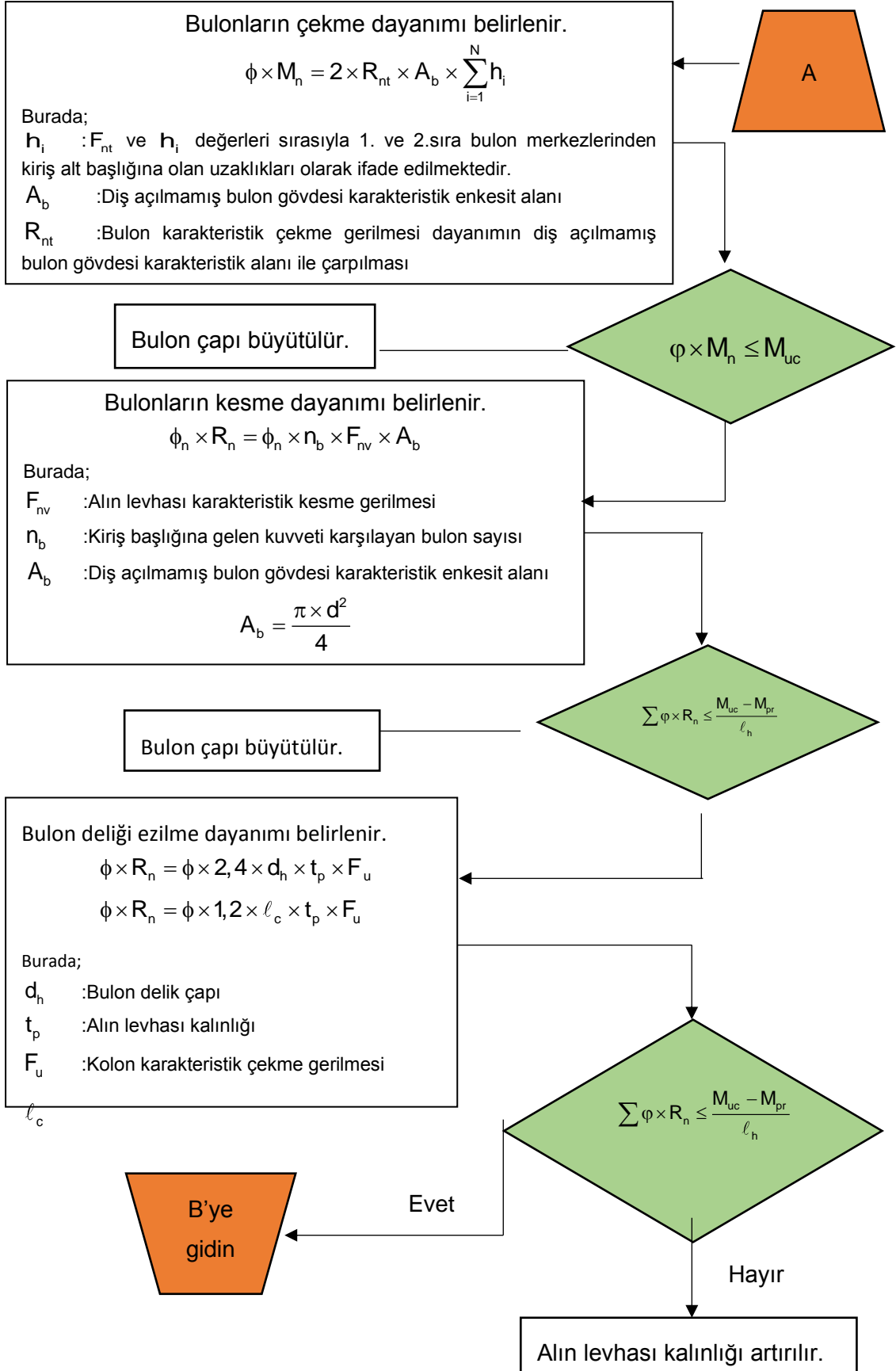
**TBDY (2018).** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,  
Ankara.

