

**ÇELİK YAPILARIN TASARIM, HESAP ve
YAPIM ESASLARI YÖNETMELİĞİ – 2016**

Prof. Dr. Cavidan Yorgun
Y. Doç. Dr. Cüneyt Vatansever
Prof. Dr. Erkan Özer

Kasım 2016

GİRİŞ

- **Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği**, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın desteklediği bir proje kapsamında 2015 yılında hazırlanmış, **04 Şubat 2016** tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanmış ve **01 Eylül 2016** tarihinde kesinlik kazanarak yürürlüğe girmiştir.
- Yönetmelik, aşağıda sıralanan **(16) Bölüm** ve **(4) Ek'** ten oluşmaktadır.
- Yönetmeliğin hazırlanmasını izleyen süreçte, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın desteklediği diğer bir proje kapsamında, Yönetmelik'in açıklamalarını ve çok sayıda sayısal örnekleri içeren bir doküman tamamlanma aşamasındadır.

YÖNETMELİK BÖLÜMLERİ VE EKLER

- BÖLÜM 1** Genel Esaslar
- BÖLÜM 2** Malzeme
- BÖLÜM 3** İmalat ve Montaj
- BÖLÜM 4** Kalite Kontrolü
- BÖLÜM 5** Tasarımda Temel İlkeler
- BÖLÜM 6** Stabilitate Tasarımı
- BÖLÜM 7** Eksenel Çekme Kuvveti Etkisi
- BÖLÜM 8** Eksenel Basınç Kuvveti Etkisi
- BÖLÜM 9** Eğilme Momenti Etkisi
- BÖLÜM 10** Kesme Kuvveti Etkisi

BÖLÜM 11 Bileşik Etkiler

BÖLÜM 12 Kompozit Elemanlar

BÖLÜM 13 Birleşimler ve Birleşim Araçları

BÖLÜM 14 Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Birleşimleri

BÖLÜM 15 Kullanılabilirlik Sınır Durumları İçin Tasarım

BÖLÜM 16 Yapısal Elemanlar İçin Stabilite Bağlantıları

EK 1 Su Birikmesi (Göllenme) Etkisi

EK 2 Yorulma Etkisi

EK 3 Diyaframlar ve Yük Aktarma Elemanları

EK 4 Kaynaklar

BÖLÜM 1. GENEL ESASLAR

Kapsam (1.1)

- Bu yönetmelik, yapısal çelik ve çelik-betonarme kompozit yapı elemanlarının ve yapı sistemlerinin, kullanım amaçlarına uygun olarak, yeterli bir güvenlikle tasarımına ve yapımına ilişkin yöntem, kural ve koşulları içermektedir.
- Bu yönetmelikte verilen kurallar esas olarak bina türü çelik yapı sistemlerini kapsamakla beraber, düşey ve yatay yük taşıyıcı elemanlar içeren diğer yapı sistemlerine de, Yönetmeliğin ilkeleri esas alınarak, benzer şekilde uygulanabilmektedir.
- Bu yönetmelik, boru ve kutu profillerin karakteristik cidar kalınlıkları hariç olmak üzere, eleman kalınlıkları en az 4.0mm olan çelik yapı sistemlerini kapsamaktadır.
- Boru ve kutu enkesitlerin karakteristik cidar kalınlığı 2.5mm den küçük olamaz.
- Deprem bölgelerinde yapılacak çelik ve kompozit yapı sistemlerinin depreme dayanıklı olarak tasarımında, bu yönetmelikte verilen kural ve koşullara ek olarak, ilgili Deprem Yönetmeliği kuralları da yerine getirilmelidir.

İlkeler (1.2)

- Yapısal çelik ve çelik – betonarme kompozit yapı elemanlarının tasarımına ilişkin bu Yönetmelikte veya ilgili Türk standartlarında yer almayan tasarım kuralları için, öncelikle Ek-4'te verilen kaynaklarla beraber, uluslararası geçerliliği kabul edilen eşdeğer diğer standart, yönetmelik vb. teknik dokümanlar, bu Yönetmelikte öngörülen ilkeleri ve asgari güvenlik seviyesini sağlayacak şekilde kullanılabilirler.
- Bu Yönetmeliğin uygulanmasında gerekli olabilecek özel yapı bileşenlerinin ve sistemlerinin testlerinin yürütülmesinde, TS EN 1990 Ek D'de verilen esaslar veya eşdeğer uluslararası yöntemler dikkate alınacaktır.

İlgili Standart ve Yönetmelikler (1.3)

- Bu yönetmelik kapsamı içinde bulunan yapısal çelik ve çelik-betonarme kompozit yapı elemanları ve yapı sistemlerinin tasarımında referans verilen başlıca standart ve yönetmelikler aşağıda özetlenmiştir.
 - TS 498: 1997 Yük standardı
 - TS EN 1991-1-3: 2009 Kar yükleri
 - TS EN 1991-1-4: 2005 Rüzgar etkileri
 - Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)
 - TS 500: 2000 Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları standardı
 - Yapısal çelik, bulonlar, kaynak ve başlıklı çelik elemanlar ile ilgili TS EN standartları

BÖLÜM 2. MALZEME

Yapısal Çelik (2.1)

- Çelik yapı malzemesinin (çelik profiller, levhalar, borular ve kutu enkesitli elemanlar) özellikleri, ilgili TS EN standartlarına uygun olacaktır.
- Yapısal çelik sınıflarının F_y akma gerilmesi ve F_u çekme dayanımı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	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	440	550	410	550

Bulonlar, Somunlar, Pullar (2.2)

- Bulonların özellikleri ilgili TS EN standartlarına uygun olacaktır (1.3.5).
- Uygulamada kullanılan bulonların F_{yb} karakteristik akma gerilmelerinin ve F_{ub} çekme dayanımlarının MPa (N/mm²) birimindeki değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Bulon sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
F_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
F_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Kaynak Metali (2.4)

- Kaynak metali özellikleri, ilgili TS EN standartlarına uygun olacaktır **(1.3.6)**. Ayrıca, kaynak metalinin akma gerilmesi ve çekme dayanımı, kopmaya karşı gelen uzama oranı ve minimum çentik tokluğu değerleri, uygulandığı esas metalin benzer değerlerinden daha az olmayacaktır.

BÖLÜM 3. İMALAT VE MONTAJ

Genel (3.1)

- Çelik yapı sistemleri ve çelik-betonarme kompozit yapıların yapısal çelik elemanlarının imalat ve montaj aşamalarına ait genel ve teknik esasların uygulamalarında ilgili Türk standardında (TS EN 1090-2) belirtilen koşullara uyulması zorunludur.
- Bu standartta, yapısal çelik işlerinin imalat ve montajında uyulması gereken genel ve teknik esaslar ile kalite kontrol ve yönetim ölçütleri yer almaktadır.

Proje Hesap Raporu (3.2.1)

- Proje hesap raporunun başında projeye ait Tasarım İlkeleri verilir. Tasarım ilkeleri en az aşağıdaki bilgileri içermelidir.
 - Yapının taşıyıcı sistemini açıklayan krokiler.
 - Tasarımda kullanılan standart ve yönetmelikler ile diğer ilgili doküman bilgileri.
 - Tasarıma esas olan yük bilgileri.
 - Deprem parametreleri (deprem tehlikesi sınıfı, tasarım deprem spektrumu, taşıyıcı sistem davranış katsayısı, bina önem katsayısı vb.).
 - Uygulanan tasarım yöntemi (YDKT veya GKT) ve ilgili yük birleşimleri.
 - Malzeme bilgileri (yapı çeliği, bulonlar, kaynak).
 - Temel zemini ile ilgili parametreler.
- Yapı sisteminin analiz ve boyutlandırma hesapları, stabilite (kararlılık) kontrolleri ile birleşim ve ek detaylarına ait hesaplar hesap raporunda açık ve izlenebilir bir şekilde yer almalıdır.

Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Kurallar (3.2.2)

- Çelik uygulama projesinde şu çizimler bulunacaktır.
 - Çatı döşemesi ve kat döşemelerine ait, geometrik boyutları ve kotları içeren genel konstrüksiyon planları.
 - Kolon aplikasyon (yerleşim) planları.
 - Ankraj planı ve detayları.
 - Yeterli sayıda kesitler ve cephe görünüşleri.
 - Tüm yapısal elemanlara (kirişler, kolonlar, çaprazlar vs.) ait uygulama resimleri.
 - Birleşim ve eklerin prensip detayları.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

- Uygulama projesi çizimlerinde şu bilgiler yer alacaktır.
 - Pafta ölçekleri, ölçü birimleri.
 - Deprem parametreleri.
 - Projede kullanılan profiller ve çelik levhalar ile bunların karakteristik dayanımları.
 - Bulonlu birleşim ve ek detaylarında, kullanılan bulon sınıfı, bulon ve delik çapları, rondela ve somun özellikleri ile bulonlara uygulanacak öngerme kuvvetleri.
 - Kaynaklı birleşim ve ek detaylarında, kaynak türü, kaynak kalınlığı ve uzunluğu ile, küt kaynaklarda kaynak ağzının geometrik boyutları.
 - Gerekli olan durumlarda, elemanlara uygulanacak ters sehim ile ilgili bilgiler.
 - Eleman boya bilgileri.
 - Sürtünme yüzeyi uygulamaları ile ilgili bilgiler.

BÖLÜM 4. KALİTE KONTROLÜ

- İmalat ve montaj aşamalarındaki işlerin kalite kontrolü ilgili Türk Standardına (TS EN 1090-2) uygun olarak gerçekleştirilecektir. Kalite güvencesi, gerekli yetkinliğe sahip olan bağımsız denetim kuruluşu tarafından sağlanacaktır.
- Kalite kontrolünde başlıca şu uygulamalar denetlenecektir.
 - Kullanılacak malzemenin projede tanımlanan özelliklere uygunluğu.
 - İmalat ve şantiye koşulları.
 - Kaynak ve bulonların uygulama koşulları.
 - İmalat aşamaları ile ilgili kesim işlemleri ve yüzey hazırlığı.
 - Boya uygulama koşulları ve yöntemi.
 - İmalat ve montaj aşamalarında izin verilen hata sınırları.

BÖLÜM 5. TASARIMDA TEMEL İLKELER

Genel Esaslar (5.1)

- Yapı sistemini oluşturan elemanların ve birleşimlerin tasarımı, yapısal analizin temel varsayımları ve yapı için öngörülen kullanım ve davranış özellikleri ile uyumlu olmalıdır.

Tasarım Prensipleri (5.2)

- Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerin tasarımı Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımlarından biri uygulanarak gerçekleştirilebilir.
- Elemanların ve birleşimlerin gerekli dayanımı, uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen yük birleşimleri altında hesaplanır.
- Sistem analizleri doğrusal-elastik teoriye göre gerçekleştirilebilir.

Sınır durumlar (5.2.1)

- Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin tasarımı, yapının işletme ömrü boyunca kendinden beklenen tüm fonksiyonları belirli bir güvenlik altında yerine getirebilecek düzeyde dayanım, kararlılık (stabilite) ve rijitliğe sahip olacak şekilde, dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları esas alınarak gerçekleştirilecektir.
- Dayanım sınır durumu, yapının kullanım ömrü boyunca, dayanım veya stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tümsel göçme oluşumunu tanımlar. Dayanım sınır durumu için güvenlik, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımı için verilen koşulların uygulanması ile sağlanacaktır.
- Kullanılabilirlik sınır durumu, yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen aşırı yerdeğiştirmeler ve benzeri özellikler cinsinden tanımlanır.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) (5.2.2)

- Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT), tüm yapısal elemanlar için, tasarım dayanımı, ϕR_n nin bu tasarım yöntemi için öngörülen yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_u değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanır.
- Buna göre tasarım aşağıdaki denkleme uygun olarak gerçekleştirilir.

$$R_u \leq \phi R_n \quad \text{Denk.(5.1)}$$

R_u : YDKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanım

R_n : karakteristik dayanım

ϕ : dayanım katsayısı

ϕR_n : tasarım dayanımı

- Karakteristik dayanım, R_n , ve dayanım katsayısı, ϕ , yönetmeliğin ilgili bölümlerinde açıklanmaktadır.

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) (5.2.3)

- Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT), tüm yapısal elemanlar için, güvenli dayanım, R_n / Ω nın bu tasarım yöntemi için öngörülen yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_a değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanır.
- Buna göre tasarım aşağıdaki denkleme uygun olarak gerçekleştirilir.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad \text{Denk.(5.2)}$$

R_a : GKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanım

R_n : karakteristik dayanım

Ω : güvenlik katsayısı

R_n / Ω : güvenli dayanım

- Karakteristik dayanım, R_n , ve güvenlik katsayısı, Ω , yönetmeliğin ilgili bölümlerinde açıklanmaktadır.

Yükler ve Yük Birleşimleri (5.3)

- Yapı sisteminin tasarımında esas alınan tasarım yükü değerleri, kar, rüzgar ve deprem hariç olmak üzere, TS 498 Standardına uygun olarak belirlenecektir.
- Kar yükleri için TS EN 1991-1-3 te verilen koşullar gözönüne alınacaktır.
- Rüzgar yükleri için TS EN 1991-1-4 te verilen koşullar gözönüne alınacaktır.
- Deprem etkilerinin tanımı için yürürlükteki deprem yönetmeliği koşulları gözönüne alınacaktır.
- Gerekli dayanımı belirlemek için karakteristik yüklere göre oluşturulacak yük birleşimleri, seçilen tasarım yöntemine bağlı olarak ayrı ayrı verilmiştir.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

- Yük birleşimlerinde yer alan yükler aşağıda tanımlanmıştır.

G : sabit yük

Q : hareketli yük

Q_r : çatı hareketli yükü

S : kar yükü

R : yağmur yükü

W : rüzgar yükü

E : deprem etkisi

F : akışkan madde basınç yükü

T : sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri

H : yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı, yığılı madde basıncı

Not: **F** akışkan madde basınç yükünün, **H** yatay kuvvetinin ve **T** sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkilerinin mevcut olması halinde, bu etkilerin birleşimlere hangi katsayılar ile gireceği yönetmelikte belirtilmiştir.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım – YDKT (5.3.1)

- Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_u aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

(1) $1.4G$

(2a) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(2b) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(3) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$

(4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$

(5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$

(6) $0.9G + 1.6W$

(7) $0.9G + 1.0E$

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım – GKT (5.3.2)

- Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_a aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

(1) G

(2) $G + Q$

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

(4) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(5a) $G + 1.0W$

(5b) $G + 0.7E$

(6a) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75W$

(6b) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(0.7E)$

(7) $0.6G + W$

(8) $0.6G + 0.7E$

Kullanılabilirlik Sınır Durumları İçin Tasarım (5.2.6)

- Kullanılabilirlik, öngörülen normal kullanım koşulları ve yükleri altında, yapının kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirmesi, dış görünümünün ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığının korunması, yapısal olmayan elemanların olumsuz etkilenmemesi, kullanıcıların konforunun sağlanması gibi durumların tümü olarak tanımlanır.
- Kullanılabilirlik sınır durumları, öngörülen belirli yük birleşimleri altında, yapı sisteminin yerdeğiştirme ve ivme gibi davranış büyüklüklerine ait sınırlar ile tanımlanır.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

- Kullanılabilirlik sınır durumlarının kontrollerinde, G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, S kar yüklerini ve W rüzgar yüklerini göstermek üzere,
 - sabit yükler ve hareketli yükler veya kar yükleri altındaki düşey yerdeğiştirme kontrollerinde $(G + Q)$ ve $(G + 0.5S)$ yük birleşimleri,
 - yatay yerdeğiştirme kontrollerinde $(G + 0.5Q + W)$ yükleme birleşimi uygulanacaktır **(15.1)**.
- Bu kontrollerde, sabit ve hareketli yükler (kar yükleri) altında hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı için **1/300** sınır değeri öngörülmektedir. Konsol elemanlarda ise bu oran **1/150** olmaktadır.

Yapısal Bütünlük İçin Tasarım (5.2.10)

- Bu bölümde yapısal bütünlük için verilen koşullar diğer dayanım koşullarından bağımsız olarak değerlendirilecektir.

- kolon eklerinin aksenal çekme kuvveti,
- kiriş uç birleşimlerinin aksenal çekme kuvveti ve kesme kuvveti,
- kolonların stabilitesini sağlayan elemanların uç birleşimlerinin aksenal çekme kuvveti

dayanımlarına ilişkin minimum koşullar, yapısal bütünlük açısından sağlanacaktır.

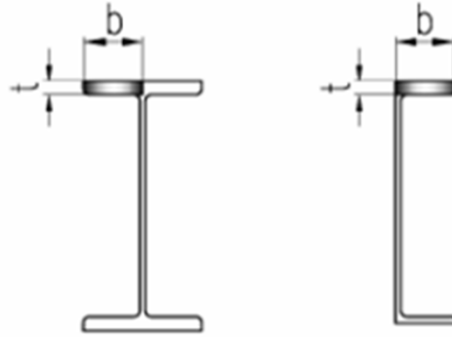
Eleman Enkesit Özellikleri (5.4)

- Eksenel basınç etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu esas alınarak narin enkesitler ve narin olmayan enkesitler olarak ikiye ayrılırlar.
- Benzer şekilde, eğilme momenti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu esas alınarak kompakt enkesitler, kompakt olmayan enkesitler ve narin enkesitler olarak üçe ayrılırlar.
- Bu sınıflandırma eleman enkesitini oluşturan enkesit parçalarının genişlik(çap) / kalınlık oranlarına bağlı olarak tanımlanır.

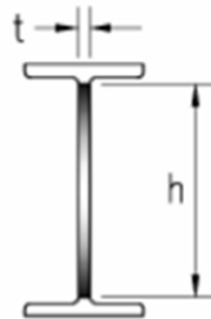
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Yönetmelikte, rijitleştirilmemiş ve rijitleştirilmiş enkesit parçaları için yukarıdaki sınıflandırmaya ait sınır değerler tablolar halinde verilmiştir.

- **Rijitleştirilmemiş enkesit parçası** (basınç kuvveti doğrultusuna paralel sadece bir kenarı boyunca enkesitin diğer parçası ile bağlanan enkesit parçaları)



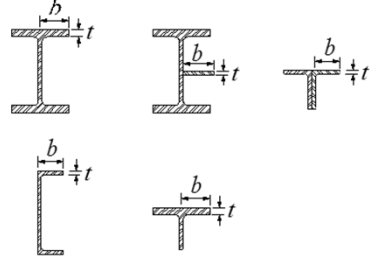
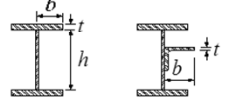
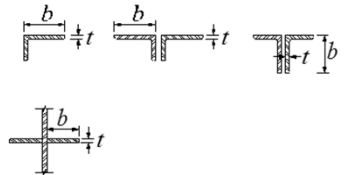
- **Rijitleştirilmiş enkesit parçası** (her iki kenarı boyunca enkesitin diğer parçaları ile bağlanan enkesit parçaları)



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Tablo 5.1A

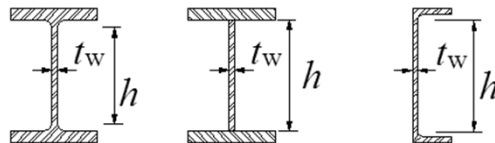
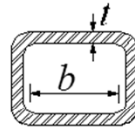
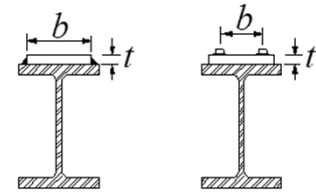
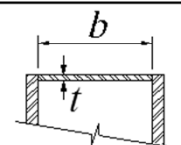
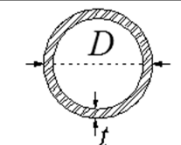
Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik / Kalınlık Oranları

	Durum	Tanım	Genişlik / Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değeri, λ_r	Enkesit
Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası	1	Hadde I- profillerinin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar, boşluksuz olarak sürekli birleştirilen çift korniyerlerin dış kolları, U- ve T- profillerin başlıkları	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Yapma I-profillerin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar ve korniyerlerin dış kolları	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^[a]	
	3	Tek korniyerlerin kolları, birbirlerine boşluklu olarak bağlanan çift korniyerlerin kolları ve tüm rijitleştirilmemiş elemanlar	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Tablo 5.1A (devam)

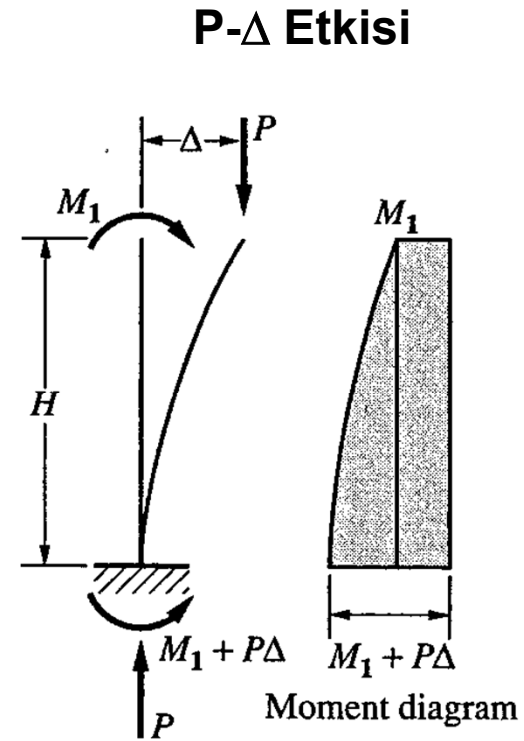
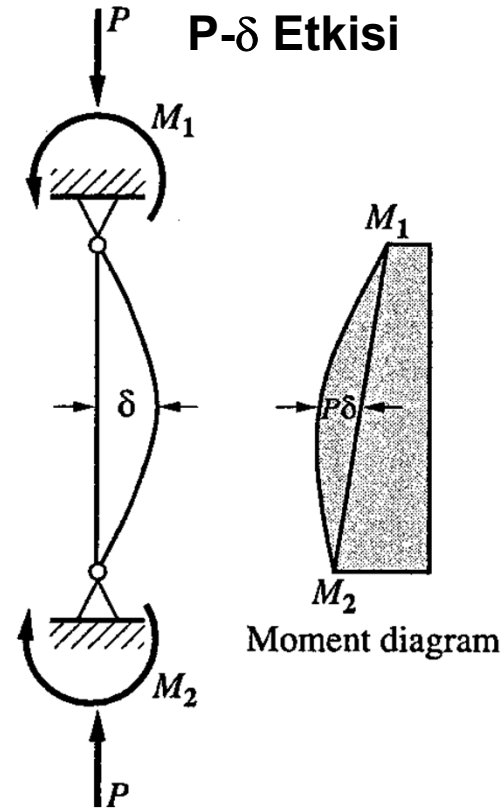
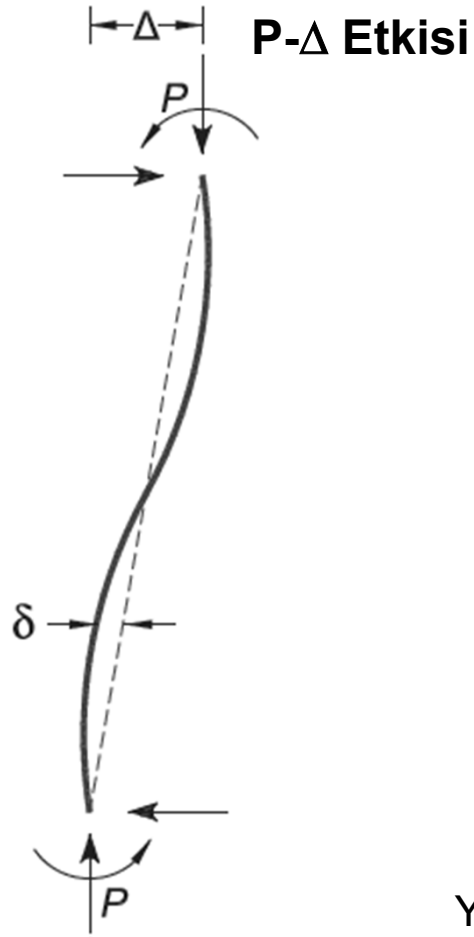
Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik / Kalınlık Oranları

Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası	5	U-profillerin ve çift simetri eksenli I-profillerin gövdeleri	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Üniform kalınlıklı dikdörtgen ve kare kutu enkesitlerin gövde ve başlıkları	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Birleşim araçları arasında kalan takviye levhaları ve diyafram levhaları	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Tüm diğer rijitleştirilmiş enkesit parçaları	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

BÖLÜM 6. STABİLİTE TASARIMI

- Yapı sistemlerinin stabilite tasarımı, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin (yerdeğiştirmelerin) denge denklemlerine etkisini gözönüne alan ikinci mertebe teorisi 'ne göre analiz yapılmasını ve hesaplanan iç kuvvetlerin elemanların mevcut dayanımları ile karşılaştırılmasını öngörmektedir.
- Yapı sistemlerinin stabilitesini etkileyen başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır.
 - Elemanların eğilme, kayma ve eksenel şekildeğiştirmeleri ile birlikte yapı sisteminin yerdeğiştirmesinde etkili olan diğer tüm şekildeğiştirmeler.
 - Geometrik ön kusurlar (ilkel kusurlar).
 - Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler.
 - Eleman şekildeğiştirmesine ait $(P - \delta)$ ve sistem yerdeğiştirmesine ait $(P - \Delta)$ ikinci mertebe etkileri.

