

# Çelik Yapı Elemanları

GKT/YDKT

Ders Notları

## 8. EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ

Prof.Dr. Zeki AY  
SDÜ İnş. Müh. Böl.  
Isparta 2019

[www.zekiay.com.tr](http://www.zekiay.com.tr)

## 8. EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ

### 8.1 GİRİŞ

### 8.2 TANIMLAR

### 8.3 KARAKTERİSTİK BASINÇ KUVVETİ "P<sub>n</sub>" HESABI

#### 8.3.1 Narin Olmayan Enkesitli Elemanlar

#### 8.3.2 Narin Enkesitli Elemanlar

### 8.4 NARİN OLMAYAN ENKESİTLİ BASINÇ ÇUBUKLAR İÇİN ELASTİK BURKULMA GERİLMESİ "F<sub>e</sub>" HESABI

#### 8.4.1 Eğilmeli Burkulma Sınır Durumu

#### 8.4.2 Burulmalı Burkulma, Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

### 8.5 NARİN ENKESİTLİ BASINÇ ÇUBUKLAR İÇİN ELASTİK BURKULMA GERİLMESİ "F<sub>e</sub>" HESABI

#### 8.5.1 Eğilmeli Burkulma

#### 8.5.2 Burulmalı Burkulma, Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

### 8.6 TEK KORNİYERDEN OLUŞAN BASINÇ ELEMANLARI

### 8.7 ÇOK PARÇALI BASINÇ ÇUBUKLARI

### 8.8. TEK PARÇALI BASINÇ ÇUBUKLARININ ÇÖZÜM ŞEMASI

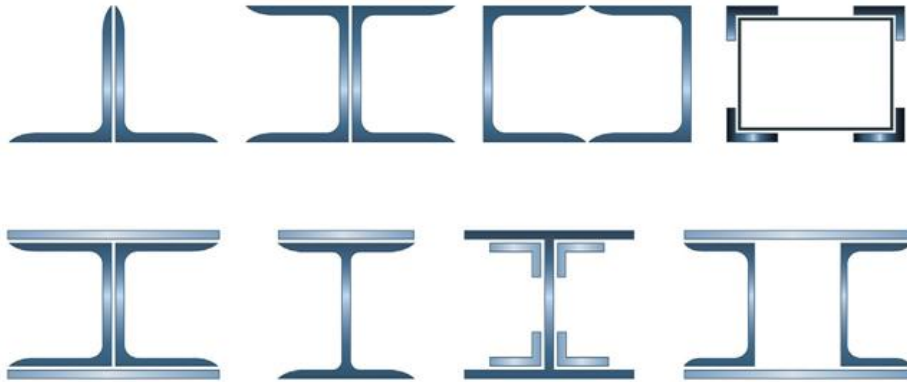
## 8. EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ

### 8.1 GİRİŞ

Boyuna eksenine doğrultusunda ekstenel basınç kuvveti taşıyan elemanlara basınç çubuğu denir. Basınç çubukları genellikle yapı kolonu veya kafes giriş elemanı olarak karşımıza çıkarlar. Basınç çubuklarında, çubuğa etkiyen basınç kuvveti belli bir değeri aştıktan sonra çubuk eksenine doğrusalığını kaybederek eğilmeye başlar. Bu olaya basınç çubuğunun burkulması denir. Burkulan bir çubukta, elastik sınır dayanımları aşılmaya bile, çubuk elemanı doğrusalığını kaybettiği için dayanımını kaybeder. Bu nedenle burkulma bir gerilme problemi değil, bir stabilite problemidir



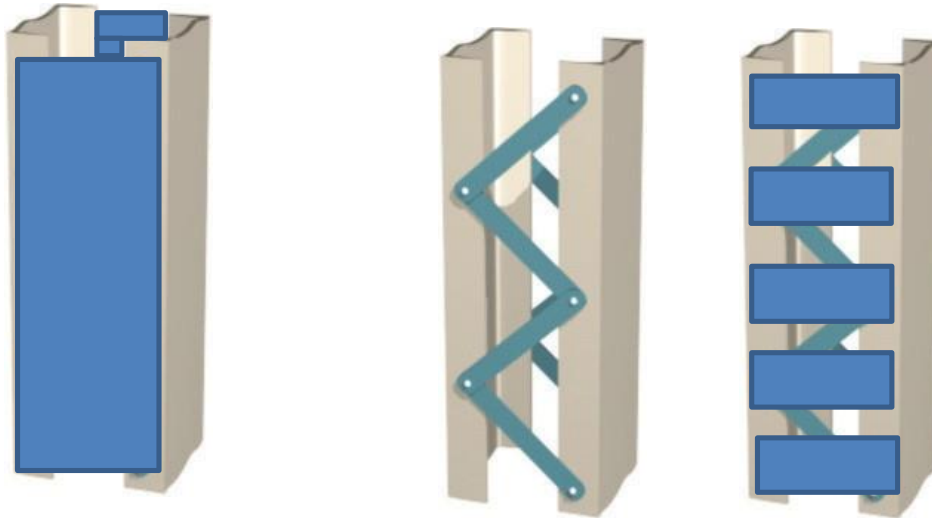
Şekil 8.1 Tek parçalı basınç çubuğu enkesit örnekleri