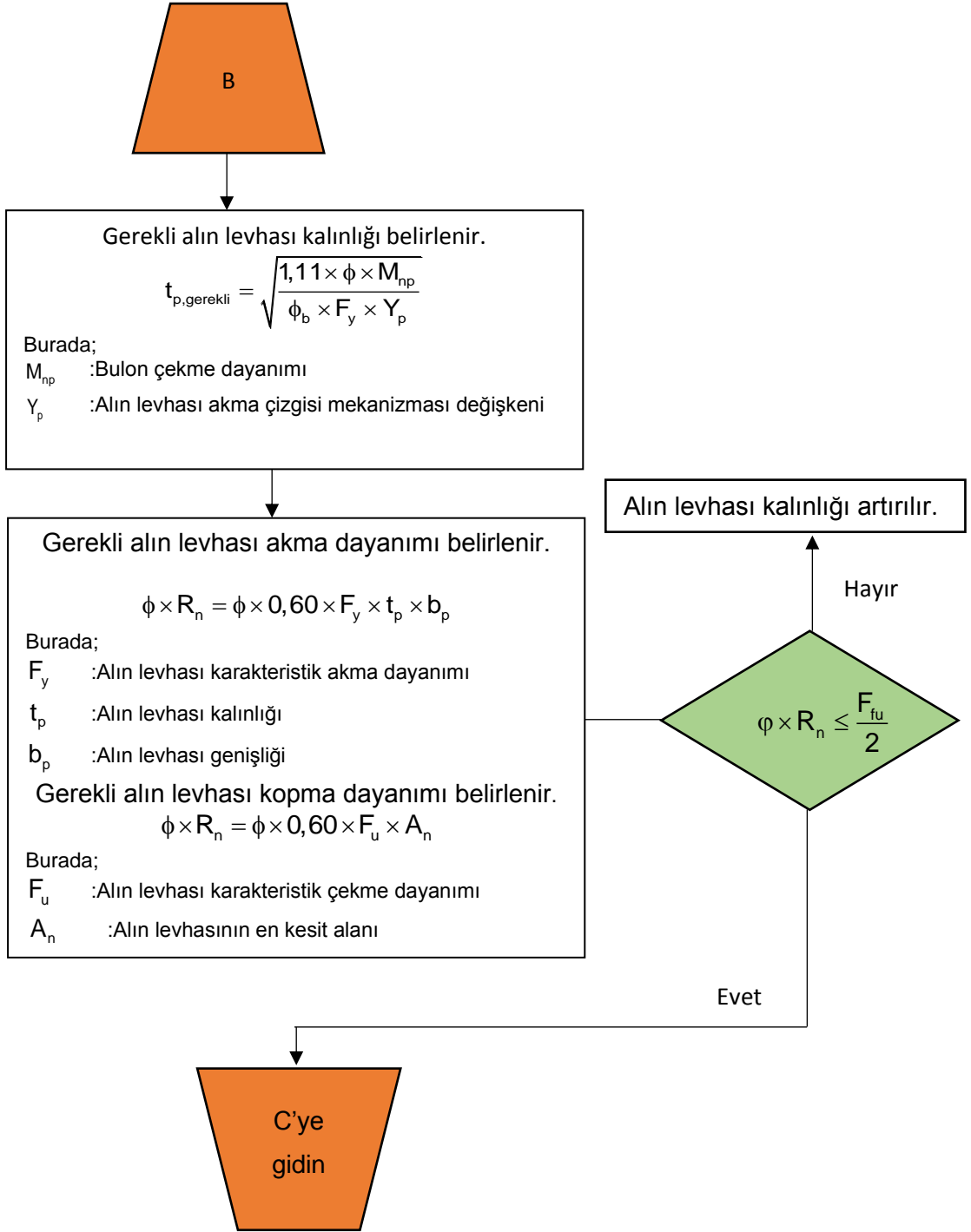


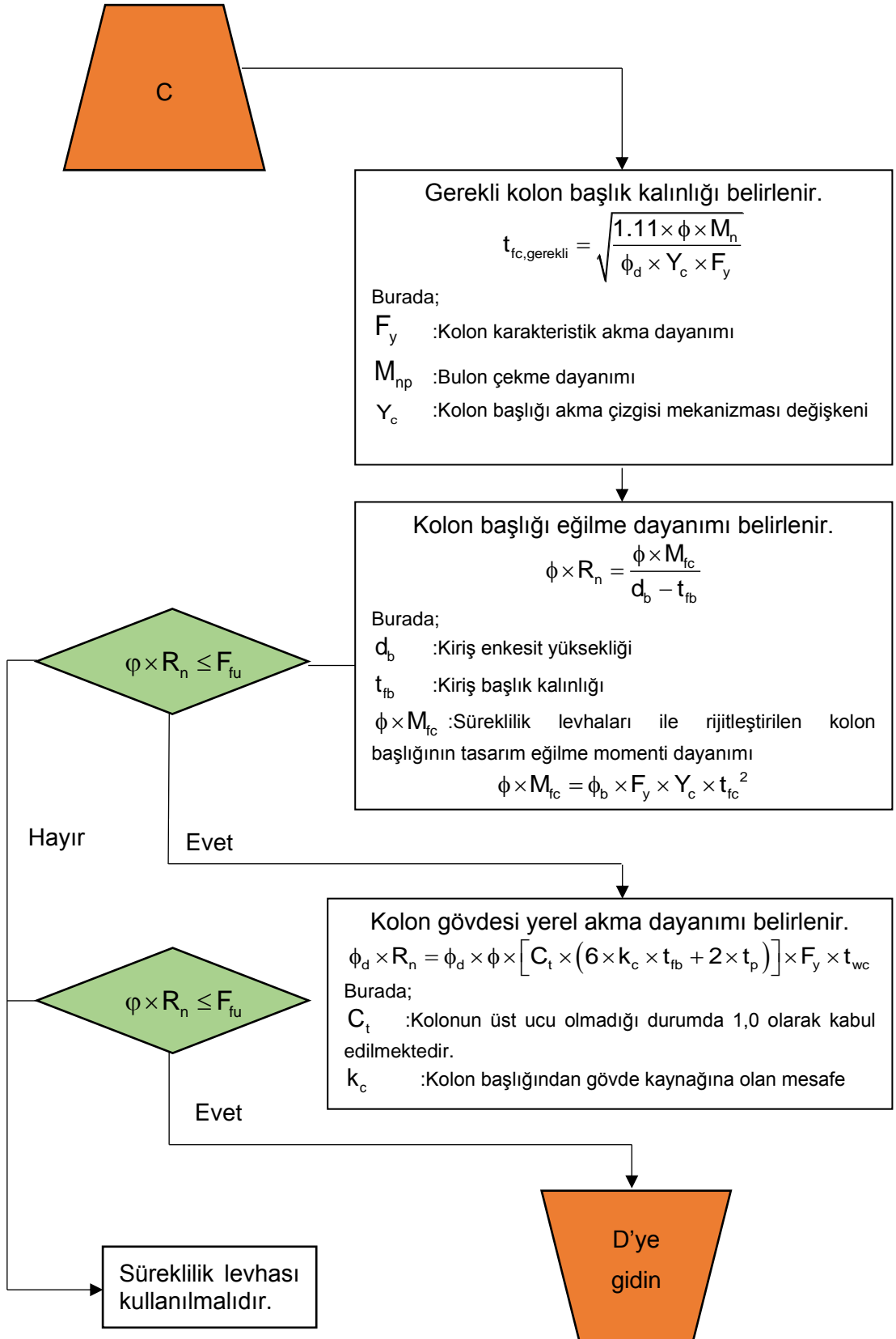