İKİNCİ MERTEBE ETKİLER

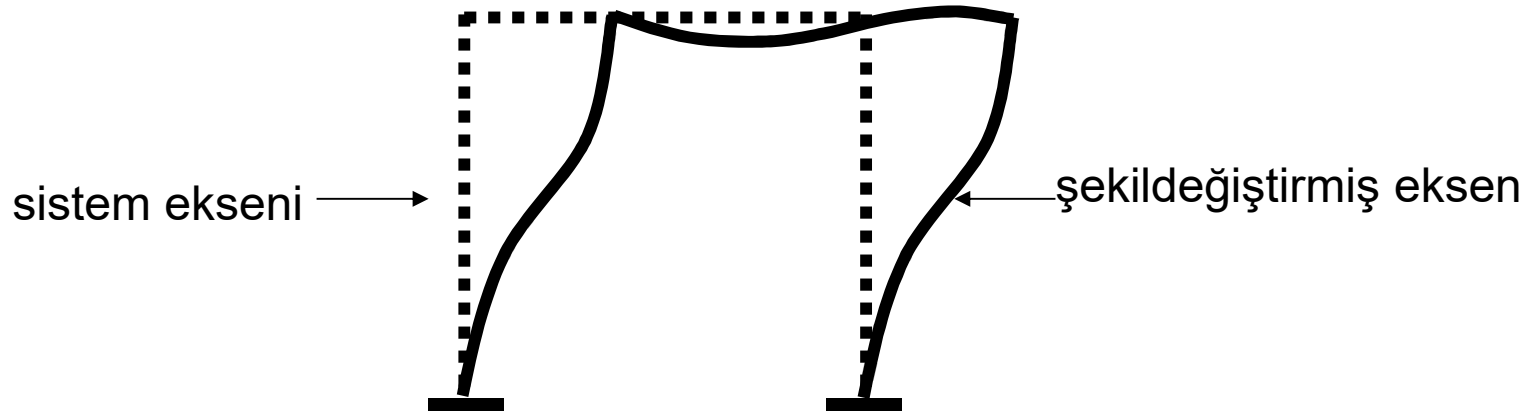


Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemlerde ikinci mertebe etkiler

Yatay ötelenmesi önlenmemiş sistemlerde ikinci mertebe etkiler

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

- İkinci mertebe teorisinde denge denklemleri yapı sisteminin şekildeğiştirilmiş eksenini üzerinde yazılmaktadır. Yapı sisteminin şekildeğiştirilmiş eksenini analizin başında bilinmediğinden, ikinci mertebe teorisi doğrusal (lineer) değildir.
- Bu nedenle, süperpozisyon prensibi geçerli olmadığından düşey işletme yüklerinin ilgili yük katsayıları ile çarpımından oluşan toplam düşey yükler altında analiz yapılır. Toplam düşey yükler, YDKT yük birleşimlerinden elde edilen yüklemeden veya GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yüklemeden elde edilirler.



Yönetmelikte yapısal stabiliteyi etkileyen yukarıdaki faktörleri gözönüne alan aşağıdaki yöntemlerin uygulama kuralları tanımlanmıştır.

1- Genel (doğrudan) analiz yöntemi

2- Burkulma boyu (etkin uzunluk) yöntemi

- Ayrıca, yaklaşık ikinci mertebe analizi ile, ikinci mertebe etkileri yaklaşık olarak hesaba katılabilmektedir.

BÖLÜM 7. EKSENEL ÇEKME KUVVETİ ETKİSİ

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki bir elemanın davranışı, kayıpsız alan ve etkin net enkesit alanı davranışları ile birleşim bölgesinde eleman davranışı olmak üzere, üç farklı karakteristik durum dikkate alınarak incelenmektedir.

Bu durumda bir çekme elemanının dayanımı, aşağıdaki üç davranış biçimi dikkate alınarak belirlenmektedir.

Kayıpsız enkesit alanının davranışı,

Kayıpsız enkesitteki gerilmelerin akma gerilmesine ulaşması.

Etkin net enkesit alanının davranışı,

Etkin net enkesitteki gerilmelerin çekme dayanımına (kopma gerilmesine) ulaşması.

Birleşim bölgesinde eleman davranışı,

Birleşim bölgesinde blok kırılma sınır durumuna ulaşılması.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

SINIR DURUMLAR İÇİN ENKESİT ALANI HESABI

Olası sınır durumlarının değerlendirilmesinde kullanılacak enkesit alanları aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanacaktır.

Kayıpsız enkesit alanı, A_g

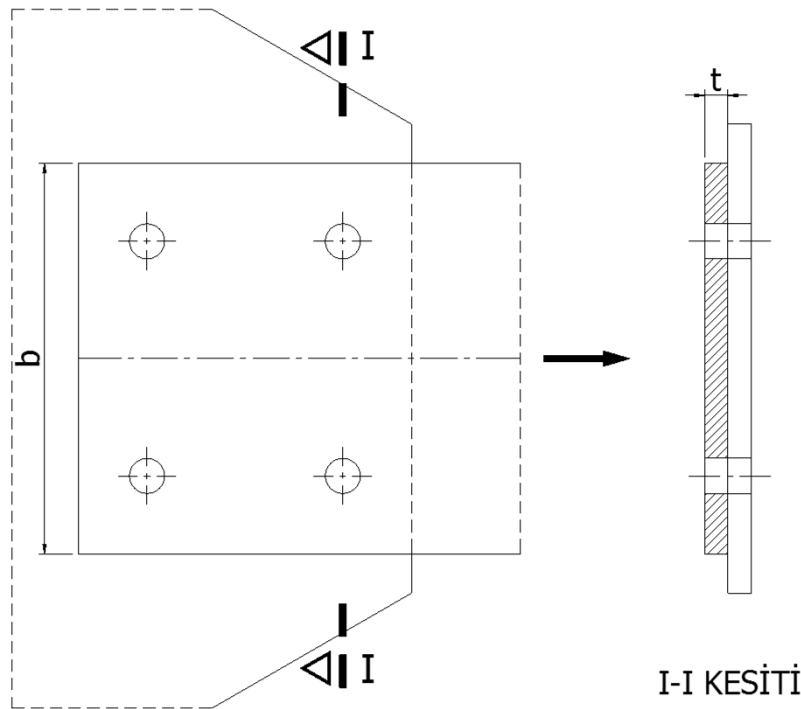
Kayıpların gözönüne alınmadığı toplam enkesit alanı olup herhangi bir yapısal çelik eleman enkesiti için tablo yardımıyla elde edilebilmektedir.

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø	P _{min} mm	P _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
IPE AA 240*	24,9	236,4	120	4,8	8,0	15,0	31,7	220,4	190,4	M 12	64	68	0,917	36,86
IPE A 240*	26,2	237	120	5,2	8,3	15,0	33,3	220,4	190,4	M 12	64	68	0,918	35,10
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15,0	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02
IPE O 240*	34,3	242	122	7,0	10,8	15,0	43,7	220,4	190,4	M 12	66	70	0,932	27,17

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Net (kayıplı) enkesit alanı, A_n

Elemanın kırılma çizgisi üzerinde yer alan bulon delikleri nedeniyle veya konstrüktif nedenlerden dolayı oluşan kayıp enkesit alanlarının çıkarılması ile elde edilecektir.



Şekildeki bulonlu birleşim dikkate alındığında, net enkesit alanı (taralı alan), A_n

$$A_n = A_g - A_{kayıp}$$

şeklinde hesaplanacaktır. Yukarıdaki ifadede yer alan kayıp enkesit alanı, $A_{kayıp}$, 5.4.3 uyarınca etkin delik çapı, d_e , kullanılarak hesaplanmalıdır. Buna göre,

$$d_e = d_h + 2.0\text{mm}$$

$$A_{kayıp} = 2d_e t$$

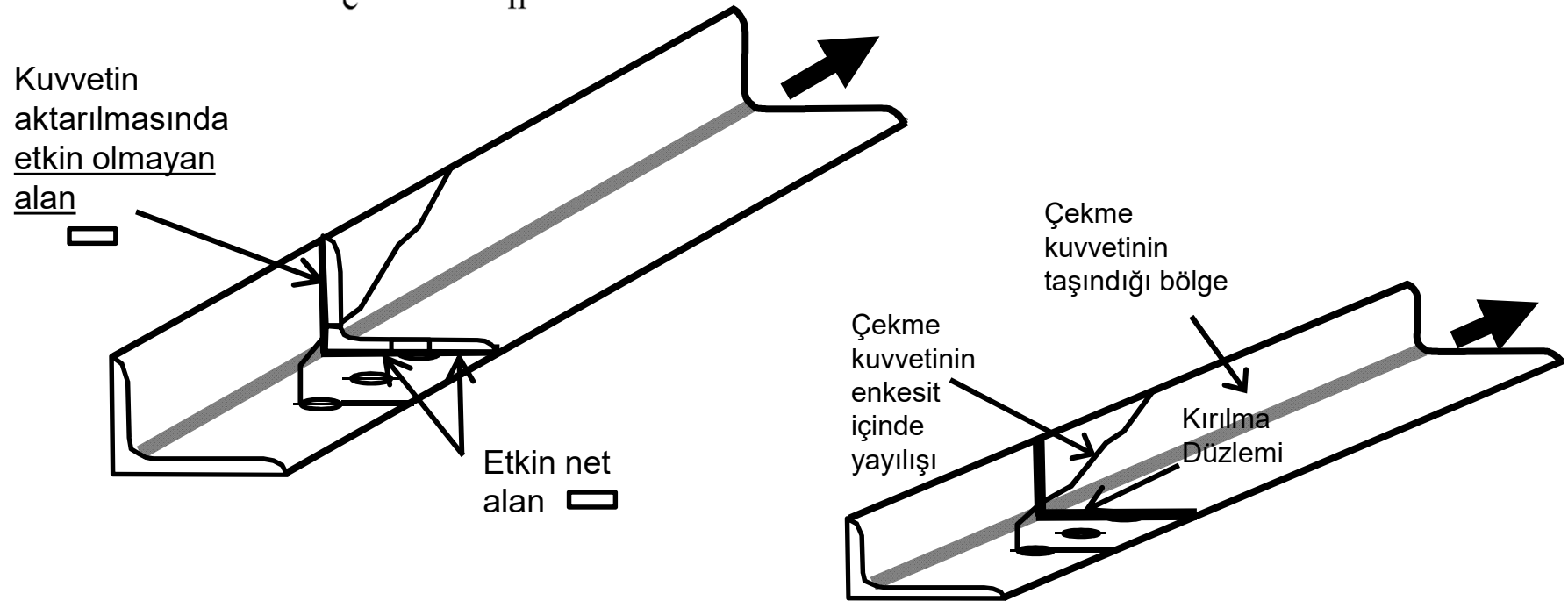
$$A_n = bt - 2d_e t$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Etkin net enkesit alanı, A_e

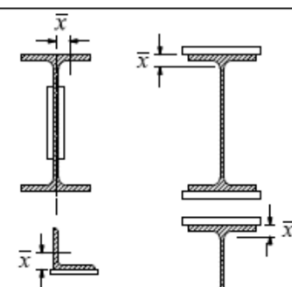
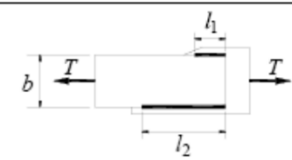
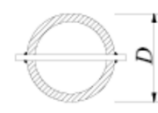
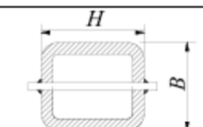
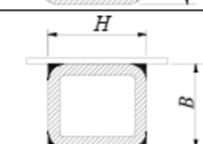
Çekme elemanı enkesit parçalarının (başlık ve gövde) tümünün bağlanmadığı durumda, **Tablo 7.1** esas alınarak hesaplanacaktır. Birleşim içindeki gerilme yayılımı düzensizliği, gerilme düzensizliği etki katsayısı, U , kullanılarak hesaba katılmaktadır.

$$A_e = UA_n$$



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

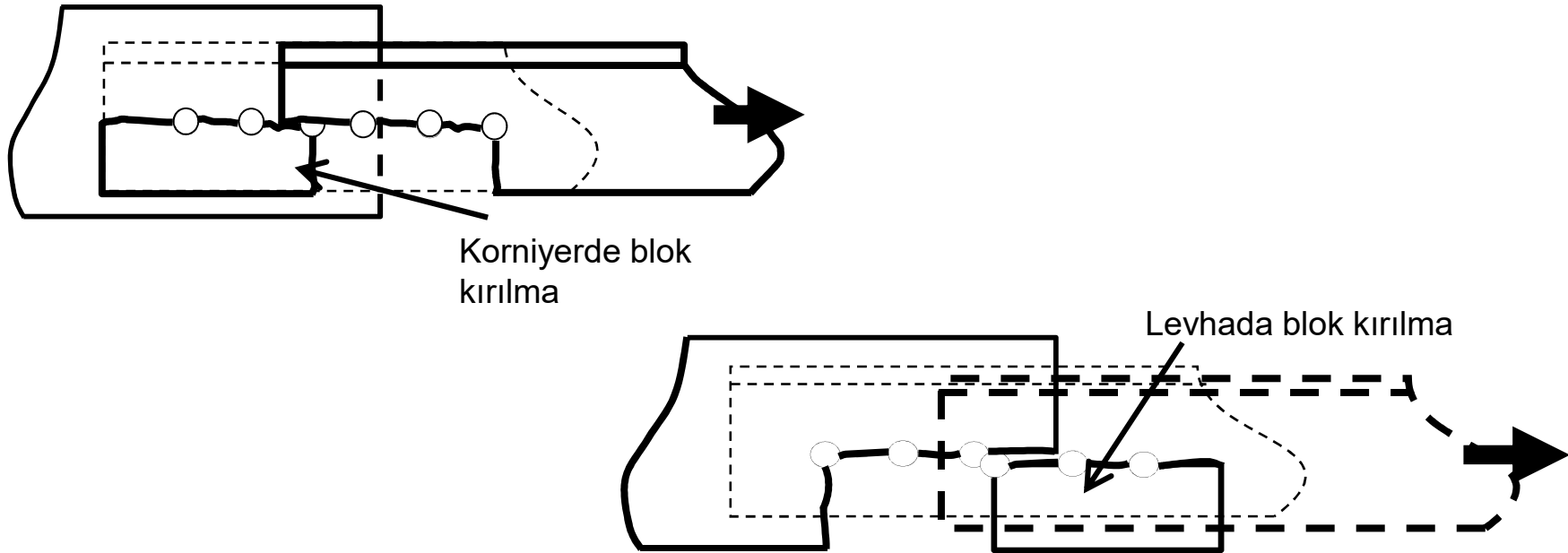
TABLO - 7.1 GERİLME DÜZENSİZLİĞİ ETKİ KATSAYISI

Durum	Çekme Elemanı Tanımı	Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı, U	Örnek
1	Çekme elemanlarının birleşim bölgesine tüm enkesit parçalarıyla bağlanması durumu	$U = 1.0$	-
2	Çekme kuvvetinin, boru ve kutu enkesitli elemanlar hariç olmak üzere, bulonlu birleşimlerle veya boyuna ve enine kaynakların birlikte kullandığı kaynaklı birleşimlerle aktarıldığı tüm çekme elemanları	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
3	Kuvvetin çekme doğrultusuna dik kaynaklarla aktarıldığı birleşim	$U = 1.0$ A_n : doğrudan birleşen enkesit parçasının alanı	-
4 ^[a]	Çekme kuvvetinin sadece boyuna doğrultudaki kaynaklarla aktarıldığı levhalar, korniyerler, U-profiller, T-enkesitli elemanlar (\bar{x} nin tanımı için Durum 2 ye bakınız).	$U = \frac{3l^2}{(3l^2 + b^2)} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right)$	
5	Bir birleşim levhasına bağlanan boru enkesitli profiller ^[b]	$l \geq 1.3D \rightarrow U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D$ $\rightarrow U = 1 - \bar{x} / l$ $\bar{x} = D / \pi$	
6	Birleşim levhasına bağlanan kutu enkesitli profiller ^[b]	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x} / l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$	
	Yan kenarlarda iki adet birleşim levhası kullanılması durumu	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x} / l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	

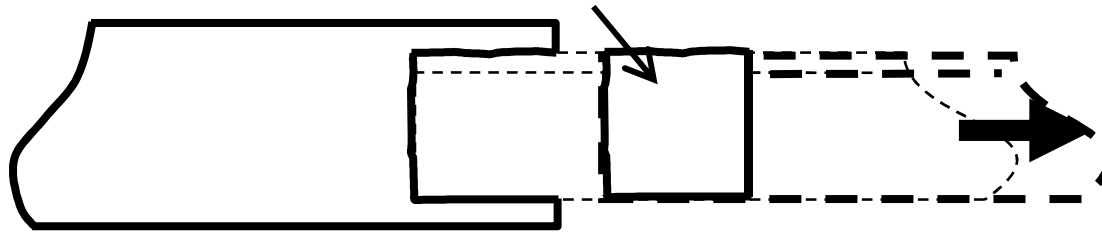
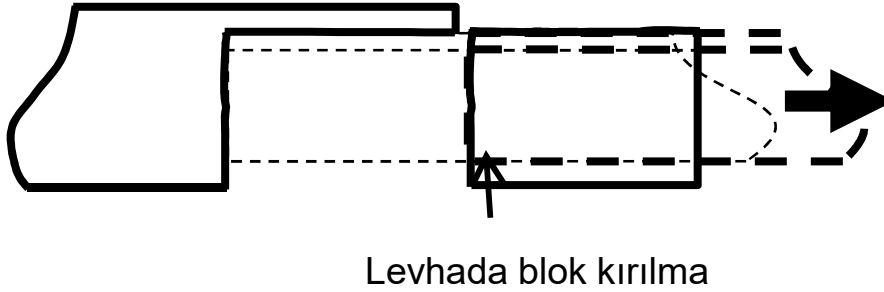
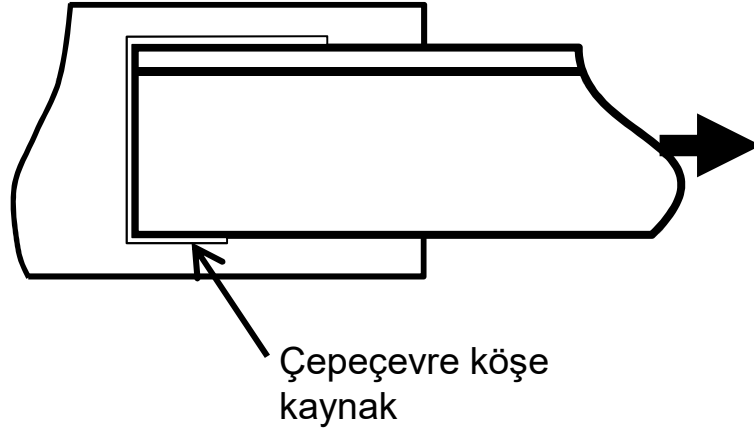
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Birleşim bölgesinde eleman davranışı,

Birleşimi oluşturan çekme elemanının veya birleşim levhasının bir parçasının blok halinde kırılarak esas elemandan (çekme elemanı veya birleşim levhası) ayrılması durumu olarak karşılaşılan davranış biçimidir. Bu sınır durum çekme elemanı ve birleşim levhası için ayrı ayrı olmak üzere, bir korniyerin bulonlu ve kaynaklı birleşimleri esas alınarak açıklanabilir.



Korniyerin kaynaklı birleşimi



Çekme Kuvveti Dayanımı (7.2)

Tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t T_n$, (YDKT) veya güvenli çekme kuvveti dayanımı, T_n/Ω_t , (GKT), aksenal çekme kuvveti etkisindeki elemanın, akma sınır durumu, kırılma sınır durumu ve blok kırılma sınır durumlarına göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

Akma Sınır Durumu (7.2.1)

Çekme elemanlarında akma sınır durumu için karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n , kayıpsız enkesit alanı kullanılarak **Denk.(7.2)** ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_y A_g \quad \text{Denk.(7.2)}$$

Tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t T_n$, (YDKT) veya güvenli çekme kuvveti dayanımı, T_n/Ω_t , (GKT),

$$\phi_t = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_t = 1.67 \text{ (GKT)}$$

alınarak belirlenecektir.

Kırılma Sınır Durumu (7.2.2)

Çekme elemanlarında kırılma sınır durumu için karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n , etkin net enkesit alanı kullanılarak **Denk.(7.3)** ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_u A_e \quad \text{Denk.(7.3)}$$

Tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t T_n$, (YDKT) veya güvenli çekme kuvveti dayanımı, T_n/Ω_t , (GKT),

$$\phi_t = 0.75 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_t = 2.0 \text{ (GKT)}$$

alınarak belirlenecektir. Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

A_e : Etkin net enkesit alanı.

A_g : Kayıpsız enkesit alanı.

F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi.

F_u : Yapısal çelik karakteristik çekme dayanımı.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Blok Kırılma Dayanımı (13.4.3)

Karakteristik blok kırılma dayanımı, R_n , kesme yüzeyi veya yüzeyleri boyunca akma ve kırılma sınır durumları ile çekme yüzeyi boyunca kopma sınır durumları esas alınarak, **Denk.(13.19)** ile hesaplanacaktır.

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad \text{Denk.(13.19)}$$

Tasarım blok kırılma dayanımı, ϕR_n , (YDKT) veya güvenli blok kırılma dayanımı, R_n/Ω , (GKT),

$$\phi = 0.75 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega = 2.00 \text{ (GKT)}$$

alınarak belirlenecektir. Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

A_{gv} : Kayma gerilmesi etkisindeki kayıpsız alan.

A_{nv} : Kayma gerilmesi etkisindeki net alan.

A_{nt} : Çekme gerilmesi etkisindeki net alan.