Şekil 8.2 Çok parçalı basınç çubuğu enkesit örnekleri



Şekil 8.3 Soğukta şekil verilmiş basınç çubuğu enkesit örnekleri



Tek parçalı basınç çubuğu

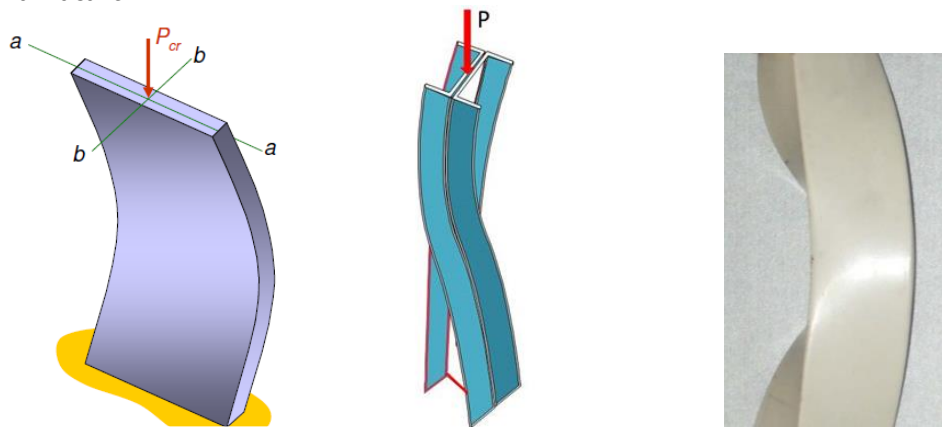
Çok parçalı basınç çubukları

## 8.2 TANIMLAR

ÇYTY-2016'ya göre aksenal basınç kuvveti etkisi altındaki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında "**narin ve narin olmayan enkesitler**" olarak ikiye ayrılır. Hiç bir enkesit parçasının genişlik(çap)/kalınlık oranı  $\lambda$ 'nın ÇYTY-2016 Tabo 5.1.A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığı en kesitler **narin olmayan enkesit**, en az bir enkesit parçasının genişlik(çap)/kalınlık oranının  $\lambda_r$  sınır değerini aştığı enkesitler ise **narin enkesit** olarak tanımlanır.

Narinlik oranı  $\frac{L_c}{i} \leq 200$  olmalıdır.( Burkulma boyu  $L_c = K.L$ ).

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı( $P_n$ ), aksenal basınç etkisindeki elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi bir etrafında **eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve/veya eğilme burulmalı burkulma** sınır durumuna göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.



Şekil 8.4 (a)Eğilmeli burkulma

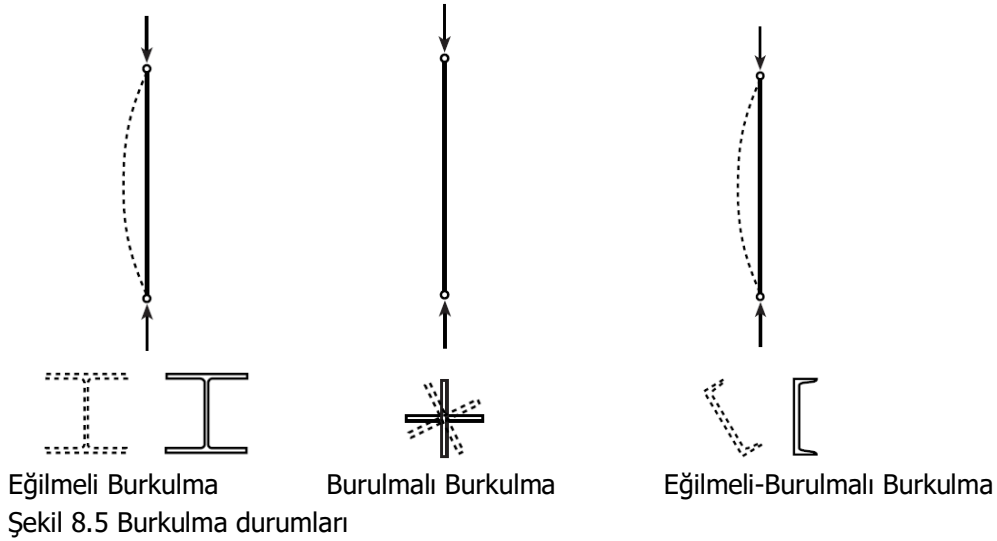
(b)Burulmalı burkulma

(c)Eğilmeli burulmalı burkulma

Tasarım basınç kuvveti dayanımı(YDKT için)= $\phi_c P_n$  ( $\phi_c = 0,90$ )