## **EKLER**

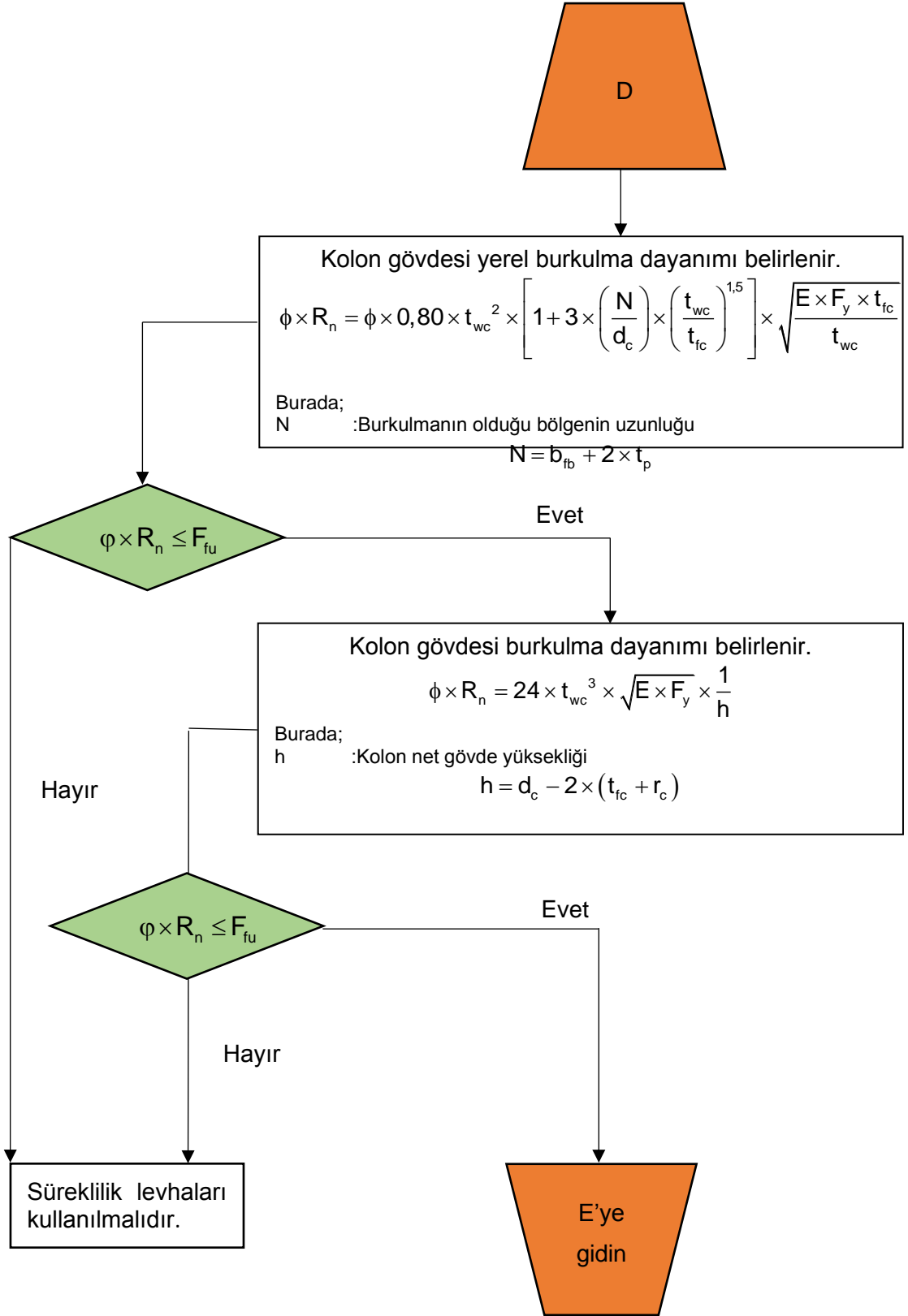
TBDY 2018'e göre alın levhalı bulonlu birleşim tasarımı