U_{bs} : Çekme gerilmeleri yayılışını gözönüne alan bir katsayı (Şekil 13.9)

5. ÖRNEKLER

ÖRNEK 1. Aşağıda bulonlu birleşim detayı verilen 14×200 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla, $P_G = 80\text{kN}$ ve $P_Q = 200\text{kN}$ aksenal çekme kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

Malzeme (Tablo 2.1A)

S 235 $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

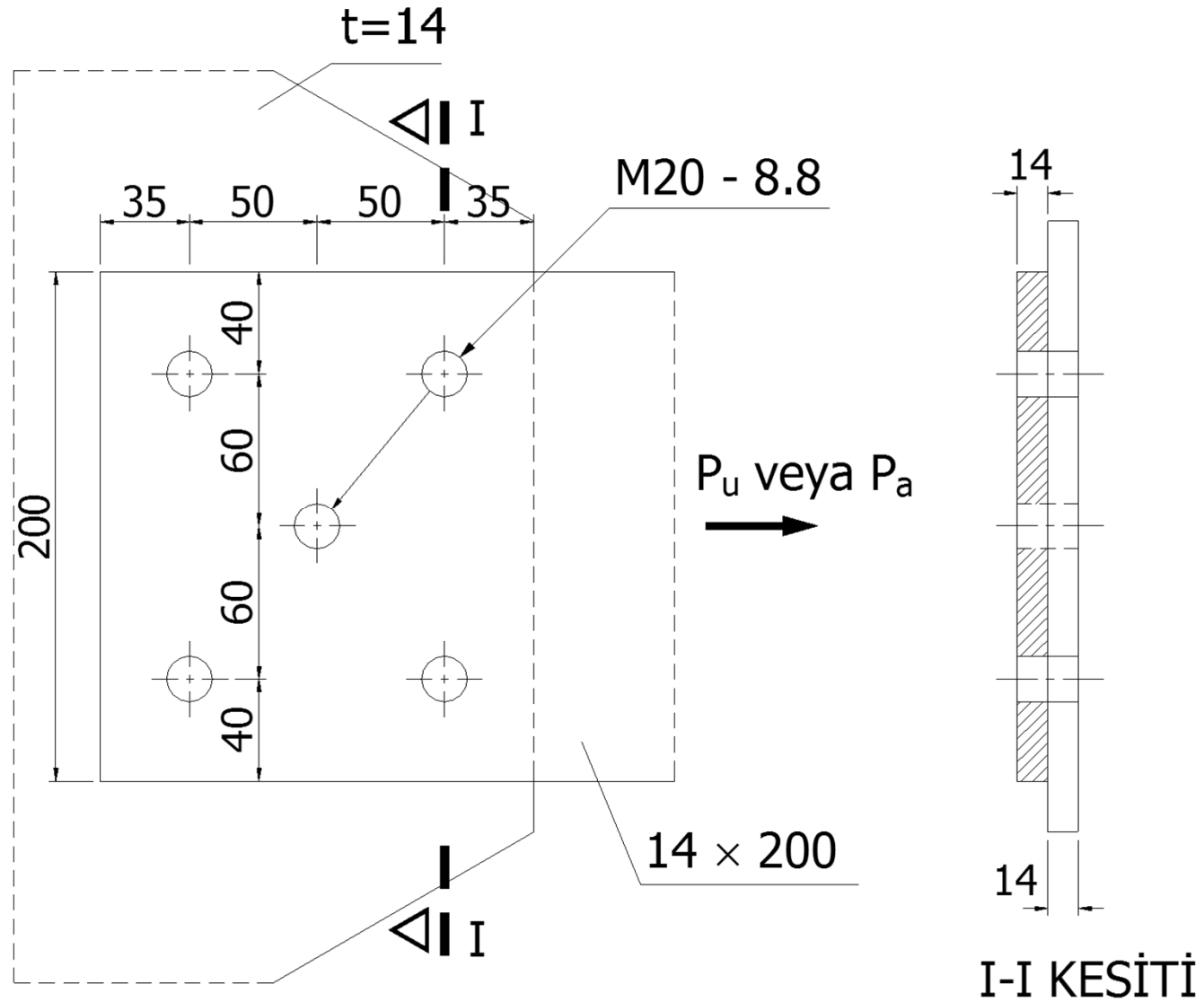
Enkesit

14×200 $t = 14.0 \text{ mm}$ $b = 200 \text{ mm}$

Bulonlar (Tablo 13.8)

M20 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016



Çözüm

a. Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi.

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n (7.2.1)

$$T_n = F_y A_g = 235(14 \times 200)(10)^{-3} = 658 \text{ kN} \quad \text{Denk.(7.2)}$$

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n (7.2.2)

$$T_n = F_u A_e \quad \text{Denk.(7.3)}$$

Standart dairesel delik çapı, d_h (Tablo 13.8)

$$d_h = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$$

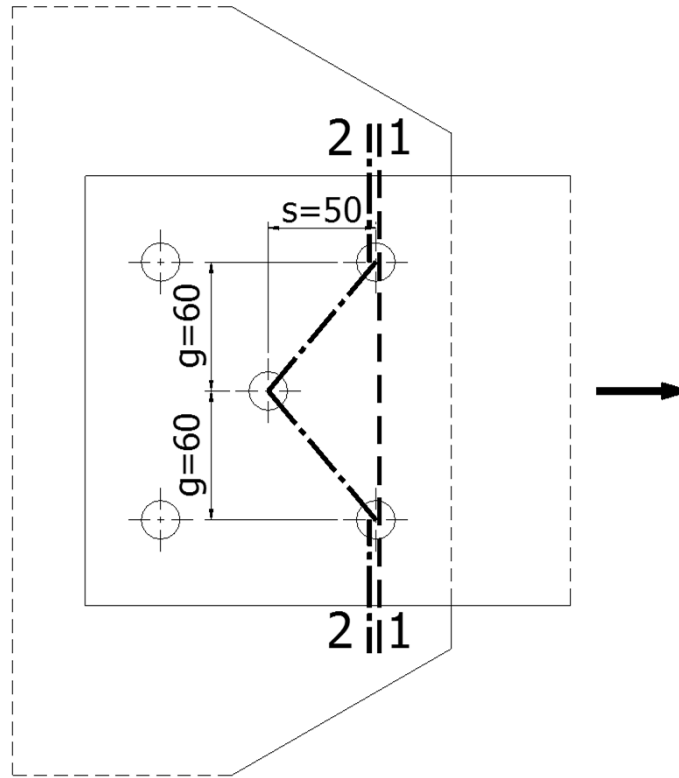
Etkin delik çapı, d_e (5.4.3)

$$d_e = 22 + 2 = 24 \text{ mm}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Net enkesit alanı, A_n (7.1.2)

Birleşim detayı incelendiğinde, minimum net enkesit alanının olası 2 kırılma çizgisi formu dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu iki olası durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



$$A_n = A_g - \sum d_e t + \sum \frac{s^2 t}{4g} \quad \text{Denk.(5.3)}$$

$$A_{n,1} = (14)(200) - 2(24)(14) = 2128 \text{ mm}^2$$

$$A_{n,2} = (14)(200) - 3(24)(14) + 2 \frac{(50)^2 (14)}{4(60)} = 2083.67 \text{ mm}^2$$

$$A_n = \text{Min}(A_{n,1}; A_{n,2}) = A_{n,2} = 2083.67 \text{ mm}^2$$

Etkin net enkesit alanı, A_e (7.1.3)

$$A_e = U A_n \quad \text{Denk.(7.1)}$$

$$U = 1.0$$

Tablo-7.1 Durum 1

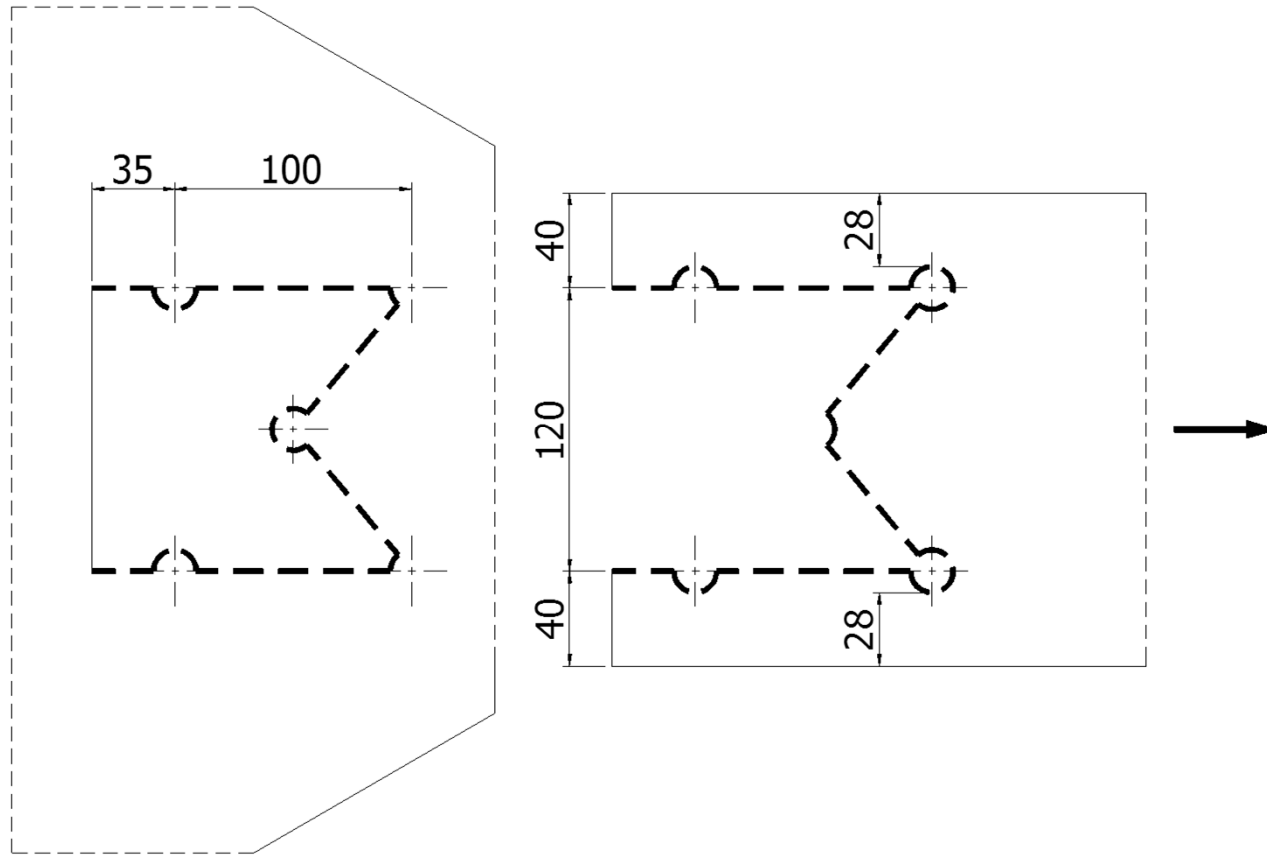
$$A_e = 1.0(2083.67) = 2083.67 \text{ mm}^2$$

$$T_n = (360)(2083.67)10^{-3} = 750.12 \text{ kN} \quad \text{Denk.(7.3)}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, R_n (13.4.3)

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Karakteristik blok kırılma dayanımı, R_n ,

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad \text{Denk.(13.9)}$$

$$A_{gv} = 2(35 + 100)(14) = 3780 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 3780 - 2(24 + 24/2)(14) = 2772 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = A_{n,2} - 2(28)(14) = 1299.67 \text{ mm}^2 \quad A_{n,2} = 2083.67 \text{ mm}^2$$

Çekme gerilmelerinin yayılışı yaklaşık olarak üniform olduğundan

$$U_{bs} = 1.0$$

$$R_n = 0.60(360)(2772)10^{-3} + (1.0)(360)(1299.67)10^{-3} = 1066.63 \text{ kN}$$

$$0.60(235)(3780)10^{-3} + (1.0)(360)(1299.67)10^{-3} = 1000.86 \text{ kN}$$

$$R_n = 1066.63 \text{ kN} > 1000.86 \text{ kN} \quad \text{olduğundan}$$

$$R_n = 1000.86 \text{ kN}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

YDKT (5.2.2)	GKT (5.2.3)
Gerekli çekme kuvveti dayanımı (5.3.1)	Gerekli çekme kuvveti dayanımı (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(200) = 416 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 80 + 200 = 280 \text{ kN}$
Tasarım çekme kuvveti dayanımı (7.2)	Güvenli çekme kuvveti dayanımı (7.2)
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(658) = 592.20 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(750.12) = 562.59 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(1000.86) = 750.65 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 658 / 1.67 = 394.00 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 750.12 / 2.00 = 375.06 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 1000.86 / 2.00 = 500.43 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{416}{562.59} = 0.74 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{280}{375.06} = 0.75 \leq 1.0 \checkmark$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

ÖRNEK 2. Aşağıda kaynaklı birleşim detayı verilen UPE 240 enkesitli eleman sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla, $P_G = 130$ kN ve $P_Q = 300$ kN eksenel çekme kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

Malzeme (Tablo 2.1A)

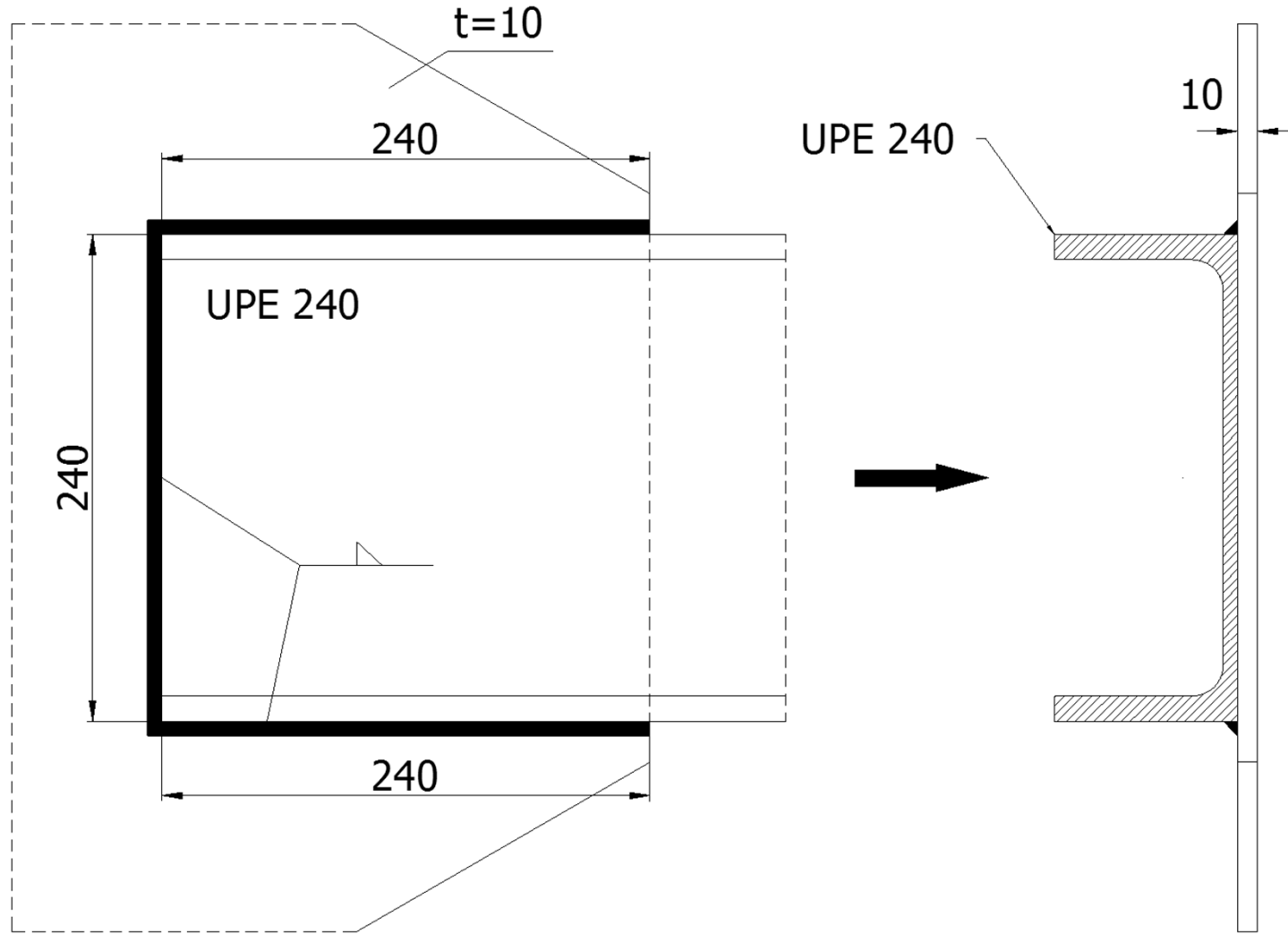
S 275 $F_y = 275$ N/mm² $F_u = 430$ N/mm²

Enkesit

UPE 240 $A = 3850$ mm² $d = 240$ mm $t_f = 12.5$ mm $b_f = 90$ mm

Kaynaklar (13.2.2)

Köşe kaynak



Çözüm

a. Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi.

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n (7.2.1)

$$T_n = F_y A_g = 275(3850)(10)^{-3} = 1058.75\text{kN}$$

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n (7.2.2)

$$T_n = F_u A_e$$

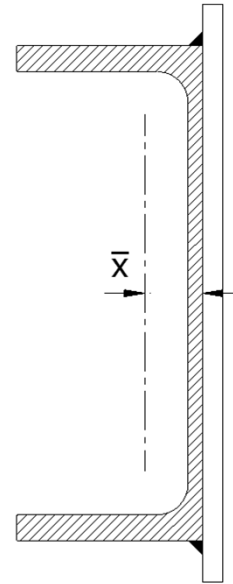
Etkin net enkesit alanı, A_e (7.1.3)

$$A_e = U A_n \quad A_n = A_g$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$$

$$\bar{x} = 27.90 \text{ mm}$$

$$l = 240 \text{ mm}$$



Denk.(7.1)

Tablo-7.1 Durum 2

$$U = 1 - \frac{27.90}{240} = 0.884$$

Tablo-7.1 Durum 2

$$A_e = 0.884(3850) = 3403.40 \text{ mm}^2$$

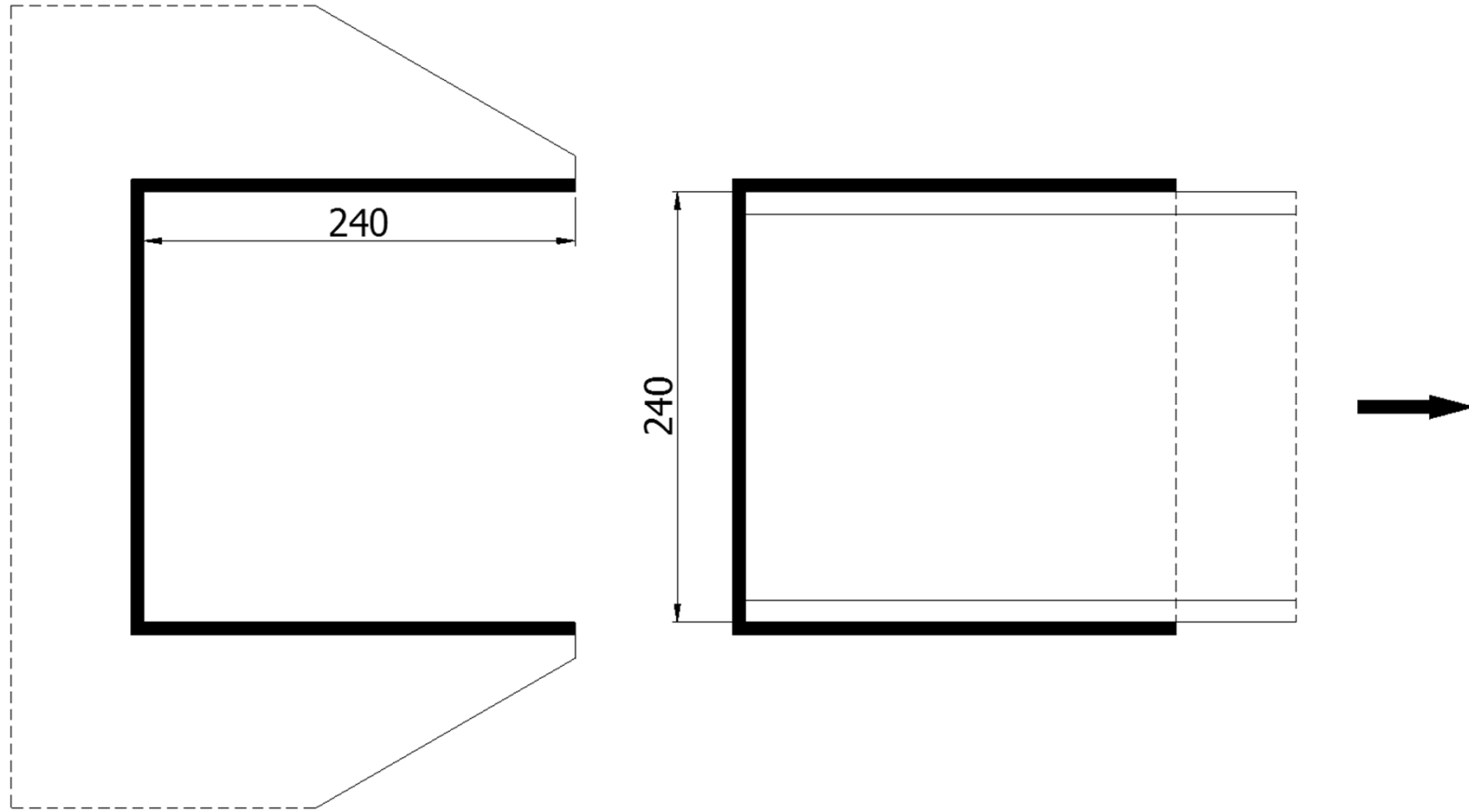
$$T_n = (430)(3403.40)10^{-3} = 1463.46 \text{ kN}$$

Denk.(7.3)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı, R_n (13.4.3)

Blok kırılma sınır durumuna aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ulaşılabacağı öngörülmüştür.



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Karakteristik blok kırılma dayanımı, R_n ,

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad \text{Denk.(13.9)}$$

$$A_{gv} = 2(240)(10) = 4800 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 4800 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (240)(10) = 2400 \text{ mm}^2$$

Çekme gerilmelerinin yayılışı üniform olduğundan

$$U_{bs} = 1.0$$

$$R_n = 0.60(430)(4800)10^{-3} + (1.0)(430)(2400)10^{-3} = 2270.40 \text{ kN}$$

$$0.60(275)(4800)10^{-3} + (1.0)(430)(2400)10^{-3} = 1824.0 \text{ kN}$$

$$R_n = 2270.40 \text{ kN} > 1824.00 \text{ kN} \quad \text{olduğundan}$$

$$R_n = 1824.00 \text{ kN}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

YDKT (5.2.2)	GKT (5.2.3)
Gerekli çekme kuvveti dayanımı (5.3.1)	Gerekli çekme kuvveti dayanımı (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(130) + 1.6(300) = 636 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 130 + 300 = 430 \text{ kN}$
Tasarım çekme kuvveti dayanımı (7.2)	Güvenli çekme kuvveti dayanımı (7.2)
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(1058.75) = 952.88 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(1463.46) = 1097.60 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(1824.00) = 1368.00 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 1058.75/1.67 = 633.98 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 1463.46/2.00 = 731.73 \text{ kN}$ $R_g = R_n / \Omega = 1824.00/2.00 = 912.00 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{636}{952.88} = 0.67 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{430}{633.98} = 0.68 \leq 1.0 \checkmark$

BÖLÜM 8. EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ

Çekme elemanlarının tersine, basınç elemanlarının dayanımı ve göçme şekli enkesit özellikleri ile beraber basınç elemanının uzunluğuna ve mesnet koşullarına bağlıdır.

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanlarda göçme, genel olarak, burkulma sınır durumu ile belirlenir.