Güvenli basınç kuvveti dayanımı(GKT için)=  $P_n / \Omega_c$  ( $\Omega_c = 1,67$ )

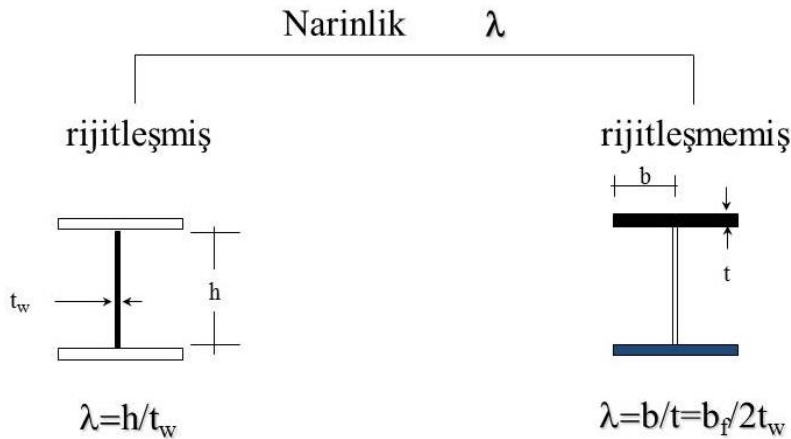
ÇYTY-2016'da tasarım açısından basınç çubukları aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.



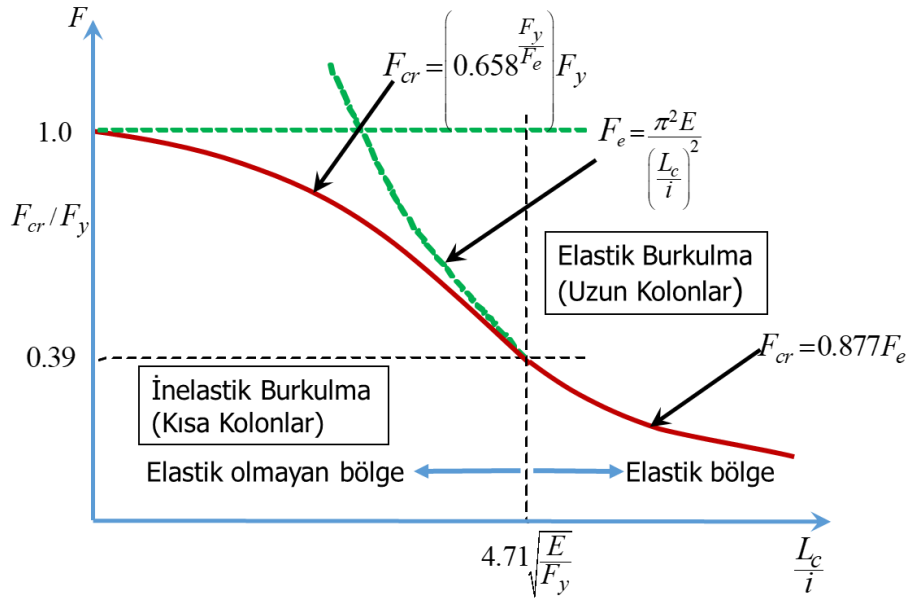
1-Eğilmeli Burkulma Sınır Durumu: Her türlü kesit tipi için geçerli sınır durumudur.

2-Burulmalı Burkulma ve Eğilmeli Burulmalı Burkulma Sınır Durumu:

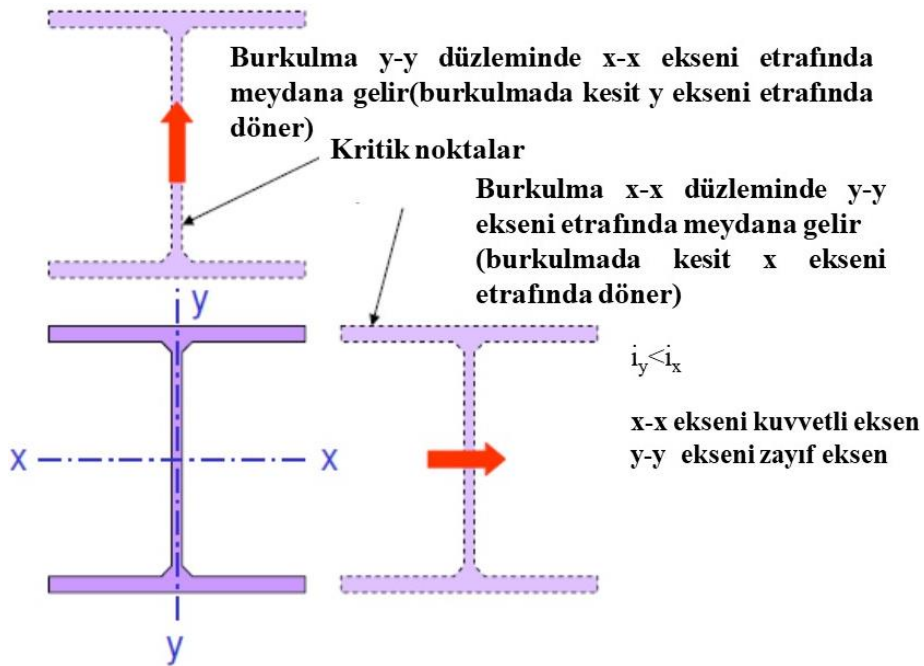
- Enkesiti tek simetri eksenli basınç elemanlarını (sırt sırta yerleştirilmiş çift korniyer, T-enkesitler, vb.),
- Enkesiti çift simetri eksenli bazı yapma basınç elemanlarını (+ şekilli yapma enkesitler)
- Simetri eksenini bulunmayan basınç elemanları
- Burulmaya karşı desteklenmeyen uzunluğu, yanal ötelenmeye karşı desteklenmeyen uzunluğunu aşan enkesiti çift simetri eksenli tüm basınç elemanları
- Kol uzunluğunun kalınlığına oranı  $b/t > 0.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  olan tek köşebentten oluşan basınç elemanları