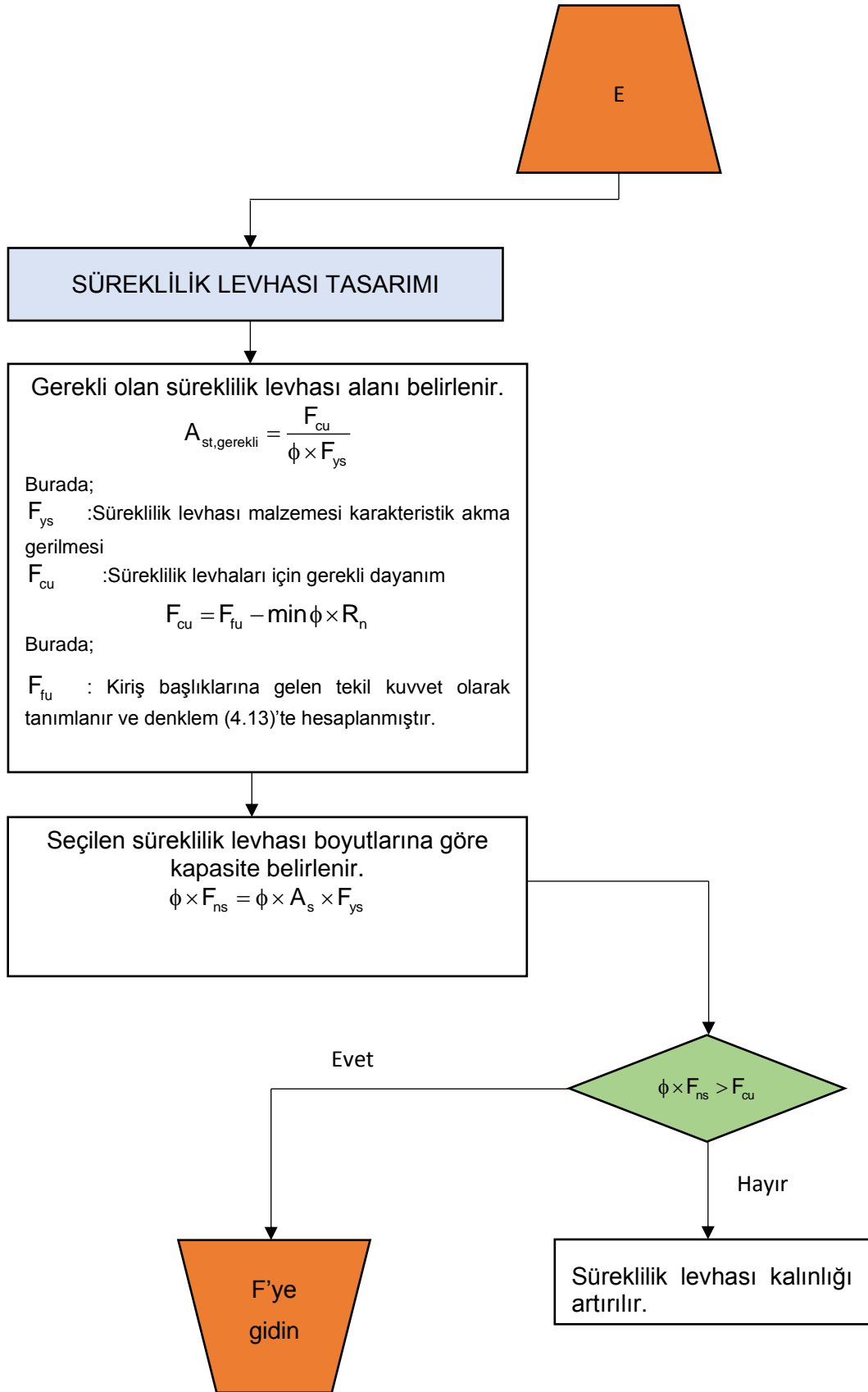


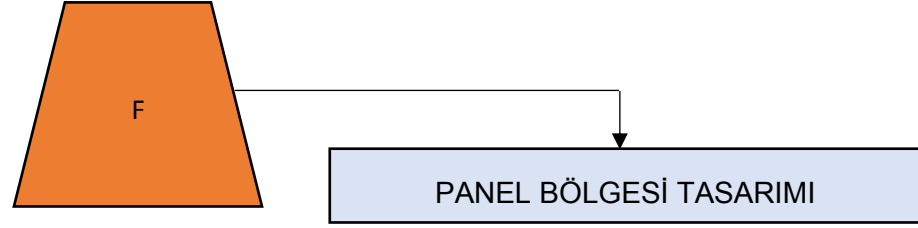










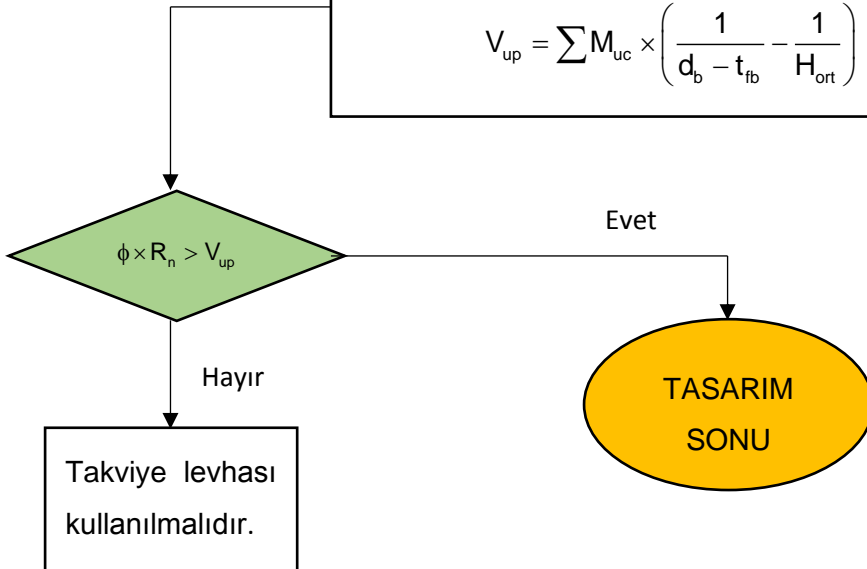


Panel bölgesinin şekil değiştirme durumları belirlenir.