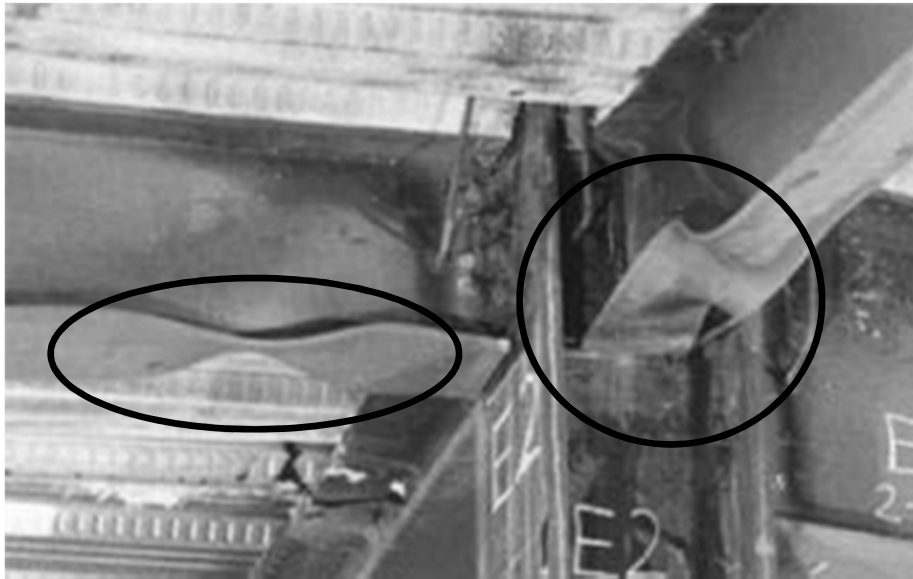
Kısa kolon



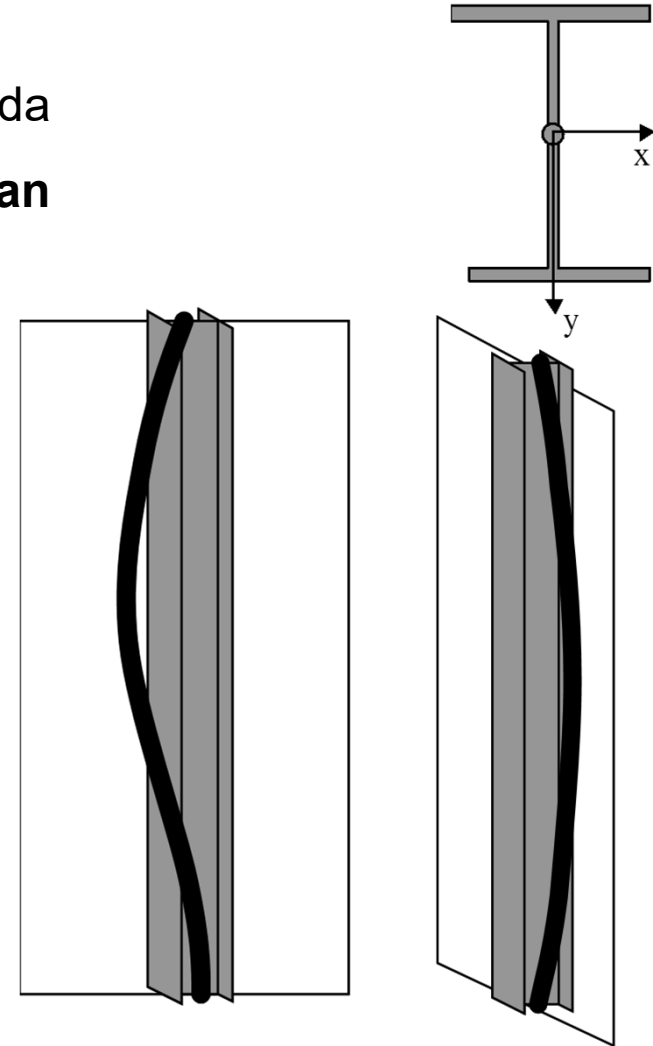
Uzun kolon

BURKULMA SINIR DURUMLARI

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki çelik kolonlarda **yerel burkulma** ve **genel burkulma (eleman burkulması)** olmak üzere iki durum gözönüne alınır.

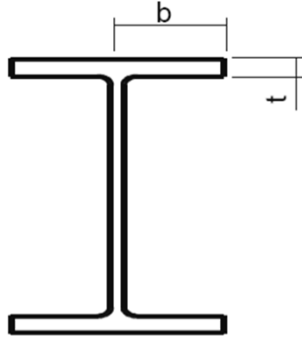


Yerel Burkulma



Genel Burkulma (Eleman Burkulması)

Yerel Burkulma



Başlık parçası için yerel burkulma narinliği

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f / 2}{t_f} = \frac{b_f}{2t_f}$$

Gövde parçası için yerel burkulma narinliği

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

Yerel burkulmanın önlenmesi için enkesitin tüm parçalarının λ , değerlerinin λ_r , sınır değerinden küçük olması gerekmektedir.

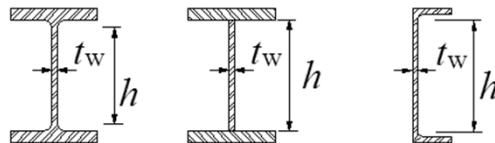
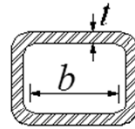
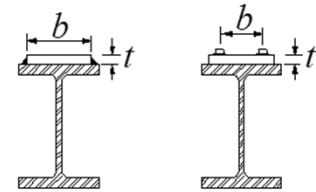
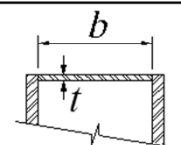
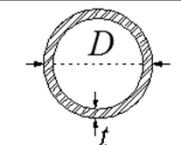
$$\lambda \leq \lambda_r$$

Bu elemanlar **narin enkesit parçası bulunmayan elemanlar** olarak tanımlanmaktadır.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

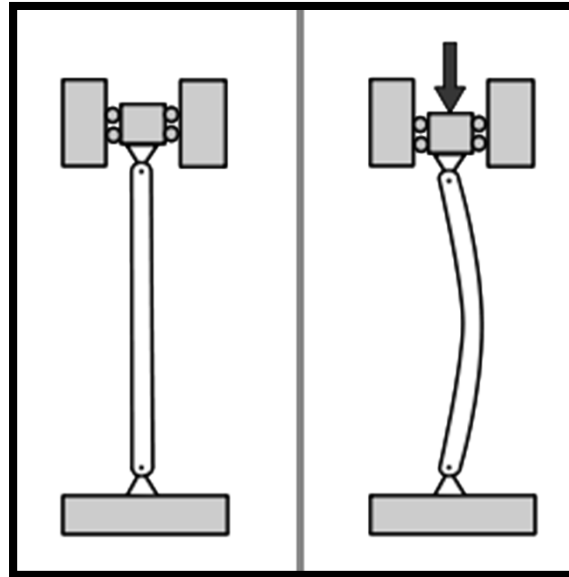
Tablo 5.1A (devam)

Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik / Kalınlık Oranları

Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası	5	U-profillerin ve çift simetri eksenli I-profillerin gövdeleri	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Üniform kalınlıklı dikdörtgen ve kare kutu enkesitlerin gövde ve başlıkları	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Birleşim araçları arasında kalan takviye levhaları ve diyafram levhaları	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Tüm diğer rijitleştirilmiş enkesit parçaları	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

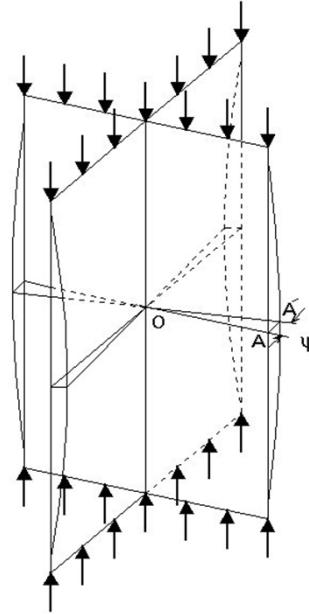
Eleman burkulması (genel burkulma)

Eğilmeli burkulma: Kesitin asal eksenlerinden biri etrafında meydana gelen **eğilme** deformasyonu şeklinde ortaya çıkar. Bu tür burkulma, **çift simetri eksenli I-enkesitlerde, kutu ve boru enkesitlerde** kritik olan en basit burkulma sınır durumudur.



Eğilmeli Burkulma

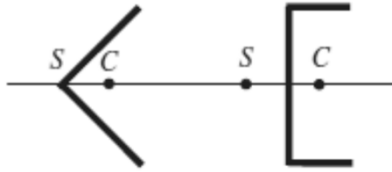
Burulmalı burkulma: Elemanın boyuna eksenini etrafında meydana gelen dönme deformasyonu ile ortaya çıkar. Burulmalı burkulma sınır durumu **çok narin enkesit elemanlarına sahip, çift simetri eksenli I-enkesitli, +-enkesitli veya sırt sırta yerleştirilmiş dört korniyerden oluşan açık enkesitli basınç elemanlarında** görülebilmektedir.



+ -enkesitli elemanın burulmalı burkulması

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

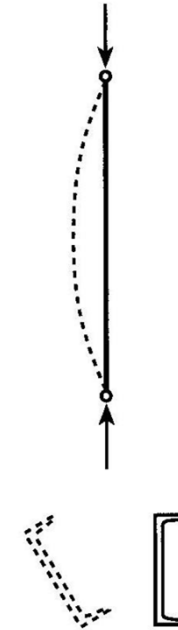
Eğilmeli burulmalı burkulma: Enkesit kayma merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmadığı elemanlarda **eğilme ve burulma** deformasyonlarının kombinasyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. **U-profiller, T-profiller, çift korniyerler ve eşit kollu tek korniyer gibi tek simetri eksenine sahip enkesitlerde ve simetri eksenine sahip olmayan farklı kollu korniyerlerde** ortaya çıkabilir.



Tek simetri eksenli enkesitler

S: Kayma merkezi

C: Ağırlık merkezi



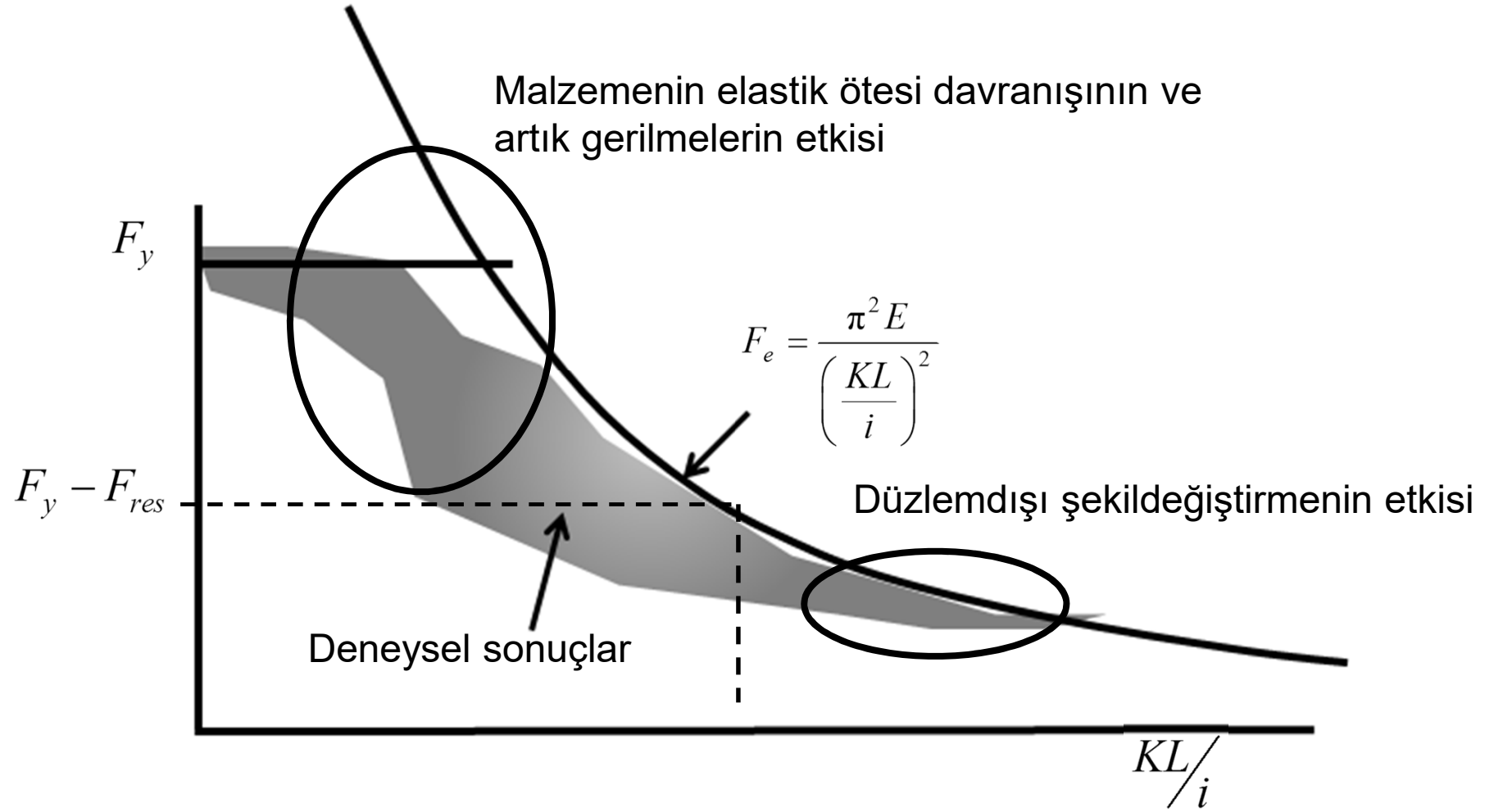
U-enkesitli bir elemanın eğilmeli-burulmalı burkulması

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Eksenel basınç kuvveti etkisi altındaki elemanların davranışının tanımlanmasında belirleyici etkenler,

- Narinlik (L / i),
- Mesnet koşulları,
- Başlangıç kusuru,
- Dışmerkezlik etkisi,
- Artık gerilmeler,

Özellikle **son üç tanesi** her bir eleman için oldukça fazla değişiklik gösteren etkenlerdir.



Tasarım Esasları (8.1.2)

Karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı, P_n , aksenal basınç etkisindeki elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi biri etrafında ***eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma*** ve/veya ***eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumlarına*** göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

Tüm basınç elemanlarında, **tasarım basınç kuvveti dayanımı**, $\phi_c P_n$, (YDKT) veya **güvenli basınç kuvveti dayanımı**, P_n/Ω_c , (GKT)

$$\phi_c = 0.90 \text{ (YDKT)}$$

veya

$$\Omega_c = 1.67 \text{ (GKT)}$$

olmak üzere hesaplanacaktır.

Karakteristik Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı (8.2)

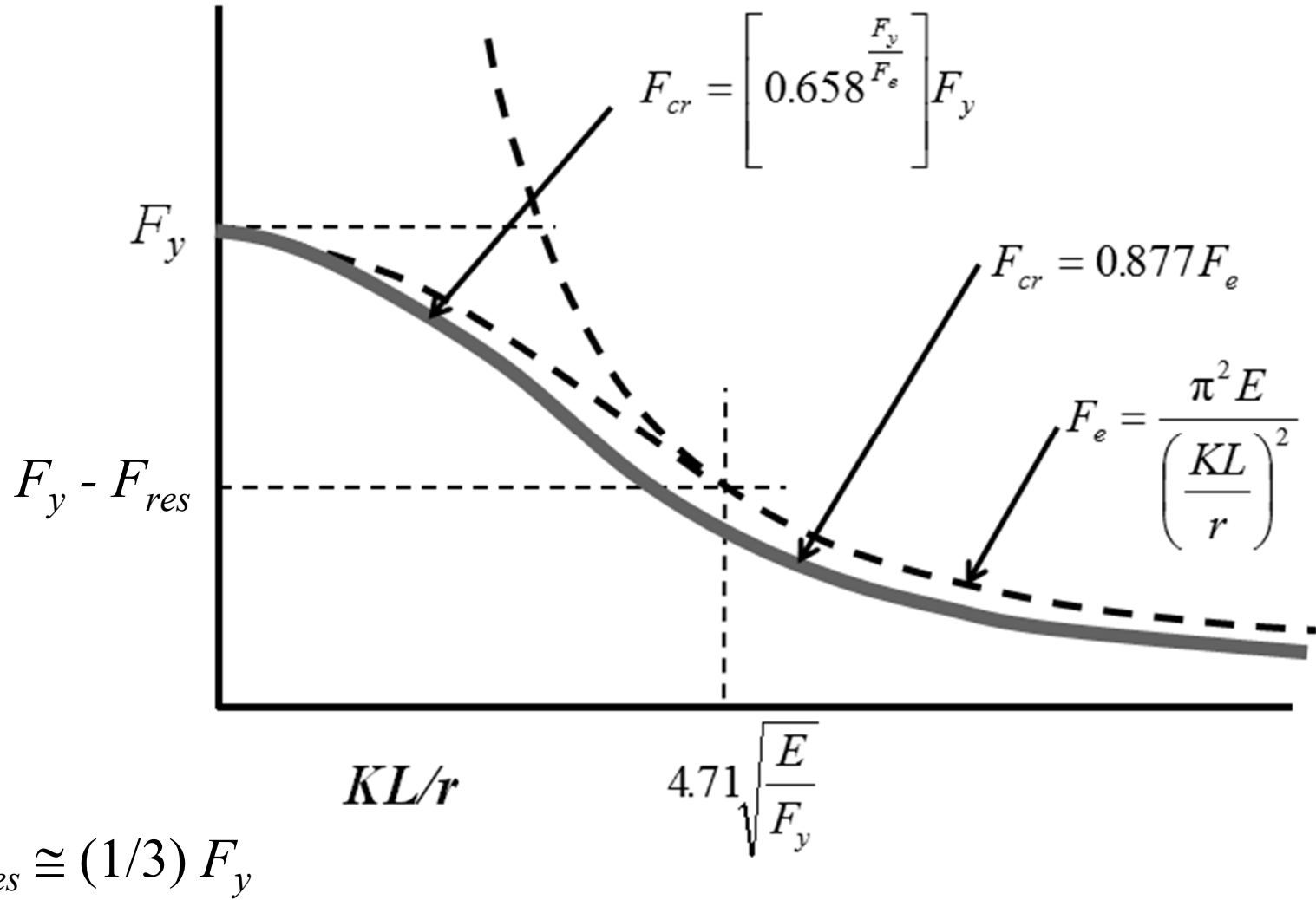
Narin olmayan enkesitli (**Tablo 5.1A** ya göre narin enkesit parçası içermeyen) elemanların karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı,

$$P_n = F_{cr} A_g \quad \text{Denk.(8.1)}$$

$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ veya } \left(\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right) \Rightarrow F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad \text{Denk.(8.2)}$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ veya } \left(\frac{F_y}{F_e} > 2.25 \right) \Rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e \quad \text{Denk.(8.3)}$$

F_e : Elastik burkulma gerilmesi
 A_g : Kayıpsız enkesit alanı



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Tek korniyerler (Bölüm 8.3)

Aşağıda verilen koşulları sağlayan, tek korniyerden oluşan basınç elemanlarında, **dışmerkezlik etkisinin ihmal edilmesine ve etkin narinlik oranları (L_c/i)** kullanılarak aksenal basınç kuvveti dayanımının hesaplanmasına izin verilmektedir. Bunun için esas alınacak koşullar aşağıda verilmiştir **(8.3)**.

- (a) Korniyer, her iki ucunda aynı kolundan basınç kuvveti etkisinde olmalıdır.
- (b) Korniyer uçları, en az 2 bulon ile veya kaynakla bağlanmalıdır.
- (c) Korniyerin boyuna eksenine dik yük bulunmamalıdır.
- (d) L_c/i oranı 200 sınırını aşmamalıdır.
- (e) Farklı kollu korniyerde, uzun kol boyunun kısa kol boyuna oranı 1.7 yi aşmamalıdır.

(8.3) de tanımlanan koşulları sağlamayan, tek korniyerden oluşan basınç elemanları, **eğilme momenti ve aksenal basınç kuvvetinin ortak etkisi** altında

Bölüm 11 e göre boyutlandırılacaktır.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Eşit kollu korniyerlerin veya uzun kolları vasıtasıyla bağlanan farklı kollu korniyerlerin tek veya bir düzlem kafes sistemin örgü elemanı olarak kullanılmaları halinde, etkin narinlik oranları,

$$\frac{L}{i_a} \leq 80 \Rightarrow \frac{L_c}{i} = 72 + 0.75 \frac{L}{i_a} \quad \text{Denk.(8.15)} \quad i_a : \text{Bağlanan kola paralel geometrik ekseninde atalet yarıçapı}$$

$$\frac{L}{i_a} > 80 \Rightarrow \frac{L_c}{i} = 32 + 1.25 \frac{L}{i_a} \quad \text{Denk.(8.16)} \quad i_z : \text{Zayıf asal ekseninde atalet yarıçapı}$$

Kısa kolu ile bağlanan farklı kollu korniyerler için, (L_c / i) narinlik oranları,

$4[(b_1 / b_s)^2 - 1]$ değeri ile arttırılacaktır. Ancak, bu narinlik oranı korniyerin zayıf asal eksenini etrafındaki narinliğinin 0.95 katından küçük olamaz:

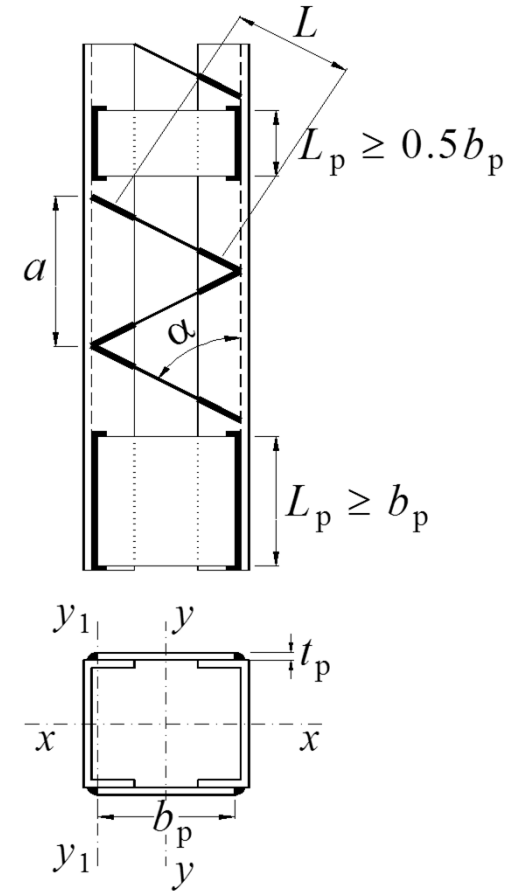
$$L_c / i \geq 0.95 L / i_z$$

Yapma enkesitli basınç elemanları (8.4)

Bu bölüm birbiriyle temasta olan veya belirli bir aralıkla konumlandırılan profillerin ve/veya levhaların, birbirine aşağıdaki koşulları sağlayan bağlantı elemanları (bağ levhaları ve/veya kafes örgü elemanları) ile birleştirildiği çok parçalı basınç elemanlarını kapsamaktadır.

Çok parçalı basınç elemanlarında uç noktalar arasında en az iki adet ara bağlantı teşkil edilecek ve kayma şekildeğişirmelerinin karakteristik basınç kuvveti dayanımına etkisi gözönüne alınacaktır. Bu etki, **etkin narinlik oranı**, $(L_c/i)_m$, ile hesaba katılacaktır.

Elemanların etkin narinlik oranları, bağ levhası ve kafes örgü elemanlarının birleşim araçlarının özelliklerine bağlı olarak tanımlanmaktadır.



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

(a) ara bağlantı araçlarının basit sıkılan bulonlar olması durumunda etkin narinlik oranı

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{L_c}{i}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{i_i}\right)^2} \quad (\text{Denk. 8.19})$$

(b) ara bağlantı araçlarının kaynak ya da öngermeli bulonlar olması durumunda etkin narinlik oranı

$$\frac{a}{i_i} \leq 40 \rightarrow \left(\frac{L_c}{i}\right)_m = \left(\frac{L_c}{i}\right)_o \quad (\text{Denk. 8.20})$$

$K_i =$ 0.50 sırt sırta korniyer halinde
0.75 sırt sırta U-profil halinde
1.00 diğer durumlarda

a :Ara bağlantı elemanları arasındaki mesafe

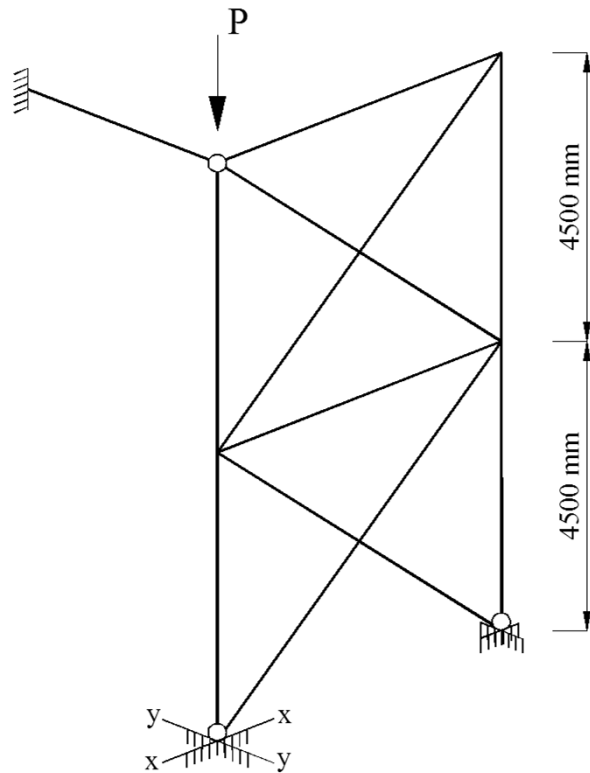
$$\frac{a}{i_i} > 40 \rightarrow \left(\frac{L_c}{i}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{L_c}{i}\right)_o^2 + \left(\frac{K_i a}{i_i}\right)^2} \quad (\text{Denk. 8.21})$$

i_i : Bir parçanın minimum atalet yarıçapı

$\left(\frac{L_c}{i}\right)_o$: Yapma elemanın tek parçalı basınç elemanı gibi davranması durumunda, gözönüne alınan burkulma eksenine göre narinlik

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

ÖRNEK 1. Sabit yüklerden $P_G = 850$ kN ve hareketli yüklerden $P_Q = 2400$ kN eksenel basınç kuvveti etkisinde HE 450 B enkesitli kolonun sistem bilgileri Şekilde verilmiştir.