Şekil 8.6 Rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş parçalar



Şekil 8.7 Eksenel basınç kuvveti etkisindeki çelik eleman için dayanım eğrisi



Şekil 8.8 Burkulma eksen ve düzlemi

### Geometrik, Elastik, Plastik ve Kesme Merkezleri

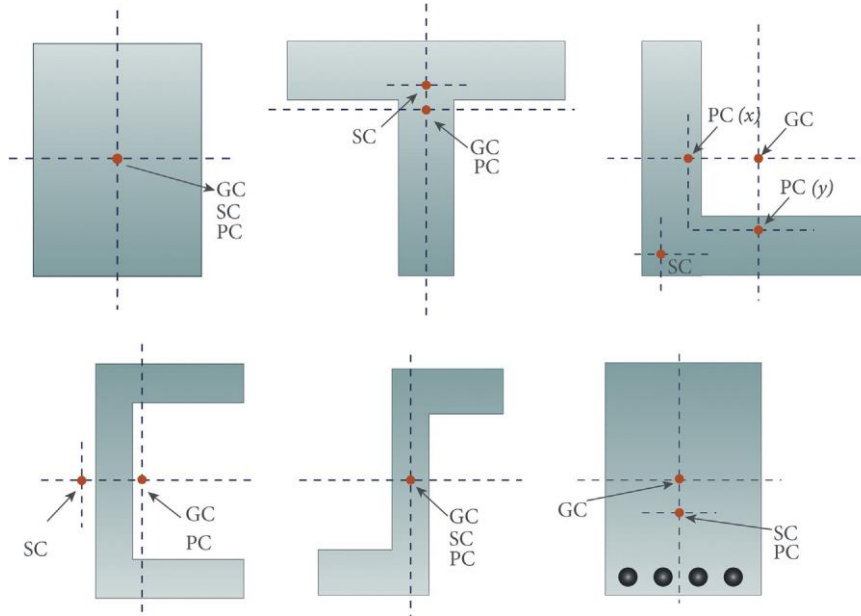
**Geometrik merkez (GC)**, bileşenlerinin malzeme özelliklerine bakılmaksızın enkesitin merkezidir. Bu, sabit kalınlığa sahip bir kesitli levha modelinin ağırlık merkezi olarak görülebilir. Bu noktadaki kesit geometrisini "dengeleyebiliriz".

**Elastik merkez (EC)** veya bazen dönüştürülmüş merkez olarak adlandırılan, en kesit bileşenlerinin malzeme elastik modül özelliklerine bağlı olarak enkesit merkezidir. Başka bir deyişle, bu, kesitin her bir bileşeninin ilgili modüler oranını ( $n$ ) kullanarak tek bir taban veya

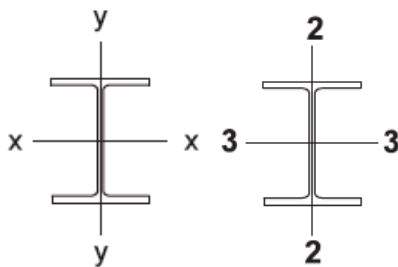
referans materyaline dönüştürüldüğü zaman, geometrik kesit merkezidir. Bu, her bir bileşenin kalınlığının, bileşenin  $n$  değerine karşılık geldiği çapraz kesitli bir levha modelinin ağırlık merkezi olarak görülebilir. Tek bir malzemedен oluşan kesitler için, elastik merkez geometrik merkez ile aynıdır.