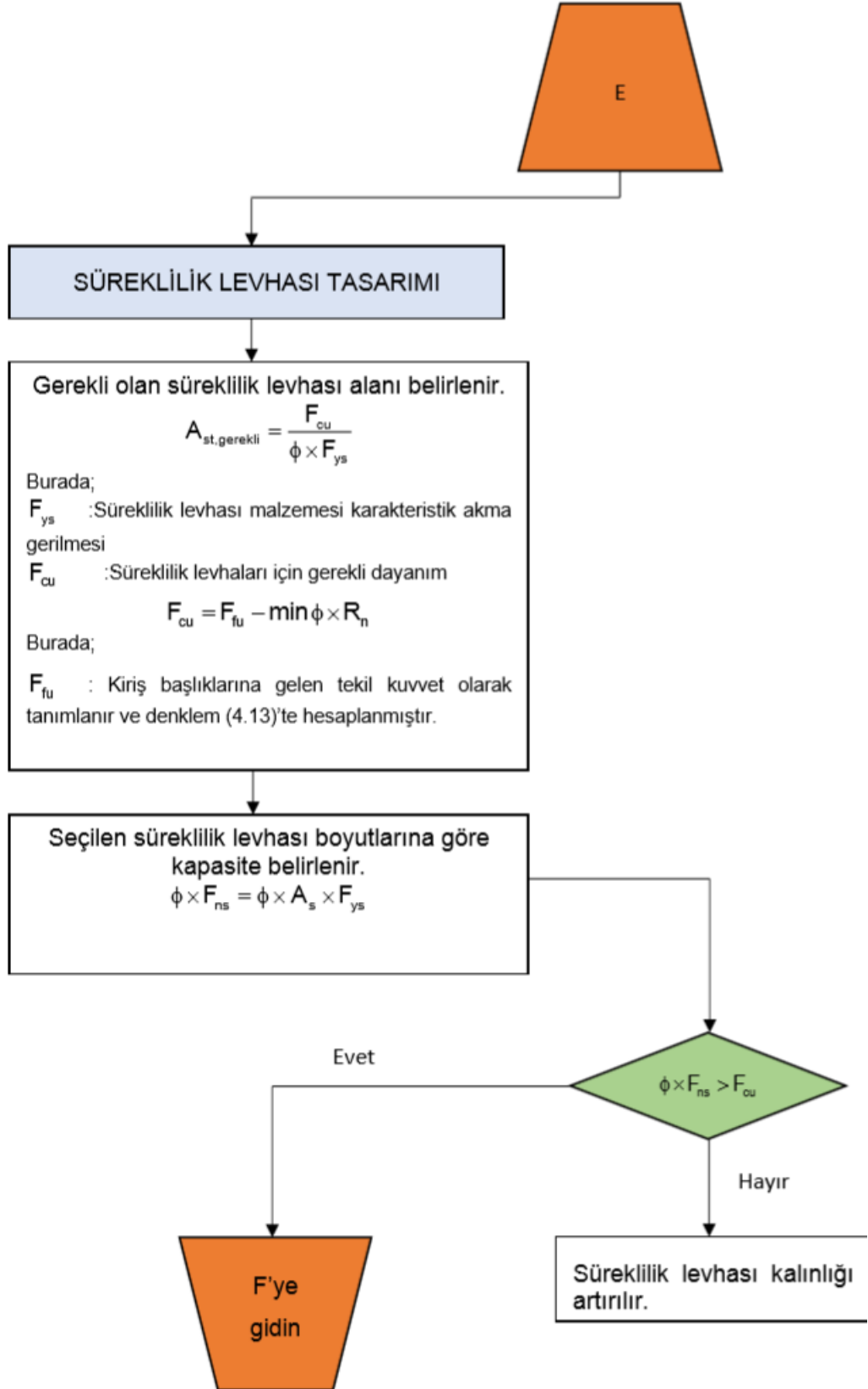
(a) Panel bölgesinin plastik şekil değiştirme durumunun çerçeve stabilize analizine etkisi göz önüne alınmadığında  
 (a1)  $\alpha \times P_r \leq 0,4 \times P_y$  için  
 $\phi \times R_n = 0,60 \times F_y \times d_c \times t_{wc}$   
 (a2)  $\alpha \times P_r > 0,4 \times P_y$  için  
 $\phi \times R_n = 0,60 \times F_y \times d_c \times t_{wc} \times \left( 1,4 - \frac{\alpha \times P_r}{P_y} \right)$

(b) Panel bölgesinin plastik şekil değiştirme durumunun çerçeve stabilize analizine etkisi göz önüne alındığında  
 (b1)  $\alpha \times P_r \leq 0,75 \times P_y$  için  
 $\phi \times R_n = 0,60 \times F_y \times d_c \times t_{wc} \times \left( 1 + \frac{3 \times b_c \times t_{fc}}{d_b \times d_c \times t_{wc}} \right)$   
 (b1)  $\alpha \times P_r > 0,75 \times P_y$  için  
 $\phi \times R_n = 0,60 \times F_y \times d_c \times t_{wc} \times \left( 1 + \frac{3 \times b_c \times t_{fc}}{d_b \times d_c \times t_{wc}} \right) \times \left( 1,9 - \frac{1,2 \times \alpha \times P_r}{P_y} \right)$