- Kolonun karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Kolonun güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

Şekil Sistem Şeması

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Malzeme özellikleri S 355

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

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

Geometrik özellikler

HE 450B $A = 21800\text{mm}^2$ $b=300\text{mm}$ $h=344\text{mm}$

$t_f=26\text{mm}$ $t_w = 14\text{mm}$ $i_x=191.40\text{mm}$ $i_y=73.30\text{mm}$

Çözüm

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası $\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{300}{2(26)} = 5.76 < \lambda_r = 0.56\sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$ (Tablo 5.1A, Durum1)

Gövde parçası $\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{344}{14} = 24.57 < \lambda_r = 1.49\sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.36$ (Tablo 5.1A, Durum 5)

Kolon enkesitinin başlık ve gövde parçaları narin sınıfında değildir.

Eğilmeli burkulma sınır durumu (8.2.1)

Asal eksenler etrafında burkulma durumunda kolon burkulma boyları

$$L_{cx} = K_x L_x = 1.0(9000) = 9000\text{mm}$$

$$L_{cy} = \left[(K_{y1} L_{y1}); (K_{y2} L_{y2}) \right]_{maks} = \left[(1.0 \times 4500); (1.0 \times 4500) \right]_{maks} = 4500\text{mm}$$

Narinlik oranları

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{9000}{91.40} = 47.02 \leq 200$$

(8.1.1)

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{4500}{73.3} = 61.39 \leq 200$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{maks} = (47.02; 61.39)_{maks} = 61.39$$

Kolon dayanımını, y-ekseni etrafında oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyecektir.

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{maks} = 61.39 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71(23.74) = 111.79 \quad \text{(Denk.8.2)}$$

Burkulma elastik bölge aşıldığında ortaya çıkacaktır.

Elastik burkulma gerilmesi,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(61.39)^2} = 524 \text{N/mm}^2 \quad \text{(Denk.8.4)}$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = \left[0.658^{\frac{355}{524}} \right] 355 = 0.753(355) = 267.40 \text{N/mm}^2 \quad \text{Denk.(8.2)}$$

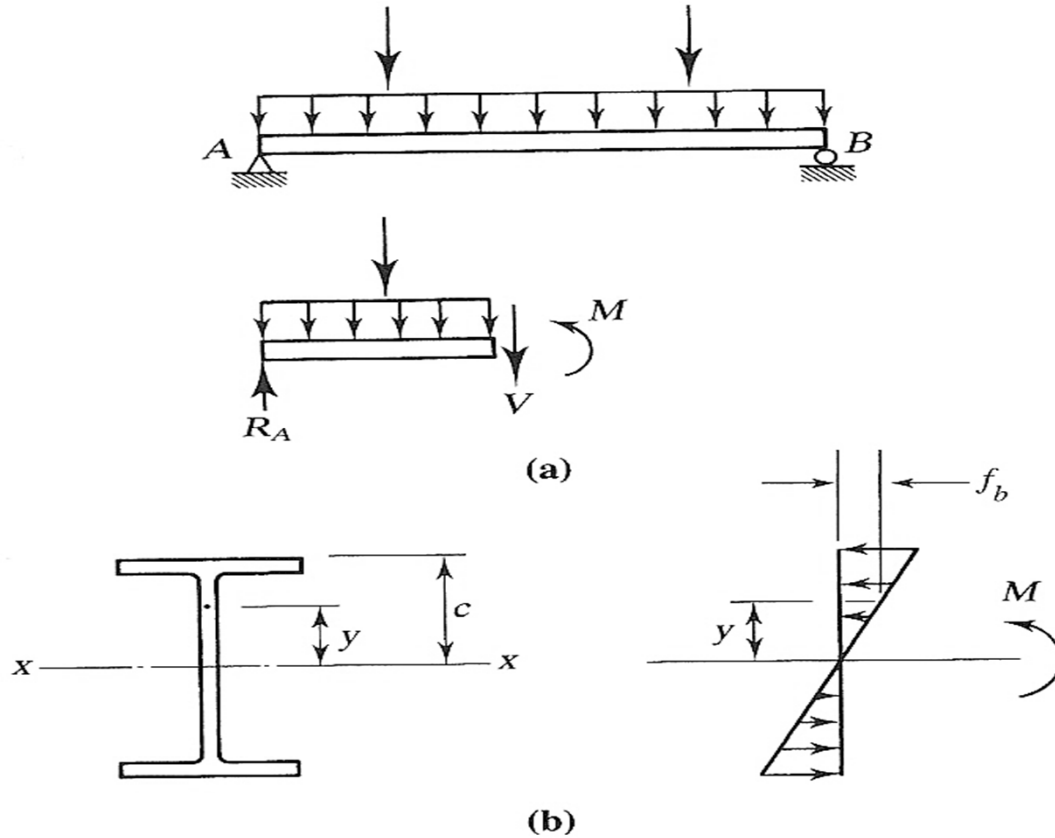
Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,

$$P_n = F_{cr} A_g = 267.40(21800)10^{-3} = 5829.40 \text{kN} \quad \text{Denk.(8.1)}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

YDKT (5.2.2)	GKT (5.2.3)
Gerekli basınç kuvveti dayanımı (5.3.1)	Gerekli basınç kuvveti dayanımı (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(850) + 1.6(2400) = 4860 \text{ kN}$	$P_a = 1.0P_G + 1.0P_Q$ $= 1.0(850) + 1.0(2400) = 3250 \text{ kN}$
Tasarım basınç kuvveti dayanımı (8.1.2)	Güvenli basınç kuvveti dayanımı (8.1.2)
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(5829.40) = 5246 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 5829.40 / 1.67 = 3491 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{4860}{5246} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{3250}{3491} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$

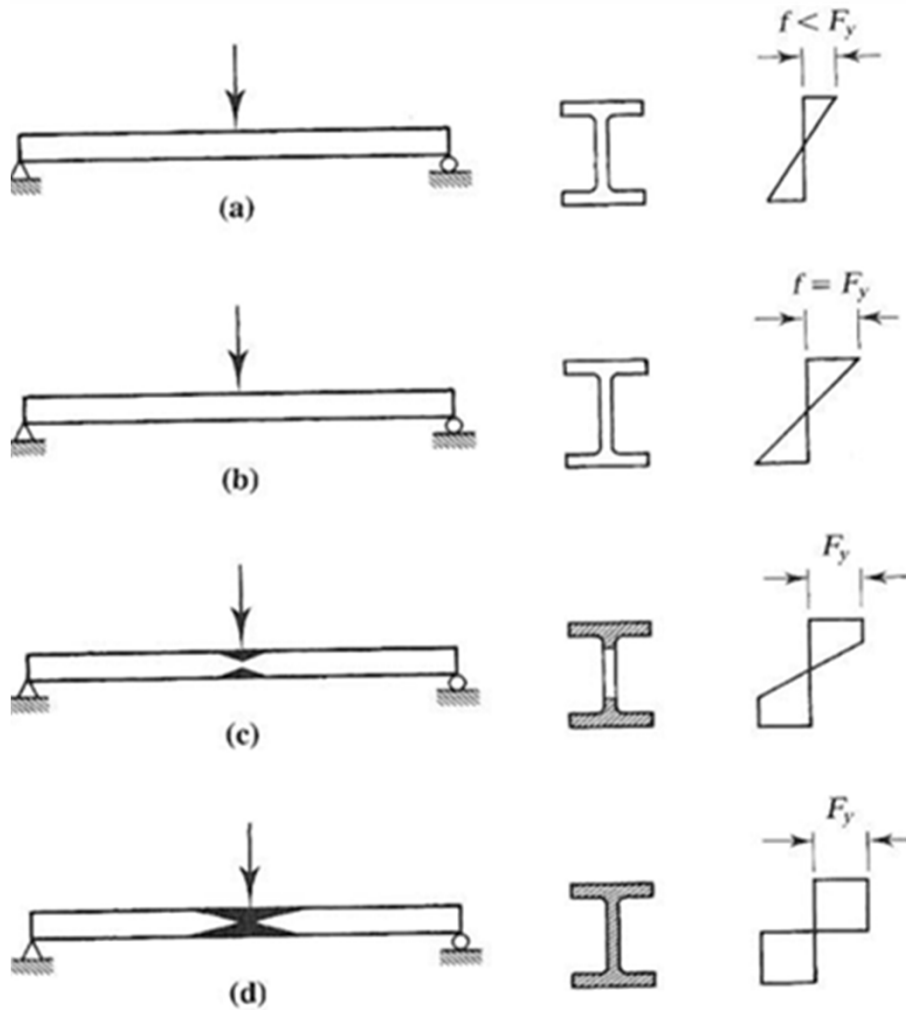
BÖLÜM 9. EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ



x-ekseninde eğilme etkisi altındaki I-enkesitli eleman boyunca tarafsız eksenin altında ve üstünde kalan eleman lifleri boy değiştirir.

Gözönüne alınan kiriş enkesitinde uygulanan eğilme momenti için alt lifler çekmede iken, üst lifler basınçta olacaktır.

AKMA MOMENTİ ve PLASTİK MOMENT



$$f_{\max} = \frac{M_x y_{\max}}{I_x} = \frac{M_x}{I_x / y_{\max}} = \frac{M_x}{W_{ex}}$$

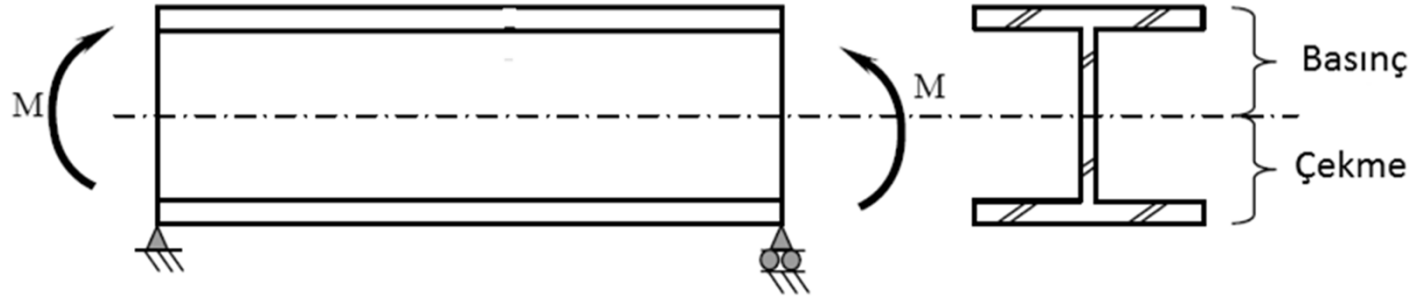
$$M_x = f W_{ex}$$

Akma momenti $M_y = F_y W_{ex}$

M_y : x-ekseninde eğilme etkisindeki enkesitin en dış lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı akma momenti

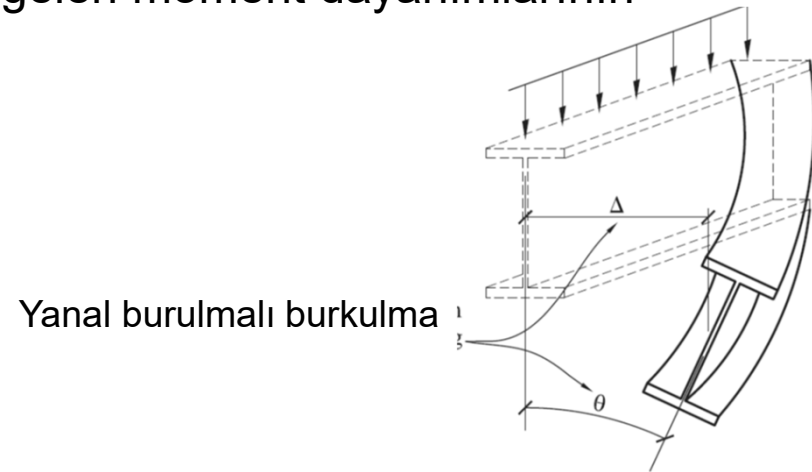
Plastik moment

STABİLİTE



Kuvvetli eksende eğilmede hadde I kirişlerin **karakteristik moment dayanımı**, M_n aşağıdaki göçme sınır durumlarına karşı gelen moment dayanımlarının küçüğü ile belirlenir:

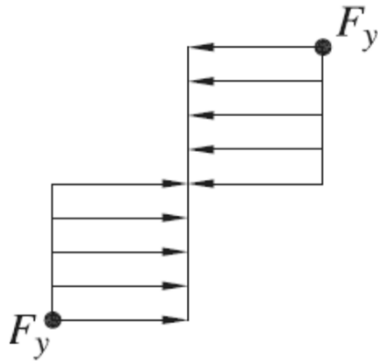
- **Akma sınır durumu**
- **Yerel burkulma sınır durumu**
- **Yanal burulmalı burkulma sınır durumu**



Akma sınır durumu

Kiriş enkesiti tam olarak plastikleşene kadar stabil kalacak şekilde (yerel ve yanal burkulma sınır durumuna ulaşılmadan) boyutlandırılırsa, kiriş enkesitinde plastik moment dayanımına ulaşabilir.

Bu durumda, kirişin karakteristik moment dayanımı plastik moment dayanımına eşit alınabilir.



$$M_n = M_p = F_y W_p$$

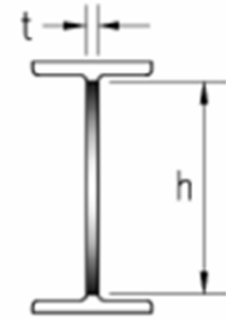
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisi için yerel burkulmada tanımlar

λ : başlık veya gövde parçaları için genişlik/kalınlık oranı (=h/t veya b/t)

λ_p : kompakt /kompakt olmayan enkesit parçası için sınır narinlik

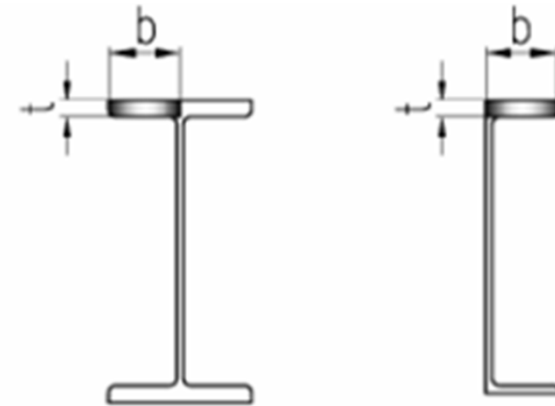
λ_r : kompakt olmayan/ narin enkesit parçası için sınır narinlik



$\lambda \leq \lambda_p$ → kompakt enkesit parçası

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ → kompakt olmayan enkesit parçası

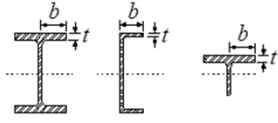
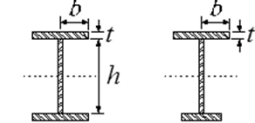
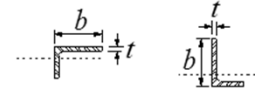
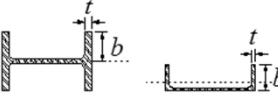
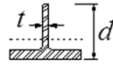
$\lambda > \lambda_r$ → narin enkesit parçası



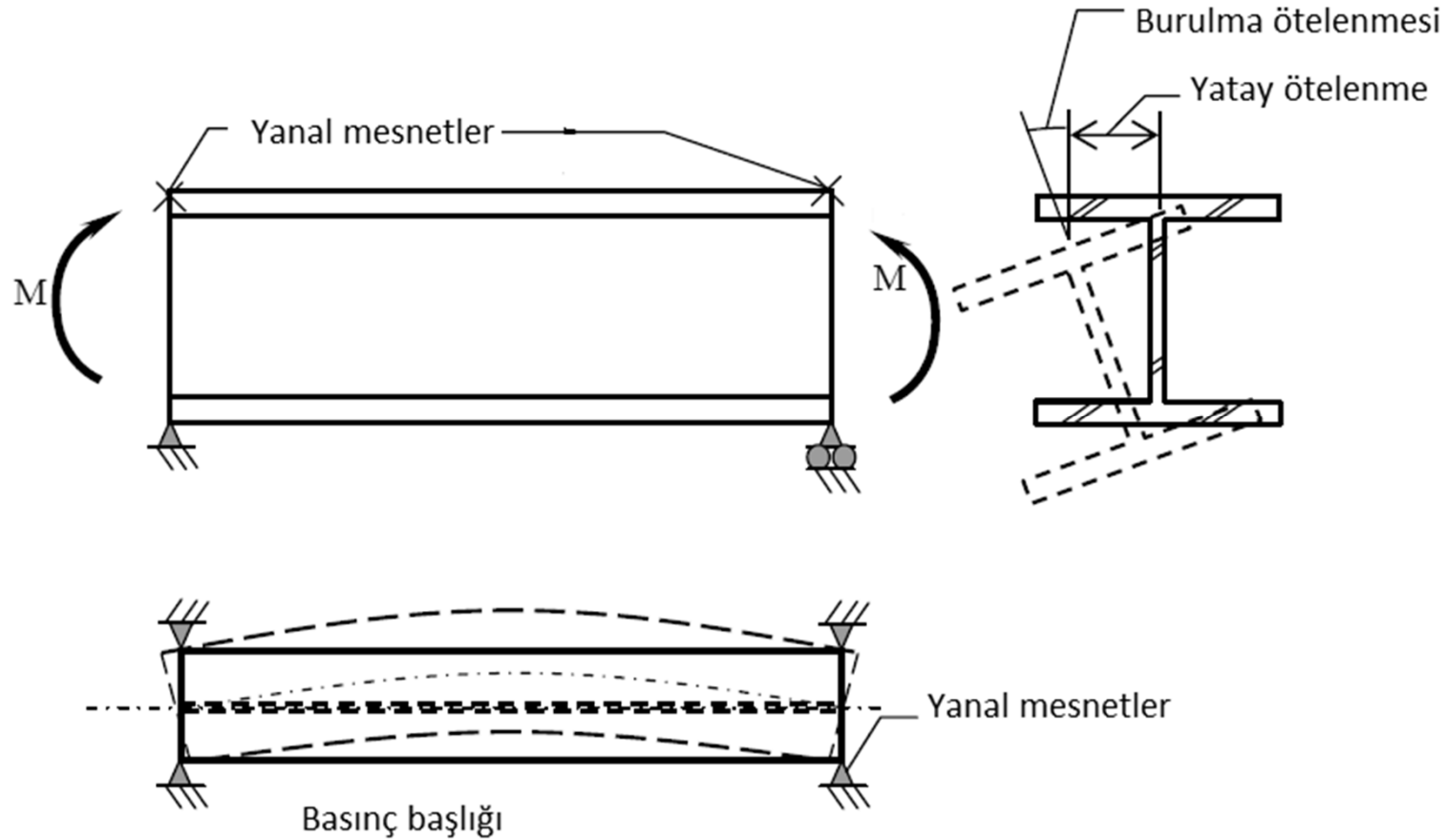
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Tablo 5.1B

Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için Genişlik / Kalınlık Oranları (ÇYTHYE-2016)

	Durum	Tanım	Genişlik/ Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değerleri		Enkesit
				λ_p (kompakt / kompakt olmayan)	λ_r (kompakt olmayan / narin)	
Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası	10	Hadde I-profiller, U-profiller ve T-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Tek ve çift simetri eksenli yapma I-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ [a] [b]	
	12	Tek korniyerlerin kolları	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Zayıf eksen etrafında eğilme etkisindeki tüm I-enkesitli elemanlar ve U-profiller	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	T-enkesitli elemanların gövdeleri	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Yanal burulmalı-burkulma sınır durumu

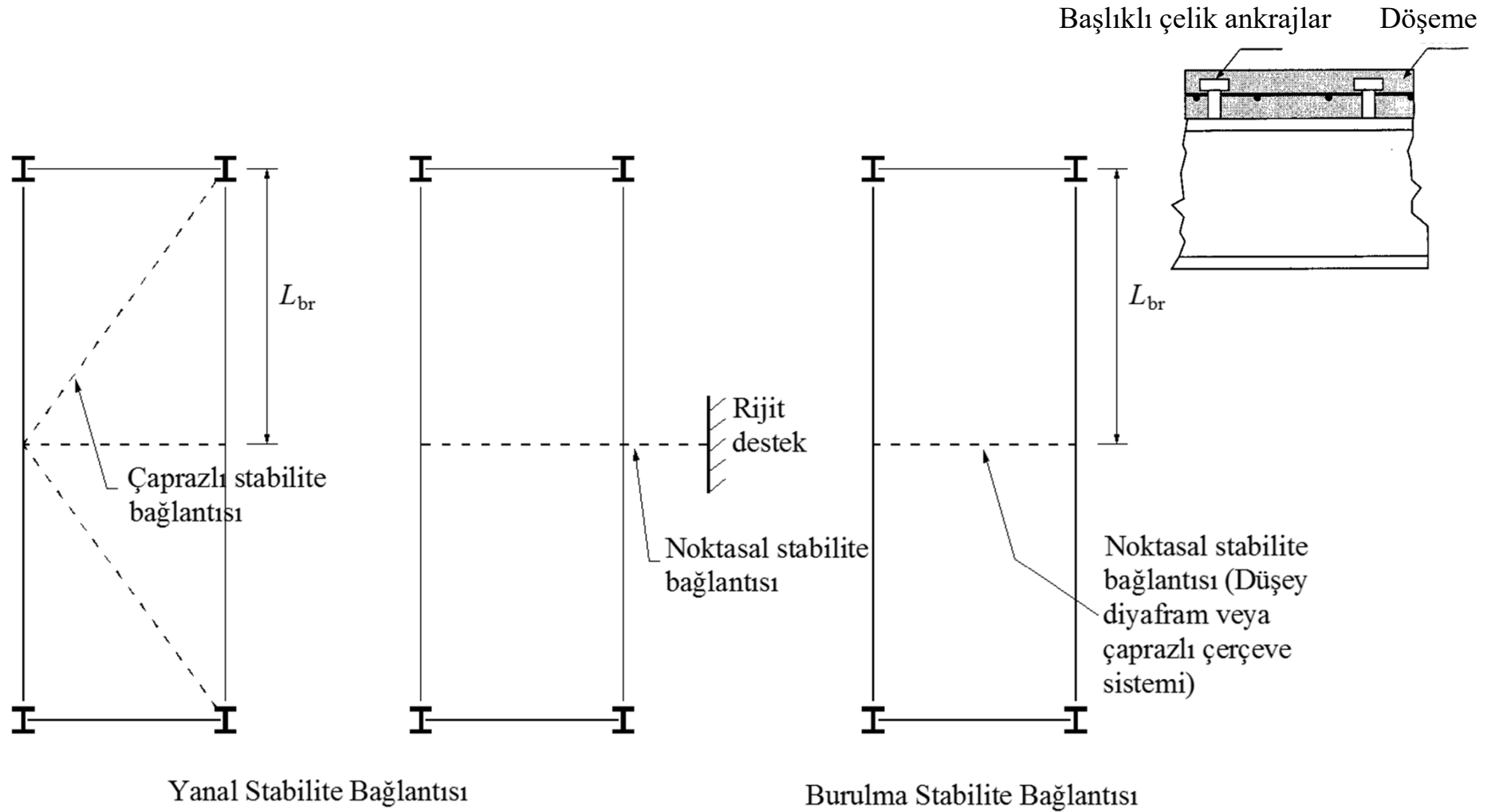


Kirişlerde basınç başlığının kararlılığı için stabilite bağlantıları (yanal mesnetler)

Kiriş basınç başlığının yanal yerdeğiştirmesinin ve/veya burulmasının, kiriş açıklığı boyunca **yanal stabilite bağlantısı** ve/veya **burulma stabilite bağlantısı** kullanılarak önlenmesi sağlanabilir, (**Bölüm 16**)

Gerekli dayanım ve rijitliğe sahip stabilite bağlantısının kullanıldığı noktalarda, kiriş üst ve alt başlıklarının görelî yerdeğiştirmesinin (kesitin çarpılmasının) önlendiği varsayılır.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Asal eksenlerinden herhangi biri etrafında basit eğilme etkisindeki elemanların tasarımı

BÖLÜM 9 da belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

Eğilme etkisindeki elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , olası her bir göçme sınır durumu için belirlenecek dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

Tüm eğilme elemanları için,

$$\phi_b = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (GKT)}$$

alınarak, **tasarım eğilme momenti dayanımı**, $\phi_b M_n$, (YDKT) veya **güvenli eğilme momenti dayanımı**, M_n/Ω_b , (GKT) olarak belirlenecektir.