**Plastik merkez (PC)**, enkesit bileşenlerinin malzeme akma özelliklerinden dolayı tüm kenarlardaki alanın eşit olduğu (alanın dağılımına veya konumuna bakılmaksızın) enine kesitin merkezidir. Bu temel olarak, enine kesit bileşenlerinin plastik veya akma gerilmesinin net sıfır aksel gerilme durumunu korumak için işareti değiştireceği yeri belirtir.

**Kesme merkezi (SC)**, enkesit düzlemine bir kuvvet uygulandığında, enkesitin herhangi bir şekilde dönmesinin meydana gelmediği bir noktadır. Kesme merkezi, adından da anlaşılacağı gibi, enkesitte ortaya çıkan kesme gerilmesinin merkezi ile ilgilidir. Bu nokta, kesitin sınırları içinde olabilir veya olmayabilir. Örneğin, C şeklindeki kesitler için, kesme merkezi şekil sınırlarının dışındadır. Kesme merkezi, enkesitin simetrik olduğu veya asimetrik olduğu eksen için plastik merkez ile aynı hizadadır. Örneğin, üniform bir dikdörtgen kesit için, kesme merkezi plastik merkez ile aynıdır. T kesitler için kesme merkezi,  $y$  eksenini boyunca plastik merkezle aynı hizadadır, fakat  $x$ -ekseni boyunca plastik merkezden uzaktadır. Z kesiti için, şekil her iki eksende simetrik olmasa bile, kesme merkezi her iki eksen boyunca plastik merkezle aynı hizadadır



Şekil 8.9 Enkesitlerde Geometrik, Elastik, Plastik ve Kesme Merkezler



Şekil 8.10 Eksen tanımlamaları ( $x=3$ ,  $y=2$ ,  $z=1$ )

### 8.3 KARAKTERİSTİK BASINÇ KUVVETİ "P<sub>n</sub>" HESABI

Narin olmayan enkesitli elemanlar:

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Narin enkesitli elemanlar:

$$P_n = F_{cr} A_e$$

P<sub>d</sub> Tasarım Basınç Kuvveti Dayanımı (YDKT için)

$$\phi_c P_n = P_d$$

$\phi_c = 0.90$  YDKT dayanım katsayısı.

$P_u \leq \phi_c P_n$  =Tasarım basınç kuvveti dayanımı

$P_u$  =YDKT yük katsayıları ile hesaplanmış çubuk basınç kuvveti,

P<sub>g</sub> Güvenli Basınç Kuvveti Dayanımı (GKT için)

$$P_n / \Omega_c = P_g$$

$\Omega_c = 1.67$  GKT dayanım katsayısı

$$P_a \leq \frac{P_n}{\Omega_c}$$

$P_a$  =GKT yük katsayıları ile hesaplanmış çubuk basınç kuvveti,

### 8.4 NARİN OLMAYAN ENKESİTLİ BASINÇ ÇUBUKLAR İÇİN ELASTİK BURKULMA GERİLMESİ "F<sub>e</sub>" HESABI

#### 8.4.1 Eğilmeli Burkulma Sınır Durumu

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c / i)^2}$$

#### 8.4.2 Burulmalı Burkulma, Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

##### 1. Kutu, Boru, Daire ve Dikdörtgen Kesitler

Kutu, boru, daire ve dikdörtgen kesitler burulmalı burkulma, eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu ihmal edilir. Yani, herhangi bir hesap yapılmaz

##### 2. Çift Köşebent ve T-Kesitler



$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right]$$

### 3-I-Enkesit, Çift U Enkesit için $F_e$

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{I_x + I_y} \right)$$

### 4- U-Enkesit için $F_e$

Simetri eksenini x eksenine olduğu için  $F_{ey}, F_{ex}$  olur.

$$F_e = \left( \frac{F_{ex} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ex}F_{ez}H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right]$$

### 5- Eşit Kollu Tek Köşebent

$$F_e = \left( \frac{F_{ex} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ex}F_{ez}H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right]$$

### 6-Farklı Kollu Tek Köşebent

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 \left( F_e - F_{ey} \right) \left( \frac{x_o}{i_o} \right)^2 - F_e^2 \left( F_e - F_{ex} \right) \left( \frac{y_o}{i_o} \right)^2 = 0$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(L_{cx}/i_x)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(L_{cy}/i_y)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{i}_o^2}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{i}_o^2}$$

$$\bar{i}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$A_g$ : Kayıpsız enkesit alanı.

$E$ : Yapısal çelik elastisite modülü (200000 MPa).

$G$ : Yapısal çelik kayma modülü (77200 MPa).

$H$ : Eğilme sabiti.

$K_x$ : x-ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı.

$K_y$ : y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı.

$K_z$ : Burulmalı burkulma durumunda burkulma boyu katsayısı. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla,

$K_z = 1.0$  olarak alınabilir.

$L_{cx}$  : x-ekseni etrafında burkulma durumunda burkulma boyu ( $=K_x L_x$ ).

$L_{cy}$  : y-ekseni etrafında burkulma durumunda burkulma boyu ( $=K_y L_y$ ).