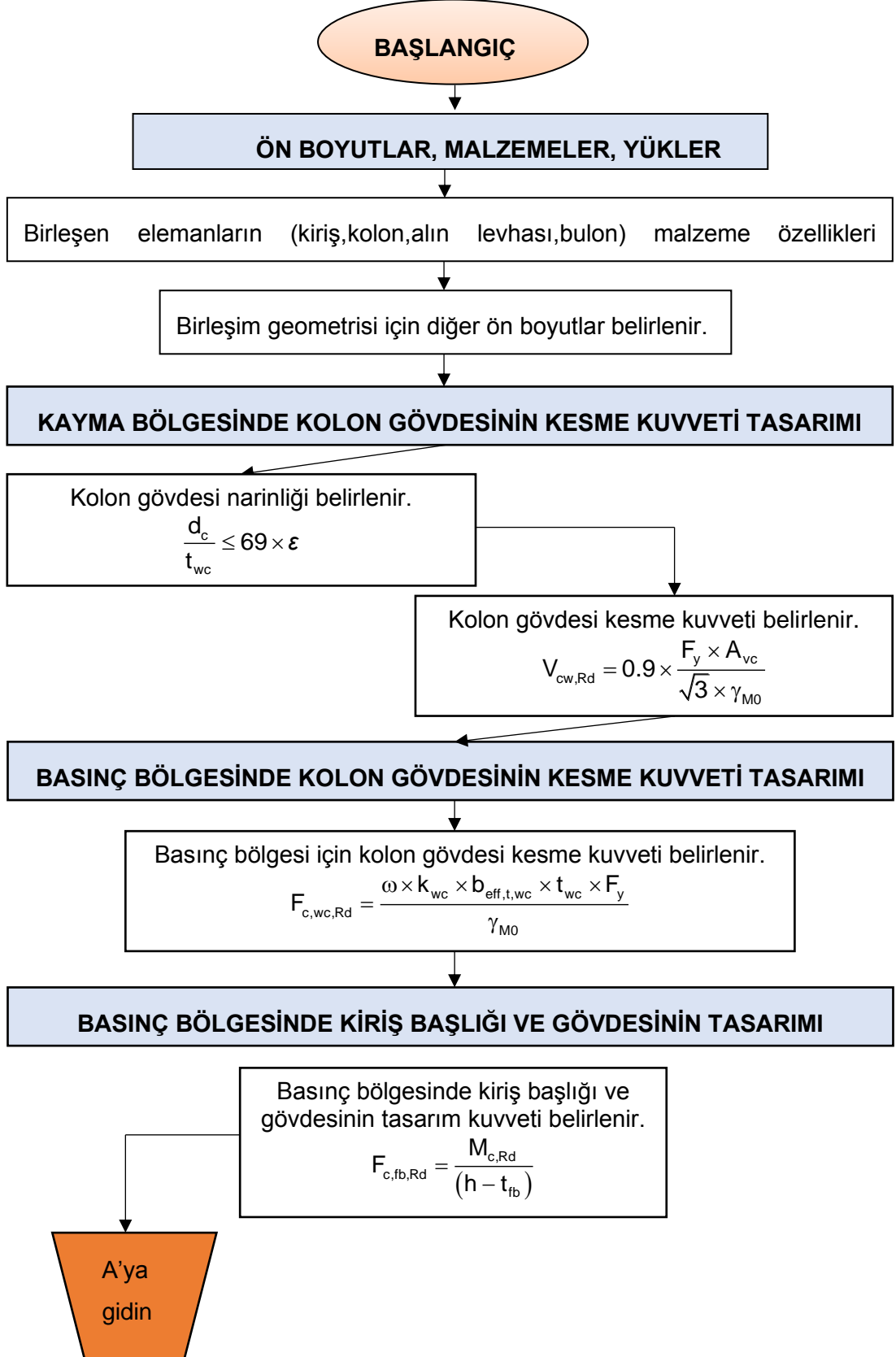
Panel bölgesinin gerekli kesme kuvveti dayanımı belirlenir.