Eğilme momenti etkisi altındaki elemanların tasarım esasları ÇYTHYE-2016 Yönetmeliğinde aşağıdaki başlıklar altında verilmektedir.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Eğilme etkisindeki elemanın enkesit özelliklerine bağlı olarak, *karakteristik eğilme momenti dayanımı*, M_n , için *Yönetmelikte* tanımlanan olası göçme sınır durumları

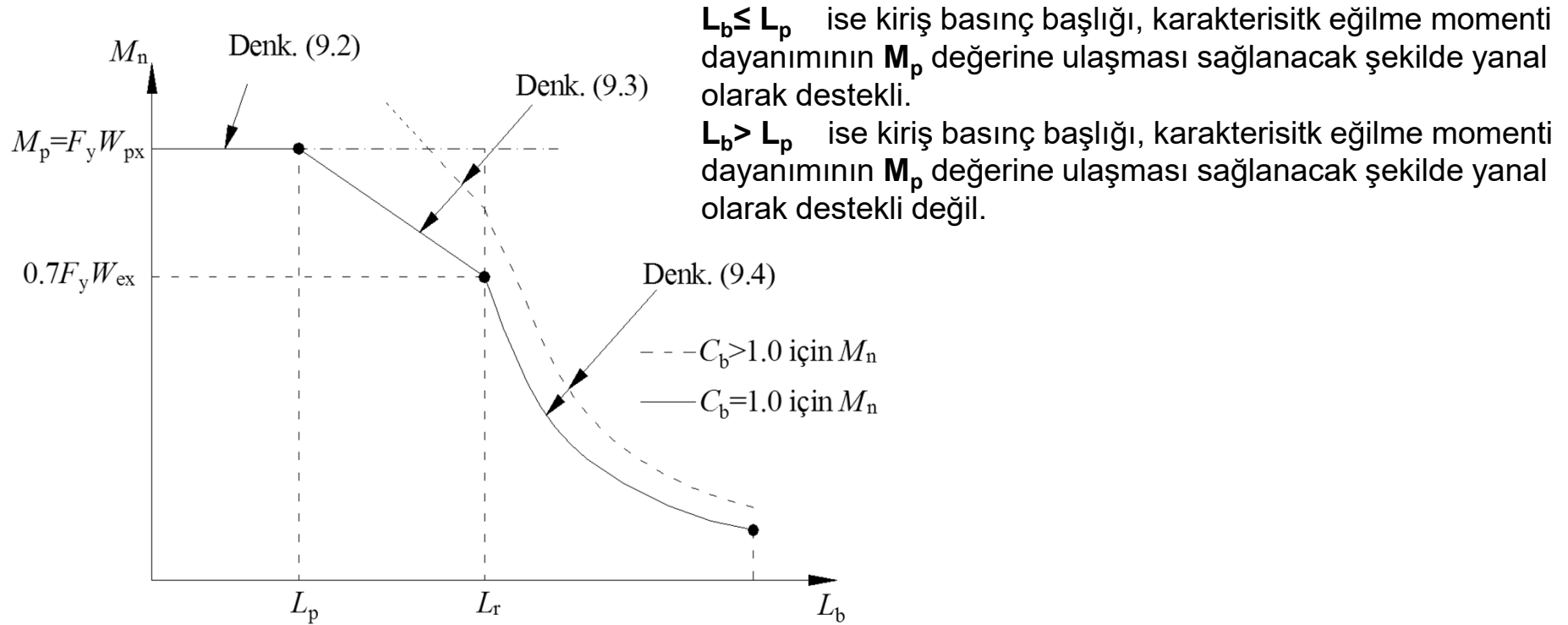
Tanım	Karakteristik eğilme momenti dayanımı için sınır durumlar
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan U-enkesitli ve çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, enkesitin gövde parçası kompakt ve başlık parçaları kompakt olmayan veya narin sınıfında olan çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, enkesitin gövde parçası kompakt olmayan çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar ile gövde parçası kompakt veya kompakt olmayan, gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli (farklı başlık enkesitine sahip) elemanlar	Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu Basınç başlığı akma sınır durumu Çekme başlığı akma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, narin gövde parçasına sahip, çift simetri eksenli elemanlar ve gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu Basınç başlığı akma sınır durumu Çekme başlığı akma sınır durumu

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Zayıf asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, U-enkesitli ve I-enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Kutu enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Başlığın yerel burkulma sınır durumu Gövdenin yerel burkulma sınır durumu
Boru enkesitli elemanlar (<i>Yönetmelik 9.8</i>)	Akma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Simetri düzleminde yük etkisindeki çift korniyer ve T-enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Başlığın yerel burkulma sınır durumu Gövdenin yerel burkulma sınır durumu
Tek korniyerler	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Dolu enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
Simetri enkesiti olmayan enkesite sahip elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

Yönetmelikte, basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğuna bağlı olarak karakteristik eğilme momenti dayanımı tanımlanmaktadır.



$L_b \leq L_p$ ise kiriş basınç başlığı, karakteristik eğilme momenti dayanımının M_p değerine ulaşması sağlanacak şekilde yanal olarak destekli.

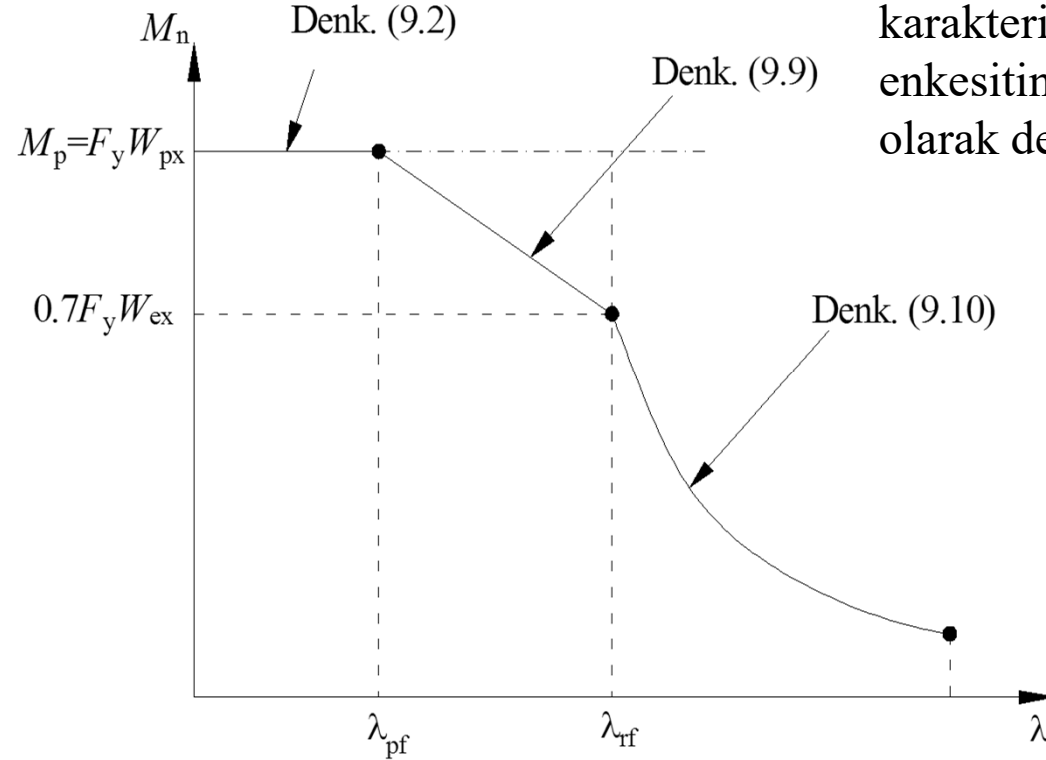
$L_b > L_p$ ise kiriş basınç başlığı, karakteristik eğilme momenti dayanımının M_p değerine ulaşması sağlanacak şekilde yanal olarak destekli değil.

Basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğuna bağlı olarak karakteristik eğilme momenti dayanımı

Yerel Burkulma Sınır Durumu

Yönetmelikte, enkesit parçası narinliği, λ ne bağlı olarak M_n , karakteristik eğilme momenti dayanımı tanımlanmaktadır.

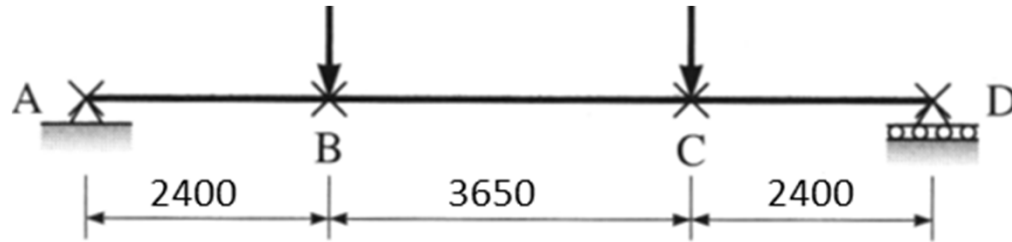
Örneğin, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar için yerel burkulma sınır durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n nin, enkesitin başlık parçası narinliği, λ_f e bağlı olarak değişimi şekilde gösterilmiştir.



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

ÖRNEK 1. Şekilde statik sistemi verilen HEA 450 enkesitli kirişte, sabit yükler altında $M_B=M_C=M_{maks}= 590\text{kNm}$ olarak verilmektedir. Kiriş başlıkları A,B,C ve D noktalarında yanal olarak desteklenmiştir.

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)



Geometrik özellikler

$$b_f=300\text{mm}$$

$$h=344\text{mm}$$

$$W_{ex}=2896 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$J=243.8 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$t_f=21\text{mm}$$

$$t_w=11.5\text{mm}$$

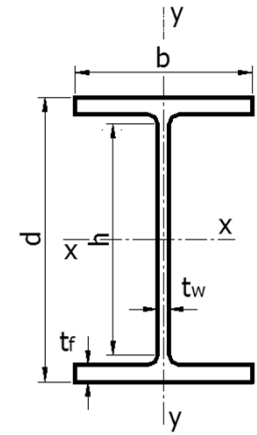
$$W_{px}=3216 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_w=4148 \times 10^9 \text{ mm}^6$$

$$d=440\text{mm}$$

$$i_y=72.92\text{mm}$$

$$I_y=9465 \times 10^4 \text{ mm}^4$$



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Malzeme özellikleri S 355

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

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

Çözüm

Yerel burkulma kontrolü

$$\text{Başlık parçası } \frac{b_f}{2t_f} = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2(21)} = 7.14 < \lambda_{pf} = 0.38\sqrt{E/F_y} = 9.02 \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum10})$$

$$\text{Gövde parçası } \frac{h_w}{t_w} = \frac{344}{11.5} = 29.91 < \lambda_{pw} = 3.76\sqrt{E/F_y} = 89.24 \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum15})$$

Kiriş enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt sınıfındadır.

Kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisindeki, gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan çift simetri eksenli I-enkesitli kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , akma sınır durumu ve yanal burulmalı burkulma sınır durumu için hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınacaktır (9.2)

Akma sınır durumu (9.2.1)

$$M_p = F_y W_{px} = 355(3216)10^{-3} = 1141.68\text{kNm} \quad (\text{Denk.9.2})$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu (9.2.2)

Kiriş basınç başlığının tutulu olmadığı AB ve BC uzunlukları için incelenmelidir.

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(72.92) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3046.2\text{mm} \quad (\text{Denk.9.6a})$$

AB parçası için $L_b = 2400\text{mm} < L_p = 3046.2\text{mm}$ olduğundan yanal burulmalı burkulma sınır durumunun incelenmesine gerek yoktur.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

BC parçası için $L_b = 3650\text{mm} > L_p = 3046.2\text{mm}$ olduğundan yanal burulmalı burkulma sınır durumu incelenecektir. Bu uzunluk boyunca moment sabit alınabileceğinden $C_b = 1.0$ olacaktır.

$L_b > L_p$ olduğundan elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk, L_r

$$L_r = 1.95i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} \quad (\text{Denk.9.6b})$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{ht_w}{b_f t_f}\right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{344(11.5)}{300(21)}\right)}} = 82.40\text{mm} \quad (\text{Denk.9.8b})$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

$$L_r = 1.95(82.40) \frac{200000}{0.7(355)} \sqrt{\frac{243.8(10)^4(1.0)}{2896(10)^3(419)} + \sqrt{\left(\frac{243.8(10)^4(1.0)}{2896(10)^3(419)}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7(355)}{200000}\right)^2}} = 9860\text{mm}$$

$$L_p = 3046.2\text{mm} < L_b = 3650\text{mm} \leq L_r = 9860\text{mm} \quad \mathbf{9.2.2(b)}$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad \mathbf{(Denk.9.3)}$$

$$M_r = 0.7W_{ex}F_y = 0.7(2896)355(10)^{-3} = 719.66\text{kNm}$$

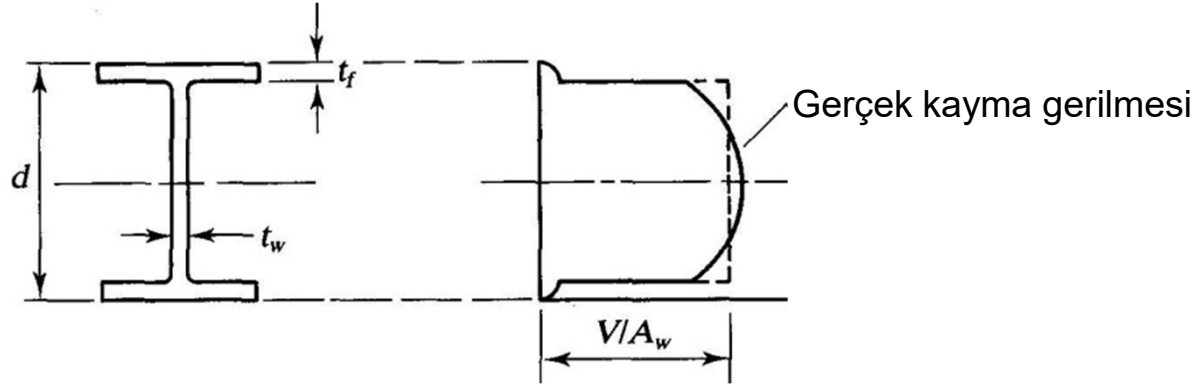
$$M_n = 1.0 \left[1141.68 - (1141.68 - 719.66) \left(\frac{3650 - 3046.2}{9860 - 3046.2} \right) \right] = 1104\text{kNm} \leq M_p = 1141\text{kNm}$$

kiriş dayanımını yanal burulmalı burkulma sınır durumu kontrol eder.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

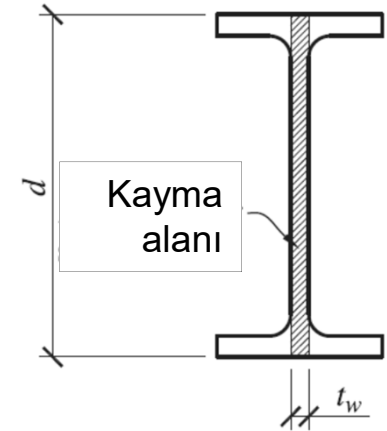
YDKT (5.2.2)	GKT (5.2.3)
Gerekli eğilme momenti dayanımı (5.3.1)	Gerekli eğilme momenti dayanımı (5.3.2)
$M_u = 1.4M_G$ $= 1.4(590) = 826 \text{ kNm}$	$M_a = 1.0M_G$ $= 1.0(590) = 590 \text{ kNm}$
Tasarım eğilme momenti dayanımı (9.1)	Güvenli eğilme momenti dayanımı (9.1)
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(1104) = 993.60 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 1104 / 1.67 = 661.08 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{826}{993.60} = 0.83 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{590}{661.08} = 0.89 \leq 1.0 \checkmark$

BÖLÜM 10. KESME KUVVETİ ETKİSİ



Gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki I-enkesitli elemanlarda kayma gerilmeleri

- Kesme kuvvetinin gövde tarafından aktarıldığı varsayılır
- Eğilme momenti kesme kuvveti etkileşimi gözönüne alınmaz
- Kaymada akma koşulu $\tau_y = 0.6F_y$ olarak kabul edilir.



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Kesme kuvveti etkisindeki elemanın **karakteristik kesme kuvveti dayanımı**

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1}$$

olmak üzere, kesme kuvveti etkisindeki elemanın **tasarım kesme kuvveti dayanımı**, $\phi_v V_n$, (YDKT) veya **güvenli kesme kuvveti dayanımı**, V_n/Ω_v , (GKT), **Bölüm 10.2.1(a)** dışında kalan tüm kesme kuvveti etkisindeki elemanlar için,

$$\phi_v = 0.90 \text{ (YDKT)}$$

veya

$$\Omega_v = 1.67 \text{ (GKT)}$$

alınarak, bu bölümde verilen kurallar çerçevesinde belirlenecektir.

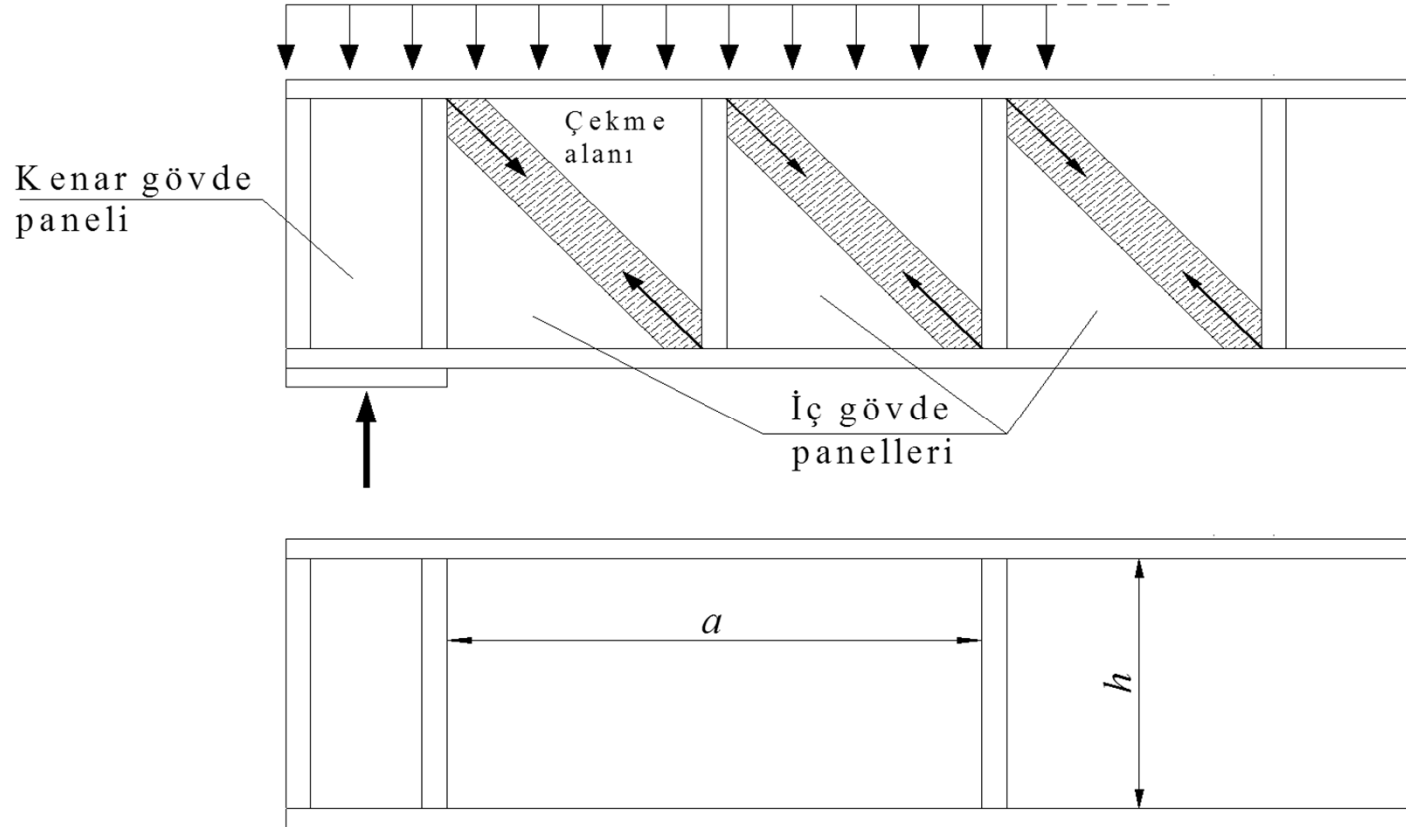
Bölüm 10.2	I- Enkesitli ve U-Enkesitli Elemanlar
Bölüm 10.4	Kutu Enkesitli Elemanlar
Bölüm 10.5	Boru Enkesitli Elemanlar
Bölüm 10.6	Tek Korniyerler ve T-Enkesitli Elemanlar
Bölüm 10.7	Başlıklarına Paralel Düzlemde Kesme Kuvveti Etkisindeki Tek veya Çift Simetri Eksenli Elemanlar

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki tek ve çift simetri eksenli I-kirişlerin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesinde *Yönetmelik* Bölüm 10 uyarınca iki farklı yöntem kullanılabilir. Bunlar,

- a) Gövdede düşey ara rijitlik levhalarının bulunmasından bağımsız olarak, gövde levhasının kesme etkisinde akmaya ulaşması veya kesme etkisinde burkulması sınır durumları ile kesme kuvveti dayanımının *Yönetmelik* 10.2 uyarınca belirlendiği *genel yöntem*.
- b) Gövdede düşey ara rijitlik levhaları ile oluşturulan paneller ile gövdenin burkulma sonrası dayanımı gözönüne alınarak, *Yönetmelik* 10.3 uyarınca *çekme alanı katkısının* kesme kuvvetinin dayanımının belirlenmesinde dikkate alındığı yöntem.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016



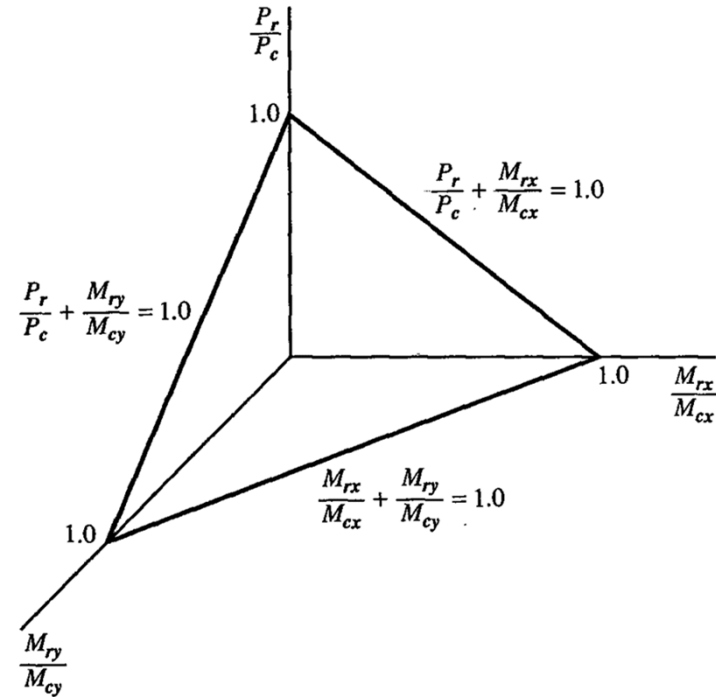
Gövde düzlemi içinde yük etkisinde çekme alanları ve rijitlik levhaları ile oluşturulan panel bölgeleri

BÖLÜM 11. BİLEŞİK ETKİLER

Eksenel kuvvet ve eğilme etkisindeki elemanlar için ÇYTHYE-2016 Yönetmeliğinde verilen etkileşim denklemleri aşağıdaki basit etkileşim ifadesinden türetilmiştir. Burada, “*r*” **gerekli dayanımı**, “*c*” ise **mevcut dayanımı** göstermektedir. Herhangi iki yükleme bileşeni için basitleştirilmiş etkileşim yüzeyleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1.0$$

Gerekli eksenel kuvvet dayanımı, P_r ve gerekli eğilme momenti dayanımı, M_r elemanda ikinci merteye etkiler ile belirlenmiş kesit tesirleridir.