$L_{cz}$ : z-ekseni (boyuna) etrafında burkulma durumunda burkulma boyu ( $=K_z L_z$ ).

$K$ : Burkulma boyu katsayısı.

$i$ : Atalet yarıçapı.

$I_x, I_y$ : İlgili asal eksen etrafındaki atalet momenti.

$x_o, y_o$ : Kayma merkezinin ağırlık merkezine göre koordinatları.

$J$ : Burulma sabiti.

$i_o^2$ : Kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapı.

$F_e$ : Elastik burkulma gerilmesi.

$i_x$ : x-eksenine göre atalet yarıçapı.

$i_y$ : y-eksenine göre atalet yarıçapı.

$C_w$  : Çarpılma sabiti,  $C_w$ , çift simetri eksenli I-enkesitlerde,  $h_o$  başlıkların ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık olmak üzere, aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} \quad (\text{ÇYTY D-8.13})$$

T-enkesitler ve çift korniyerlerde, yukarıdaki yer alan çarpılma sabiti,  $C_w$ , terkedilerek,  $F_{ez}$ , aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$F_{ez} = \frac{GJ}{A_g i_o^2}$$

## 8.5 NARİN ENKESİTLİ BASINÇ ÇUBUKLAR İÇİN ELASTİK BURKULMA GERİLMESİ "F<sub>e</sub>" HESABI

### 8.5.1 Eğilmeli Burkulma

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c / i)^2}$$

### 8.5.2 Burulmalı Burkulma, Eğilmeli-Burulmalı Burkulma

#### 1. Kutu, Boru, Daire ve Dikdörtgen Kesitler

Kutu, boru, daire ve dikdörtgen kesitler burulmalı burkulma, eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu ihmal edilir. Yani, herhangi bir hesap yapılmaz

#### 2. I-Enkesit, Çift U

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(L_{cy})^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{I_y + I_x} \right)$$

#### 3. U-Enkesit

$$F_e = \left( \frac{F_{ex} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ex}F_{ez}H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right]$$

#### 4. Çift Köşebent Ve T-Kesitler

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right]$$

#### 5. Eşit Kollu Tek Köşebent

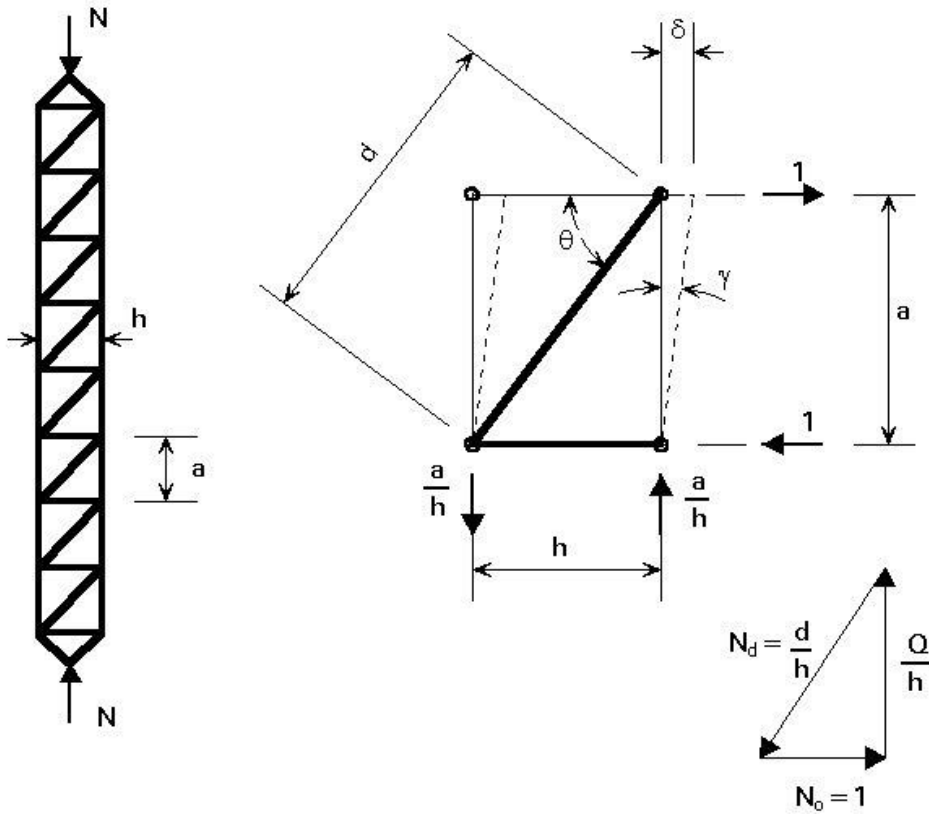
$$F_e = \left( \frac{F_{ex} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ex}F_{ez}H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right]$$