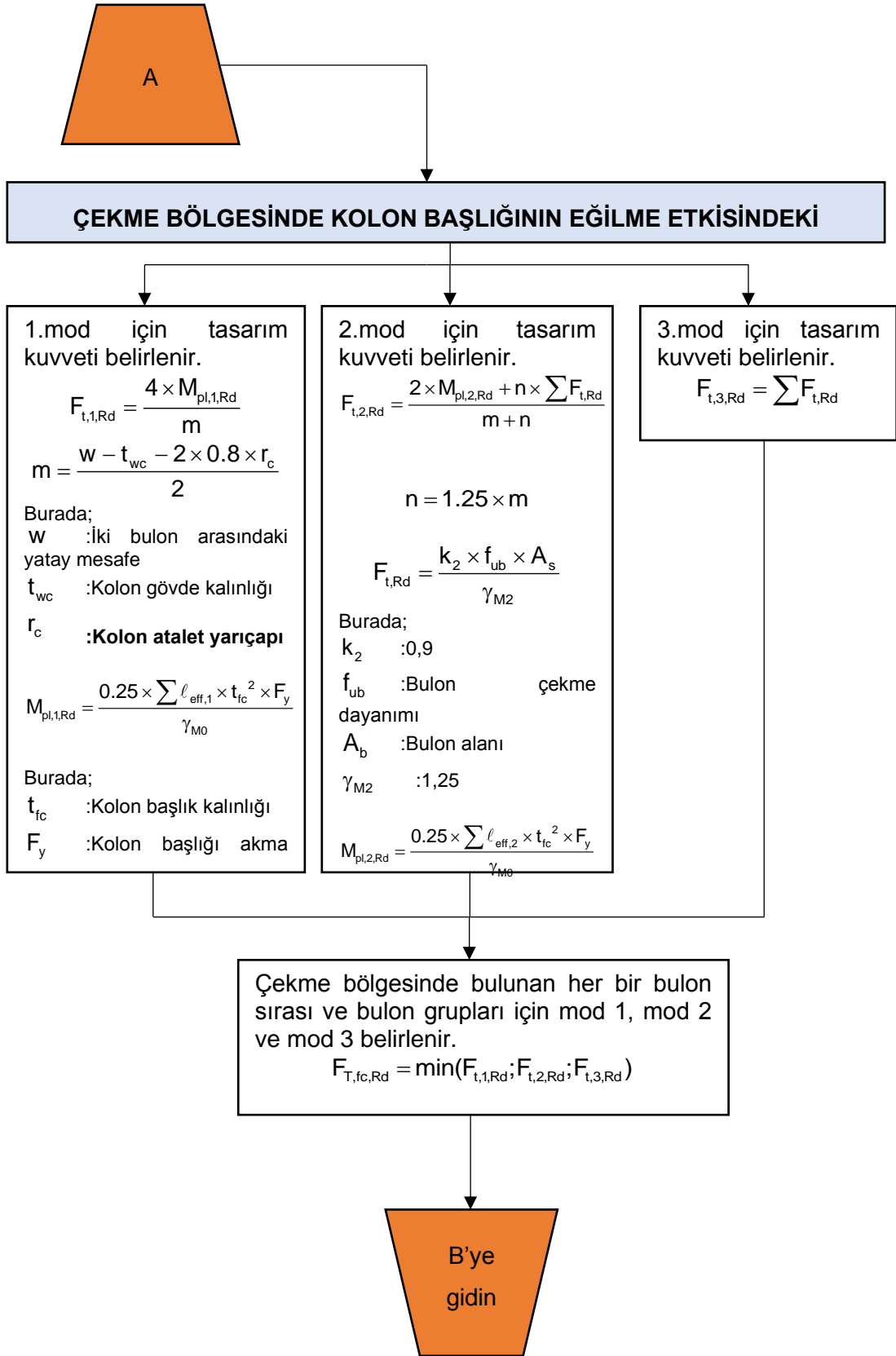
$$V_{up} = \sum M_{uc} \times \left( \frac{1}{d_b - t_{fb}} - \frac{1}{H_{ort}} \right)$$