Bileşik etkiler altındaki elemanların tasarım esasları ÇYTHYE-2016 Yönetmeliğinde aşağıdaki başlıklar altında verilmektedir.

Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Çift ve Tek Simetri Eksenli Elemanlar (11.1)

- Eğilme ve Basınç Etkisindeki Çift ve Tek Simetri Eksenli Elemanlar
- Eğilme ve Çekme Etkisindeki Çift ve Tek Simetri Eksenli Elemanlar
- Tek Eksenli Eğilme ve Basınç Etkisindeki Çift Simetri Eksenli Kompakt Enkesitli Hadde Elemanlar

Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Diğer Elemanlar (11.2)

Burulma Etkisindeki Elemanlar ve Burulma, Eğilme, Kesme ve/veya Eksenel Kuvvetin Ortak Etkisindeki Elemanlar (11.3)

- Burulma Etkisindeki Boru ve Kutu Enkesitli Elemanlar
- Burulma, Kesme Kuvveti, Eğilme ve Eksenel Kuvvetin Ortak Etkisindeki Boru ve Kutu Enkesitli Elemanlar
- Burulma ve Bileşik Gerilme Etkisindeki Boru ve Kutu Enkesitler Dışındaki Diğer Tüm Elemanlar

Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Çift ve Tek Simetri Eksenli Elemanlar (11.1)

Eğilme ve Basınç Etkisindeki Çift ve Tek Simetri Eksenli Elemanlar (11.1.1)

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \quad \text{için} \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad \text{Denk.(11.1a)}$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \quad \text{için} \quad \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad \text{Denk.(11.1b)}$$

P_c : **Bölüm 8** e göre mevcut eksenel basınç kuvveti dayanımı, ($= \phi_c P_n$ veya P_n / Ω_c).

M_c : **Bölüm 9** a göre mevcut eğilme momenti dayanımı, ($= \phi_b M_n$ veya M_n / Ω_b).

Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Diğer Elemanlar (11.2)

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0 \quad \text{Denk.(11.3)}$$

f_{ra} : YDKT veya GKT yük birleşimleri için, dikkate alınan noktadaki en büyük eksenel gerilme.

f_{rbw} , f_{rbz} : YDKT veya GKT yük birleşimleri için, dikkate alınan noktadaki en büyük eğilme gerilmesi.

F_c : Dikkate alınan noktadaki mevcut eksenel sınır gerilme.

YDKT için basınç etkisinde **Bölüm 8** ($= \phi_c F_{cr}$) veya çekme etkisinde **Bölüm 7** ye göre belirlenen tasarım eksenel gerilmesi.

GKT için basınç etkisinde **Bölüm 8** ($= F_{cr} / \Omega_c$) veya çekme etkisinde **Bölüm 7** ye göre belirlenen eksenel güvenlik gerilmesi.

F_{cbw} , F_{cbz} : Dikkate alınan noktadaki mevcut eğilme sınır gerilmesi.

YDKT için dikkate alınan noktadaki tasarım eğilme gerilmesi, ($= \phi_b M_n / W_e$)

GKT için dikkate alınan noktadaki eğilme güvenlik gerilmesi, ($= \frac{M_n}{\Omega_b W_e}$)

BÖLÜM 12 KOMPOZİT ELEMANLAR

Yapısal çelik ve betonarmenin birlikte kullanılması ile oluşturulan kompozit yapı elemanlarının tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 12 de belirtilen kurallara göre yapılacaktır. Kompozit elemanların tasarım esasları ÇYTHYE-2016 Yönetmeliğinde aşağıdaki başlıklar altında verilmektedir.

- Aksenal Basınç ve Çekme Kuvveti Etkisinde Beton Dolgulu Kompozit Kolon
- Aksenal Basınç ve Çekme Kuvveti Etkisinde Çelik Gömme Kompozit Kolon
- Kompozit Kolonda Yük Aktarımı ve Yük Geçiş Mekanizmaları
- Tam Etkileşimli Kompozit Kiriş
- Kısmi Etkileşimli Kompozit Kiriş
- Eğilme Momenti, Aksenal Basınç ve Kesme Kuvvetinin Bileşik Etkisinde Beton Dolgulu Kompozit Eleman
- Eğilme Momenti, Aksenal Basınç ve Kesme Kuvvetinin Bileşik Etkisinde Çelik Gömme Kompozit Eleman

BÖLÜM 13. BİRLEŞİMLER VE BİRLEŞİM ARAÇLARI

Birleşim araçları ve elemanları ile birleşim bölgeleri dikkate alınarak, birleşen elemanların tasarımı **Bölüm 13** te belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

Birleşimlerin tasarım dayanımı, ϕR_n (YDKT) veya güvenli dayanımı, R_n/Ω (GKT) **Bölüm 13** ve **Bölüm 5** te verilen kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

Birleşimlerin gerekli dayanımı, tasarım yükleri altında gerçekleştirilen yapısal analiz sonucunda veya ilgili alt bölümlerde tanımlanması durumunda, birleşen elemanların gerekli dayanımının belirli bir oranı olarak belirlenecektir.

Eksenel yüklü elemanların düşey eksenlerinin ortak bir noktada kesişmemesi halinde, dışmerkezlik etkisi gözönüne alınacaktır.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

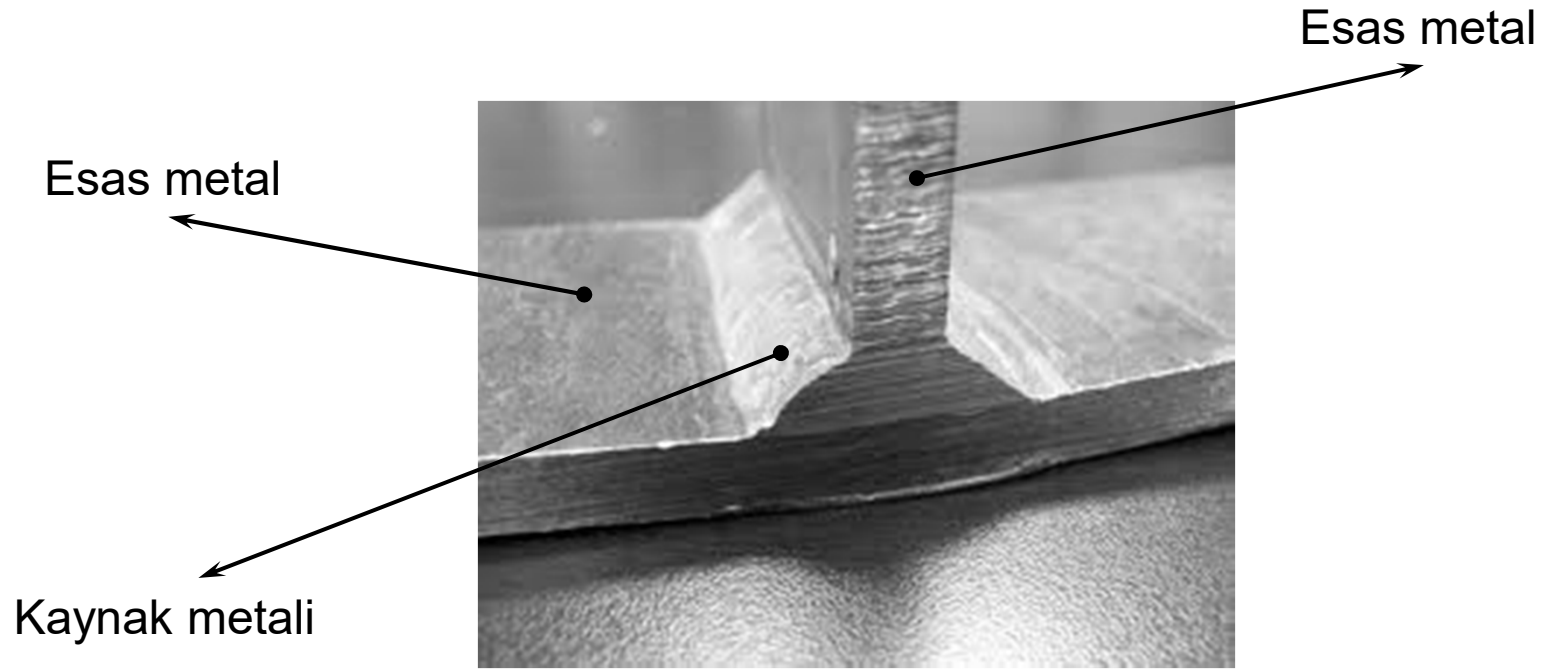
Birleşim elemanları ve birleşimlerin tasarım esasları ÇYTHYE-2016 Yönetmeliğinde özetle aşağıdaki başlıklar altında verilmektedir.

- Kaynaklar
- Bulonlar
- Elemanların birleşen enkesit parçaları ve birleşim elemanlarının dayanımları
- Besleme levhaları
- Mesnette ezilme dayanımı
- Kolon ayakları ve beton üzerine mesnetlenme
- Ankraj çubukları ve betona yerleşim
- Bölgesel kuvvetler etkisindeki başlık ve gövde enkesit parçalarının dayanımları
- Çekme elemanlarının mil birleşimleri

KAYNAKLAR (13.2)

Kaynak, aynı veya benzer alaşımlı metal parçaların ısı etkisiyle birleştirilmesi işlemidir.

Bu işlemde; benzer alaşımlı metal parçaları arasında bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılan malzeme kaynak metali, birleştirilen elemanlar ise esas metal olarak adlandırılmaktadır.



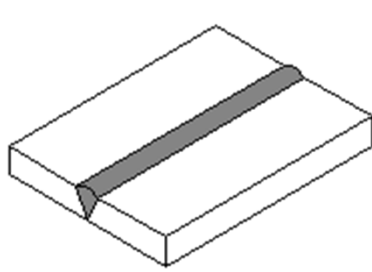
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Yönetmelikte kaynaklar üç ana grupta ele alınmaktadır.

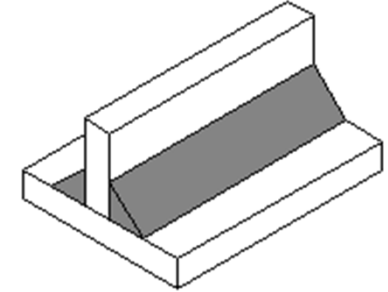
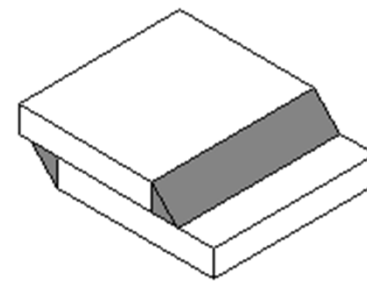
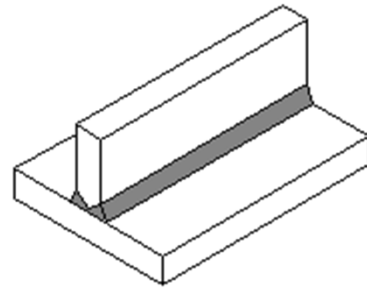
Küt Kaynaklar (13.2.1)

Köşe Kaynaklar (13.2.2)

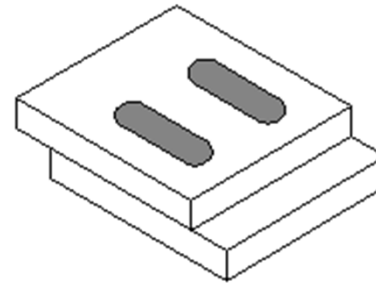
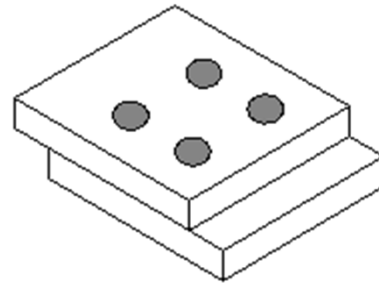
Dairesel ve Oval Dolgu Kaynaklar (13.2.3)



Küt kaynak uygulaması



Köşe kaynak uygulaması



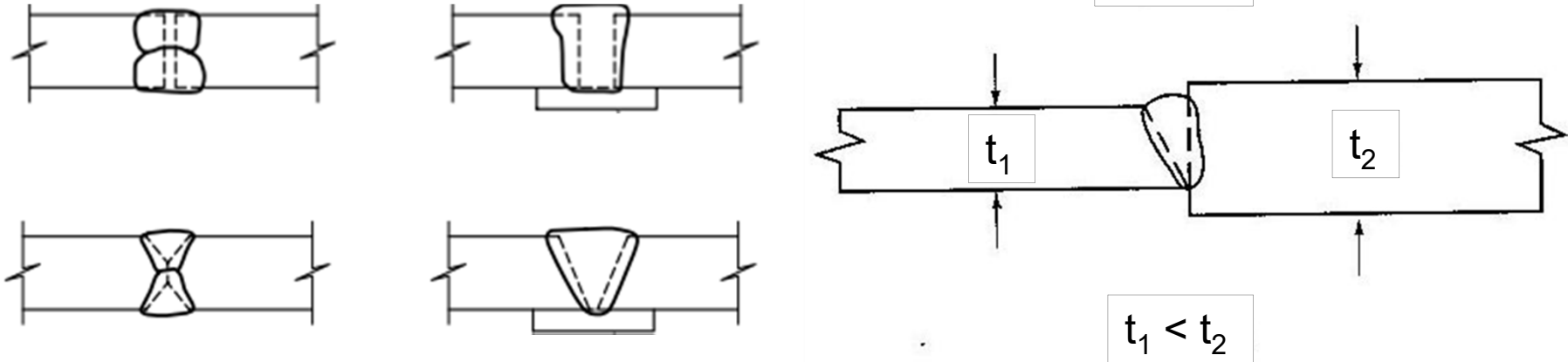
Dairesel ve dolgu kaynak uygulaması

Küt Kaynaklar (13.2.1)

Etkin Alan (13.2.1.1)

Küt kaynakların etkin alanı, kaynak uzunluğu ile etkin kaynak kalınlığının çarpımı olarak dikkate alınacaktır.

Tam penetrasyonlu küt kaynakların etkin kalınlığı, birleşen parçalardan ince olanının kalınlığına eşit alınacaktır.



Tipik Tam Penetrasyonlu Küt Kaynak Uygulamaları

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

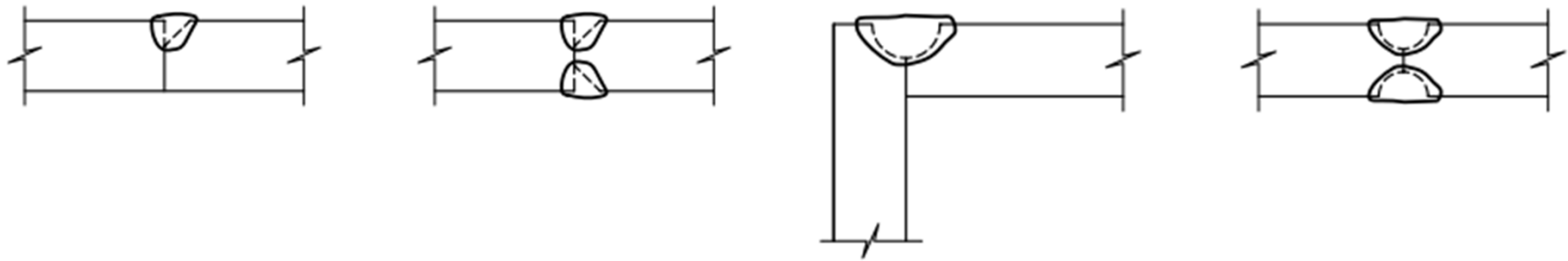
Kısmi penetrasyonlu küt kaynakların etkin kalınlıkları, kaynak konumuna ve kaynak ağzının tipine göre **Tablo 13.1** de verilmiştir. Buna göre,

Etkin kaynak kalınlığı = kaynak ağzı derinliği

veya

Etkin kaynak kalınlığı = kaynak ağzı derinliği – 3mm

olmak üzere iki şekilde belirlenmektedir.



Tipik Kısmi Penetrasyonlu Küt Kaynak Uygulamaları

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Köşe Kaynaklar (13.2.2)

Köşe kaynakların minimum etkin kalınlığı, hesaplanan kuvvetin güvenle aktarılmasını sağlayacak kaynak kalınlığından ve **Tablo 13.4** te verilen minimum kalınlıklardan az olamaz.



TABLO 13.4 – KÖŞE KAYNAKLARIN MİNİMUM KALINLIKLARI

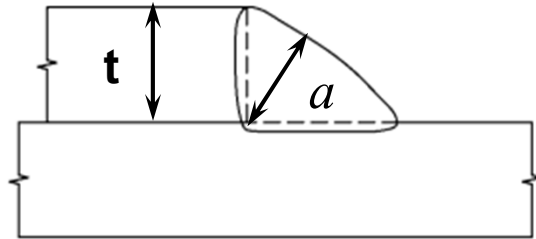
Birleşen İnce Elemanın Kalınlığı, t [mm]	Minimum Köşe Kaynak Kalınlığı, ^a [mm]
$6 \geq t$	3.0
$13 \geq t > 6$	3.5
$19 \geq t > 13$	4.0
$38 \geq t > 19$	5.5

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

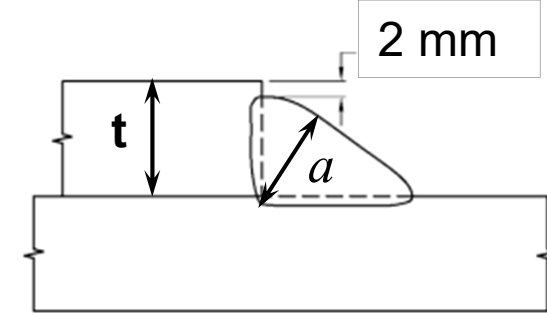
Kaynaklanan elemanın kenar kalınlığı, t , olmak üzere, köşe kaynaklarının **maksimum kalınlığı** için aşağıdaki koşullar gözönüne alınacaktır.

(a) Kaynaklanan elemanın kenar kalınlığı 6mm veya daha ince ise $0.7t$ kalınlığından büyük olamaz.

(b) Kaynaklanan elemanın kenar kalınlığı 6mm den daha kalın ise, öngörülen kaynak kalınlığının sağlanabilmesi amacıyla, $0.7(t - 2\text{mm})$ şeklinde belirlenecektir.



$$t \leq 6 \text{ mm}$$
$$a_{\text{maks}} = 0.7t$$



$$t > 6 \text{ mm}$$
$$a_{\text{maks}} = 0.7(t - 2 \text{ mm})$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Elemanların kaynaklı uç birleşimlerinde etkin kaynak uzunluğu aşağıdaki koşullar dikkate alınarak hesaplanacaktır.

$$L \leq 150a \quad \text{için} \quad L_e = L$$

$$150a < L \leq 400a \quad \text{için} \quad L_e = \beta L \quad \beta = 1.2 - 0.0014(L/a) \leq 1.0$$

$$400a < L \quad \text{için} \quad L_e = 250a$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

L : Kaynak uzunluğu.

L_e : Etkin kaynak uzunluğu.

a : Etkin kaynak kalınlığı (kaynak enkesiti içine çizilebilen üçgenin yüksekliği).

β : Azaltma katsayısı.

Kaynaklı Birleşimlerin Dayanımı (13.2.4)

Kaynaklı birleşimlerin tasarım dayanımı, ϕR_n veya güvenli dayanımı, R_n/Ω , esas metalin çekme ve kayma etkisinde kırılma sınır durumları ile kaynak metalinin kırılma sınır durumuna göre hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınacaktır.

Esas metal karakteristik dayanımı, R_{nBM} , ve kaynak metali karakteristik dayanımı, R_{nw} , sırasıyla, **Denk.(13.1)** ve **Denk.(13.2)** kullanılarak hesaplanacaktır.

$$R_{nBM} = F_{nBM} A_{BM}$$

Denk.(13.1)

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we}$$

Denk.(13.2)

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

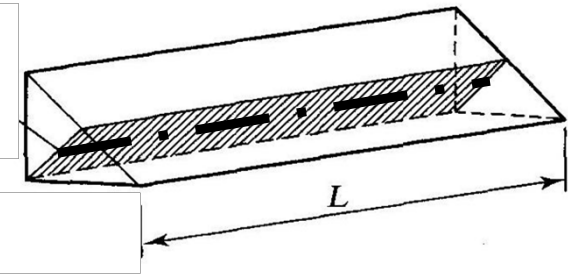
F_{nBM} : Esas metal karakteristik gerilmesi.

F_{nw} : Kaynak metali karakteristik gerilmesi.

A_{BM} : Kaynak metali ile birleşim yüzeyinde esas metal alanı.

A_{we} : Etkin kaynak alanı.

Köşe kaynak
göçme
yüzeyi



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

ϕ , Ω , F_{nBM} ve F_{nw} nin değerleri **Tablo 13.5** te verilmiştir.

Köşe kaynakların karakteristik gerilmesi, F_{nw} , köşe kaynakların boyuna eksenlerinin kuvvet doğrultusuyla yaptığı açı gözönüne alınmaksızın, **Tablo 13.5** ten alınabilir.

$$F_{nw} = 0.60F_E$$

Köşe kaynakların boyuna eksenlerinin kuvvet doğrultusuyla yaptığı açı gözönüne alındığında ise ağırlık merkezinden geçen eksenel yük etkisindeki, köşe kaynak grubunun karakteristik gerilmesi hesaplanabilir.

$$F_{nw} = 0.60F_E \left(1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta \right)$$

F_E : Kaynak metali karakteristik çekme dayanımı.

θ : Kaynak boyuna eksenini ile yük doğrultusunun oluşturduğu açı (derece).

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

BULONLAR (13.3)

TABLO 2.2-BULONLARIN KARAKTERİSTİK AKMA GERİLMELERİ VE ÇEKME DAYANIMLARI

Bulon sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
F_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
F_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Tablo 2.2 de verilen 4.6, 4.8, 5.6, 5.8 ve 6.8 bulon sınıfları normal bulonlar ve 8.8 ve 10.9 bulon sınıfları ise yüksek dayanımlı bulonlar olarak dikkate alınacaktır.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Bulon Deliği Boyutları ve Uygulaması (13.3.5)

Bulonlar için maksimum delik boyutları **Tablo 13.8** de verilmiştir. Diğer kural ve koşullar için **Bkz. 13.3.5.**

TABLO 13.8 – KARAKTERİSTİK DELİK BOYUTLARI, (mm)

Bulon	Delik Boyutları			
	Standart Dairesel Delik Çapları	Büyük Dairesel Delik Çapları	Kısa Oval Delik (Genişlik × Uzunluk)	Uzun Oval Delik (Genişlik × Uzunluk)
M16	18	20	18 × 22	18 × 40
M20	22	24	22 × 26	22 × 50
M22	24	28	24 × 30	24 × 55
M24	26	30	26 × 32	26 × 60
M27	30	35	30 × 37	30 × 67
M30	33	38	33 × 40	33 × 75
≥ M36	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2.5d$

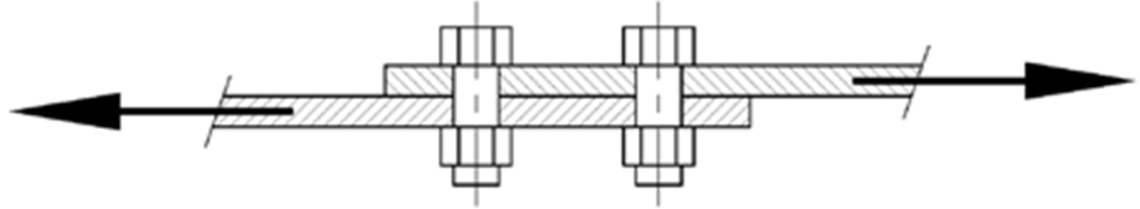
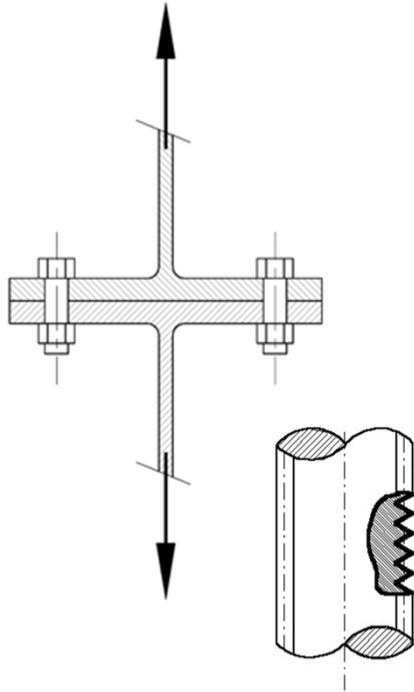
Yönetmelikte bulonlu birleşimler,

- Ezilme etkili birleşimler
- Sürtünme etkili(kayma kontrollü)

birleşimler olarak sınıflandırılmaktadır.