#### 6. Farklı Kollu Tek Köşebent

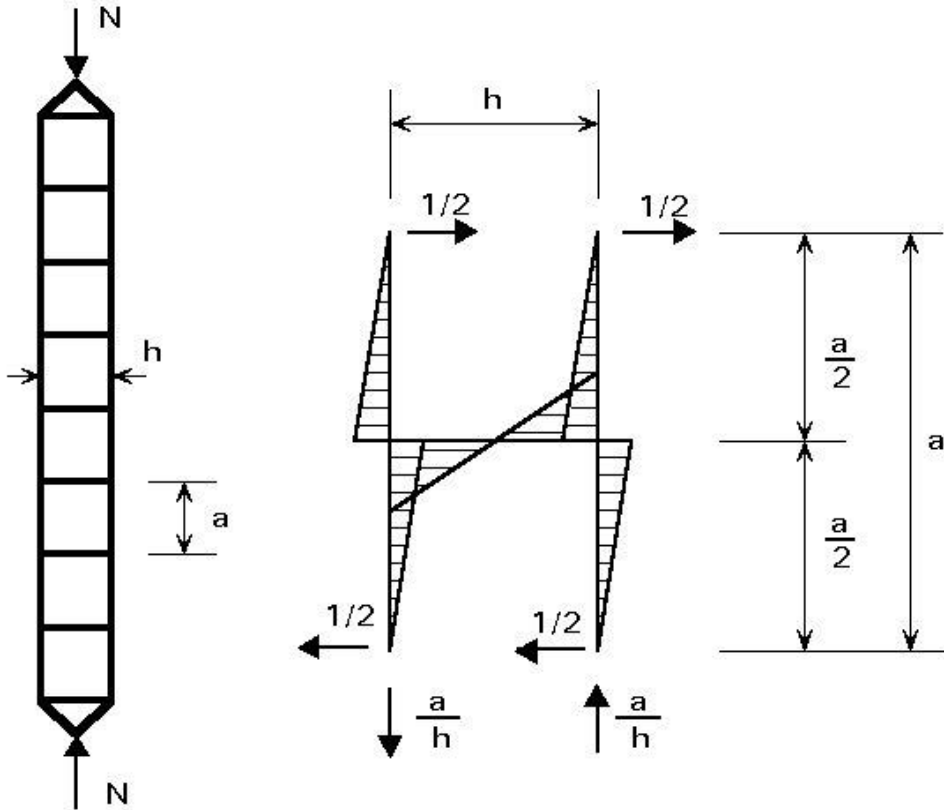
$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 \left( F_e - F_{ey} \right) \left( \frac{x_o}{i_o} \right)^2 - F_e^2 \left( F_e - F_{ex} \right) \left( \frac{y_o}{i_o} \right)^2 = 0$$