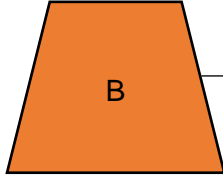




EN 1993-1-8(2005)'e göre alın levhalı bulonlu birleşimin moment kapasitesi tasarımı







## ÇEKME BÖLGESİNDE ALIN LEVHASININ EĞİLME ETKİSİNDEKİ TASARIMI

1.mod için tasarım kuvveti belirlenir.

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \times M_{pl,1,Rd}}{m}$$
$$m_x = \left( p_{to} + \frac{t_{fb}}{2} \right) - 0.8 \times s_f$$

Burada;  
 $s_f$  :Başlıklardaki kaynak kalınlığı  
 $t_{fb}$  :Kiriş başlık kalınlığı  
 $p_{to}$  :Bulon ile giriş başlığının arasında olan mesafe

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,1} \times t_p^2 \times F_y}{\gamma_{M0}}$$

Burada;  
 $t_p$  :Alın levhası kalınlığı  
 $F_y$  :Alın levhası akma dayanımı

2.mod için tasarım kuvveti belirlenir.

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \times M_{pl,2,Rd} + n \times \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$
$$n = 1.25 \times m_x$$
$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}}$$

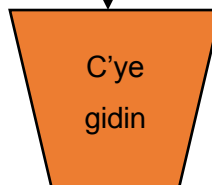
Burada;  
 $k_2$  :0,9  
 $k_2$  :Bulon çekme dayanımı  
 $f_{ub}$  :Bulon alanı  
 $\gamma_{M2}$  :1,25

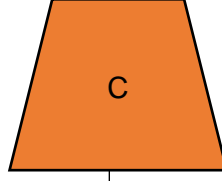
$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \times \sum \ell_{eff,2} \times t_p^2 \times F_y}{\gamma_{M0}}$$

3.mod için tasarım kuvveti belirlenir.

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

Çekme bölgesinde bulunan her bir bulon sırası ve bulon grupları için mod 1, mod 2 ve mod 3 belirlenir.

$$F_{T,ep,Rd} = \min(F_{t,1,Rd}; F_{t,2,Rd}; F_{t,3,Rd})$$




### ÇEKME BÖLGESİNDE KOLON GÖVDESİ

Çekme bölgesinde kiriş gövdesinin tasarım kuvveti belirlenir.

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

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \times \left( \frac{b_{eff,t,wc} \times t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

Burada;

$t_{wc}$  :Kolon gövde kalınlığı

$A_{vc}$  :Kolon kesme alanı

Tasarımın moment kapasitesi belirlenir.

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

TASARIM  
SONU

EN 1993-1-8(2005)'e göre alın levhalı bulonlu birleşimin başlangıç rijitliği tasarımı