Bulonların Çekme ve Kesme Kuvveti Dayanımları (13.3.9)

Öngermeli yüksek dayanımlı bulonların, basit sıkılan bulonların ve diş açılan çubukların karakteristik çekme kuvveti veya kesme kuvveti dayanımı, çekme etkisinde kopma veya kayma etkisinde kırılma sınır durumları esas alınarak, hesaplanacaktır.



Bulonların Karakteristik Çekme ve Kayma Gerilmesi Dayanımları (13.3.4)

Bulonların karakteristik çekme gerilmesi dayanımı, F_{nt} , **Tablo 2.2** de verilen bulon malzemesi karakteristik çekme dayanımı, F_{ub} ye bağlı olarak, **Denk.(13.7)** ile hesaplanacaktır.

$$F_{nt} = 0.75F_{ub}$$

Denk.(13.7)

Bulonların karakteristik kayma gerilmesi dayanımı, F_{nv} , aşağıdaki iki durum dikkate alınarak elde edilecektir.

(a) Bulonun dış açılmış gövde bölümü kayma düzlemi içinde ise **Denk.(13.8)** ile hesaplanacaktır.

$$F_{nv} = 0.450F_{ub}$$

Denk.(13.8)

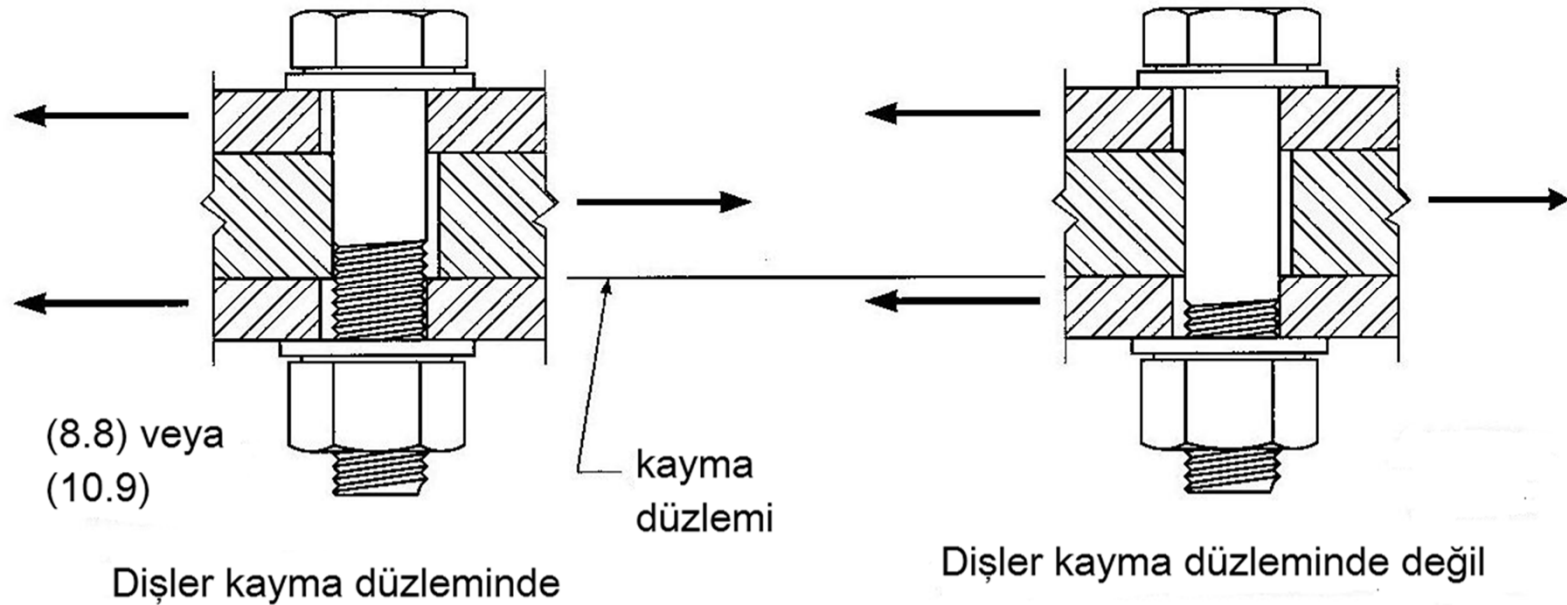
(b) Bulonun dış açılmış gövde bölümü kayma düzlemi dışında ise **Denk.(13.9)** ile hesaplanacaktır

$$F_{nv} = 0.563F_{ub}$$

Denk.(13.9)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Normal bulonların (4.6, 4.8, 5.6, 5.8 ve 6.8) karakteristik kayma dayanımları, dış açılmış gövde bölümünün konumundan bağımsız olarak sadece **Denk.(13.8)** ile hesaplanacaktır.



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

$$R_n = R_{nt} = F_{nt} A_b$$

Denk.(13.10a)

$$R_n = R_{nv} = F_{nv} n_{sp} A_b$$

Denk.(13.10b)

Tasarım çekme kuvveti veya kesme kuvveti dayanımı, ϕR_n (YDKT) veya güvenli çekme kuvveti veya kesme kuvveti dayanımı, R_n/Ω (GKT),

$$\phi = 0.75 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega = 2.00 \text{ (GKT)}$$

alınarak belirlenecektir.

A_b : Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı.

F_{nt} : **Tablo 13.7** de verilen karakteristik çekme gerilmesi dayanımı.

F_{nv} : **Tablo 13.7** de verilen karakteristik kayma gerilmesi dayanımı.

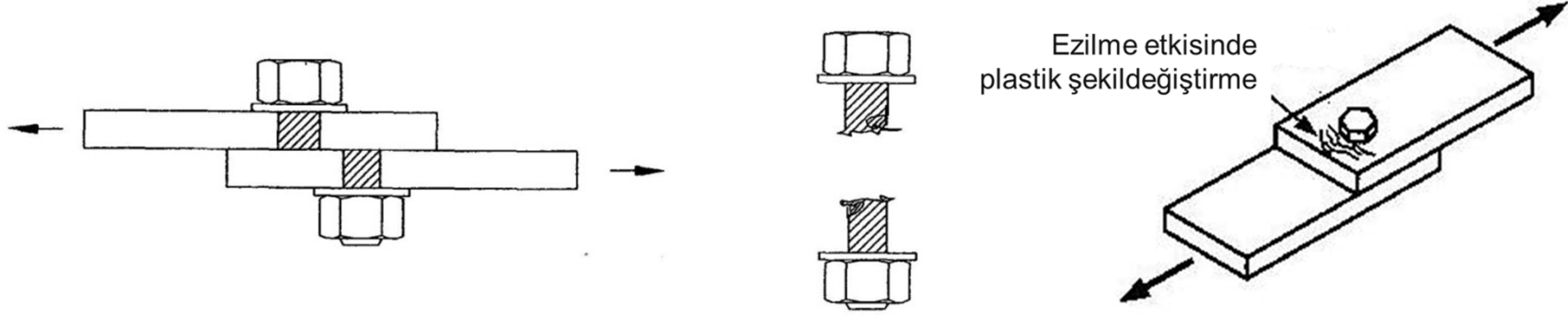
R_{nt} : Karakteristik çekme kuvveti dayanımı.

R_{nv} : Karakteristik kesme kuvveti dayanımı.

n_{sp} : Kayma düzlemi sayısı.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Ezilme etkili bulonun karakteristik dayanımı, kayma etkisinde bulon gövdesi kırılma sınır durumu ve bulon deliğinin karakteristik ezilme kuvveti dayanımlarının küçüğü olarak alınacaktır.



Bulon gövdesinde kesme kırılması sınır durumu

Bulon deliğinde ezilme sınır durumu

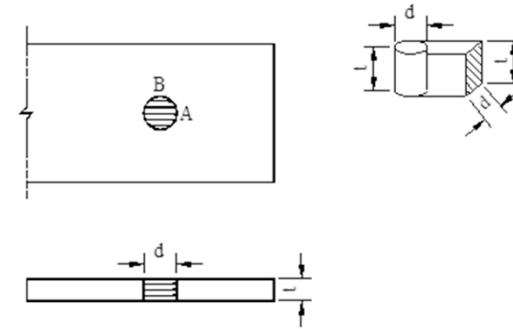
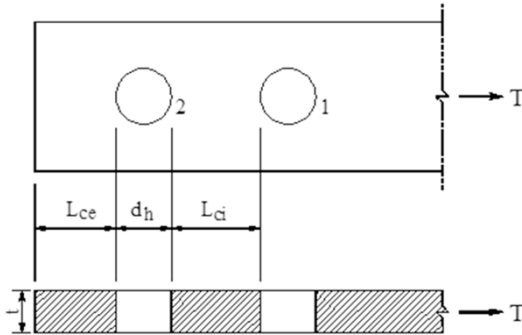
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Bulon Deliği Ezilme Kuvveti Dayanımı (13.3.13)

Bir bulon deliğinin karakteristik ezilme kuvveti dayanımı, R_n , kayma etkisinde ezilme sınır durumu esas alınarak, yükün doğrultusundan bağımsız olarak, standart dairesel delikler için **Denk.(13.14a)** ile hesaplanacaktır.

$$R_n = 1.2l_c t F_u \leq 2.4dt F_u$$

Denk.(13.14a)



F_u : Bağlanan eleman malzemesinin karakteristik çekme dayanımı.

d : Bulonun karakteristik gövde çapı (bulonun dış açılmamış gövdesinin çapı).

l_c : Kuvvet doğrultusundaki delik kenarı ile en yakın diğer delik kenarı arasındaki veya delik kenarı ile eleman kenarı arasındaki net uzaklık.

t : Bağlanan elemanın kalınlığı.

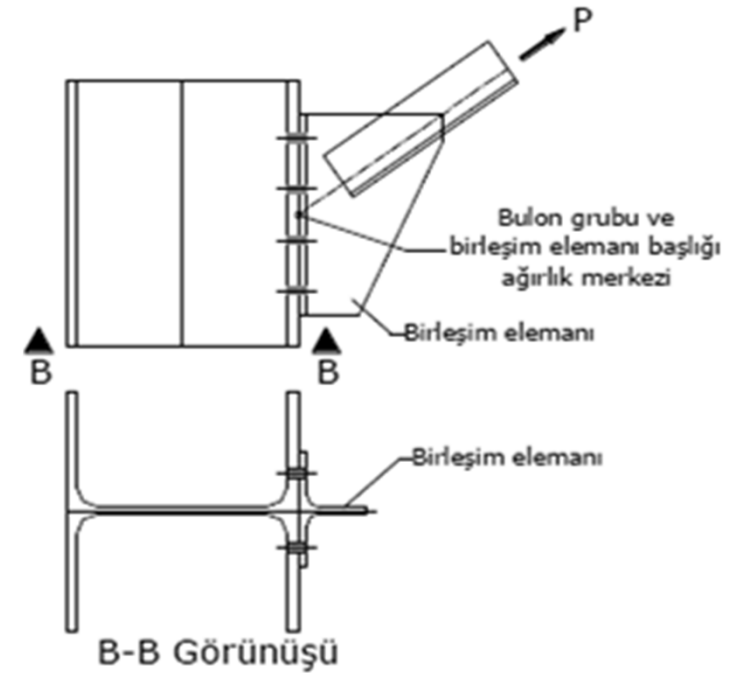
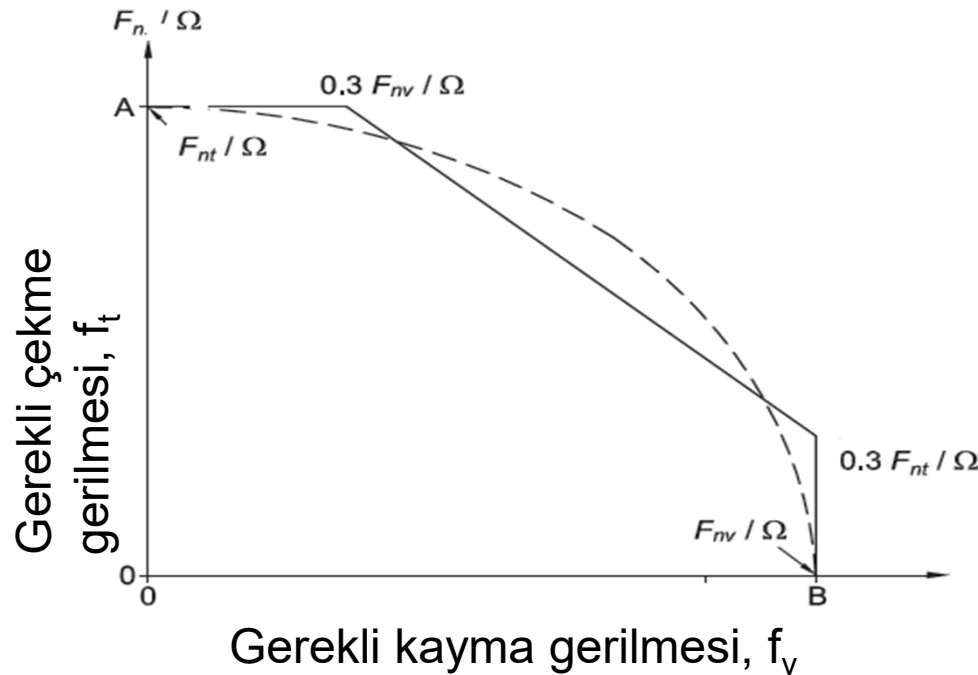
Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Çekme ve Kesme Kuvvetinin Ortak Etkisindeki Ezilme Etkili Birleşimler (13.3.10)

Çekme ve kesme kuvvetinin ortak etkisindeki bir bulonun karakteristik çekme kuvveti dayanımı kopma sınır durumu için **Denk.(13.11)** ile hesaplanacaktır.

$$R_n = F'_{nt} A_b$$

Denk.(13.11)



Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Sürtünme Etkili (kayma kontrollü) Birleşimlerde Yüksek Dayanımlı Bulonlar (13.3.11)

Birleşen parçaların temas yüzeyleri arasında kaymayı önleyecek şekilde ve ezilme etkili birleşimlerin sınır durumları dikkate alınarak boyutlandırılacaktır.

Bir bulon için sürtünme etkili karakteristik kayma kuvveti dayanımı, sürtünme etkili kayma sınır durumu esas alınarak **Denk.(13.12)** ile hesaplanacaktır.

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s$$

Denk.(13.12)

D_u : Bulon montajı sırasında uygulanan ortalama önçekme kuvvetinin karakteristik minimum önçekme kuvvetine oranını gösteren bir katsayı olarak tanımlanır ve 1.0 değerine eşit alınacaktır. Uygunluğu gösterilmek koşuluyla, $D_u \leq 1.13$ olmak üzere, farklı değerler de kullanılabilir.

n_s : Sürtünme etkili kayma düzlemi sayısı.

T_b : **Tablo 13.6** da verilen minimum bulon önçekme kuvveti.

μ : **Tablo 13.11** de A, B, C ve D Sınıfı yüzeyler için verilen veya deneysel olarak belirlenen ortalama sürtünme katsayısı (0.20 ~ 0.50).

h_f : Aşağıda tanımlandığı şekilde belirlenen besleme levhası katsayısı (1.0 veya 0.85).

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

ÖRNEK 1. Aşağıda ezilme etkili bulonlu birleşim detayı verilen 12×200 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla, $P_G = 80\text{kN}$ ve $P_Q = 200\text{kN}$ aksenal çekme kuvvetleri etkisindedir.

- a. Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- b. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- c. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)

Malzeme (Tablo 2.1A)

S 235 $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

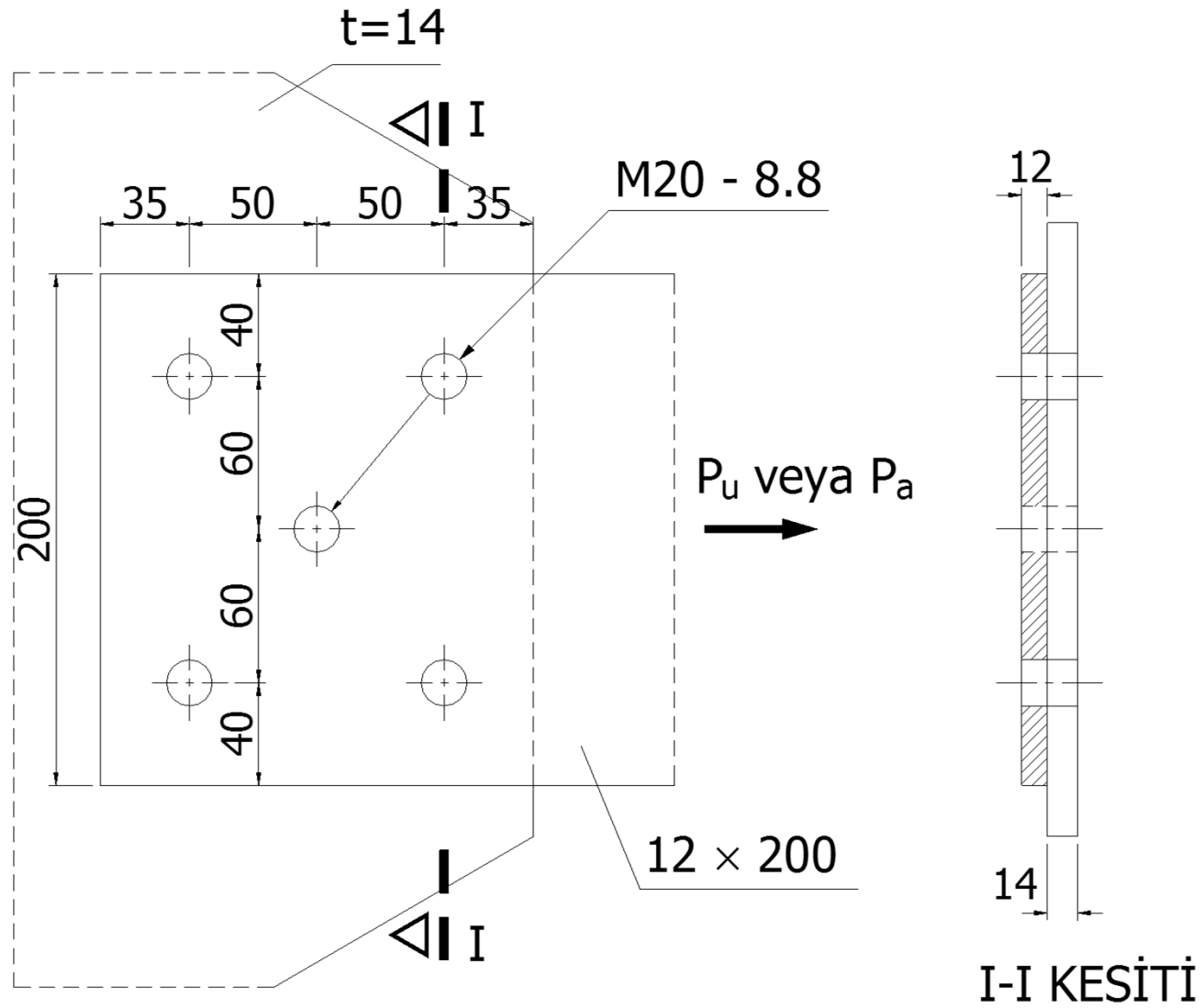
Enkesit

12×200 $t = 12.0 \text{ mm}$ $b = 200 \text{ mm}$

Bulonlar (Tablo 13.8)

M20 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır ve dış açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016



Çözüm

a. Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi.

Bulon gövdesinde kesme kırılması sınır durumu (13.3.9)

Bulon malzemesinin (8.8) karakteristik çekme dayanımı, F_{ub} (Tablo 2.2)

$$F_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı, F_{nv} (13.3.4(a) ve Tablo 13.7)

$$F_{nv} = 0.450F_{ub} = 0.450(800) = 360 \text{ N/mm}^2$$

M20-8.8 bulon grubunun karakteristik kesme kuvveti dayanımı, R_{nv} (Tablo 13.8)

$$A_b = \frac{\pi(20)^2}{4} = 314.16 \text{ mm}^2$$

$$R_{nv} = F_{nv}n_{sp}A_b = (360)(1)(314.16)10^{-3} = 113 \text{ kN}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

Bulon deliklerinde ezilme sınır durumu (13.3.13)

Ezilme dayanımı için bulon delik çapı, d_h (Tablo 13.8)

$$d_h = 20 + 2.0 = 22 \text{ mm}$$

Ezilme etkisi altındaki etkin kalınlık, t

$$t = 12 \text{ mm} (12 \text{ mm} < 14 \text{ mm})$$

Bulon deliği grubunun karakteristik ezilme kuvveti dayanımı, R_n (13.3.13)

Her bir kenar bulon deliği için

$$L_{c,1} = L_e - 0.5d_h = 35 - 0.5(22) = 24 \text{ mm}$$

$$R_{ne,1} = 1.2L_c t F_u = 1.2(24)(12)(360)10^{-3} = 124.42 \text{ kN}$$

$$R_{ne,1} = 124.42 \text{ kN} \leq 2.4(20)(12)(360)10^{-3} = 207.36 \text{ kN}$$

$$R_{ne,1} = 124.42 \text{ kN} > 113 \text{ kN}$$

$$L_{c,2} = L_e - 0.5d_h = (35 + 50) - 0.5(22) = 74\text{mm}$$

$$R_{ne,2} = 1.2L_c t F_u = 1.2(74)(12)(360)10^{-3} = 383.62 \text{ kN}$$

$$R_{ne,2} = 383.62 \text{ kN} > 2.4(20)(12)(360)10^{-3} = 207.36 \text{ kN}$$

$$R_{ne,2} = 207.36 \text{ kN} > 113 \text{ kN}$$

Diğer her bir bulon deliği için

$$L_c = s - d_h = 100 - 22 = 78\text{mm}$$

$$R_n = 1.2L_c t F_u = 1.2(78)(12)(360)10^{-3} = 404.35 \text{ kN}$$

$$R_n = 404.35 \text{ kN} > 2.4(20)(12)(360)10^{-3} = 207.36 \text{ kN}$$

$$R_n = 207.36 \text{ kN} > 113 \text{ kN}$$

Birleşim için

$$R_n = n_{e,1}R_n + n_{e,2}R_n + n_i R_n$$

$$R_n = 2(113) + 1(113) + 2(113) = 565 \text{ kN}$$

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016

YDKT (5.2.2)	GKT (5.2.3)
Gerekli çekme kuvveti dayanımı (5.3.1)	Gerekli çekme kuvveti dayanımı (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(200) = 416 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 80 + 200 = 280 \text{ kN}$
Birleşimin tasarım dayanımı (13.3.9)	Birleşimin güvenli dayanımı (13.3.9)
$R_d = \phi R_n = 0.75(565) = 424 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 565 / 2.00 = 282.5 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{416}{424} = 0.98 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{280}{282.5} = 0.99 \leq 1.0 \checkmark$