## 8.6 TEK KORNİYERDEN OLUŞAN BASINÇ ELEMANLARI

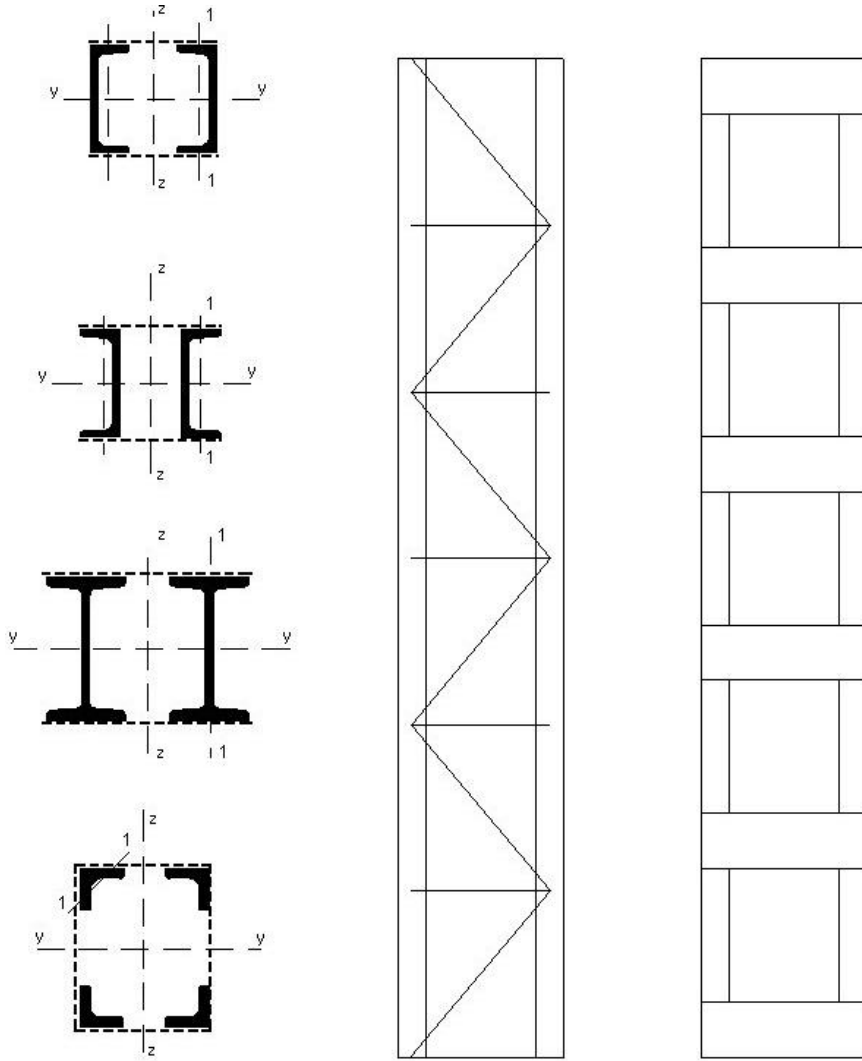
## 8.7 ÇOK PARÇALI BASINÇ ÇUBUKLARI



Şekil 8.11. Kafes Bağlantılı(Laced) Çok Parçalı Basınç Çubukları

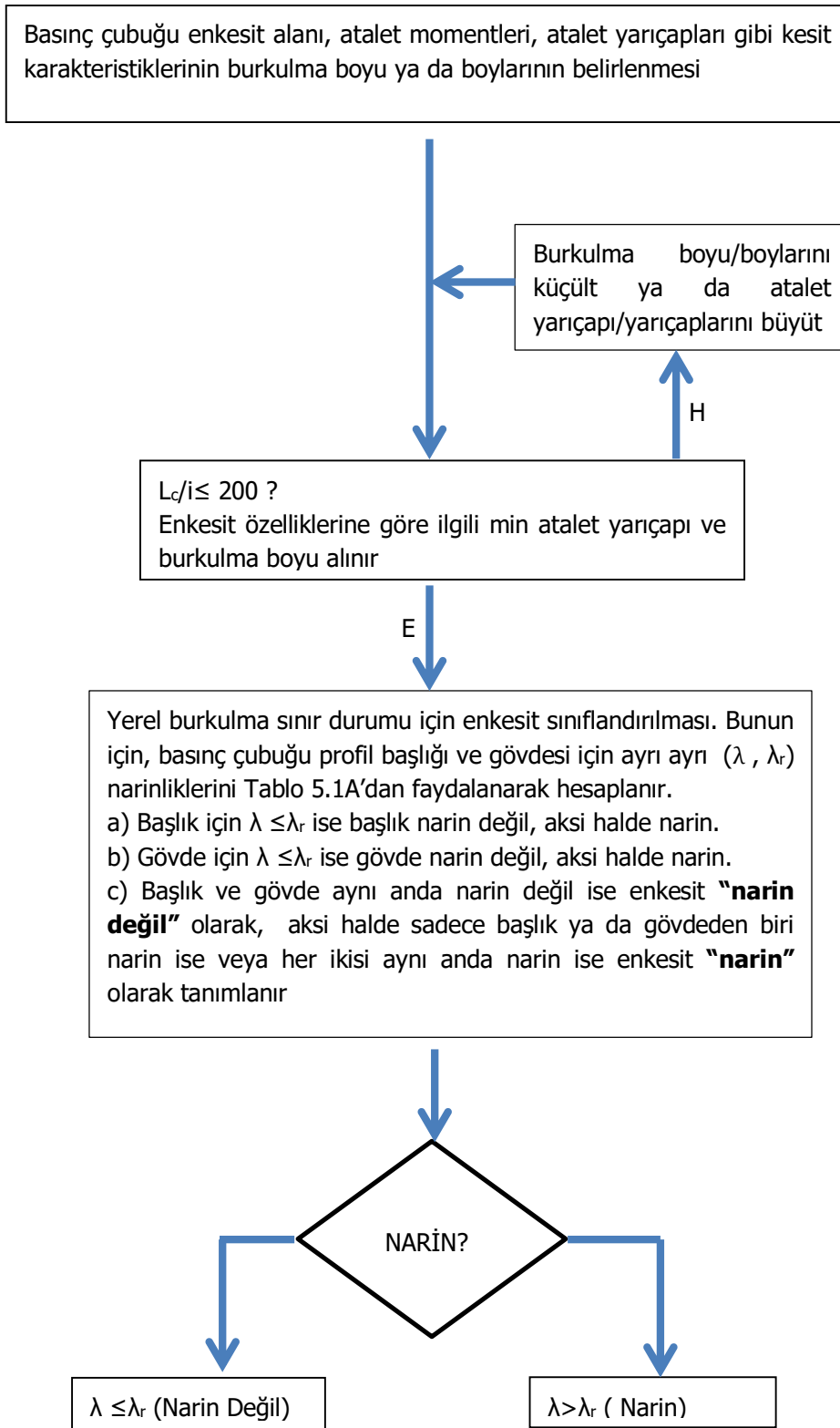


Şekil 8.12. Çerçeve Bağlantılı(Battaned) Çok Parçalı Basınç Çubukları

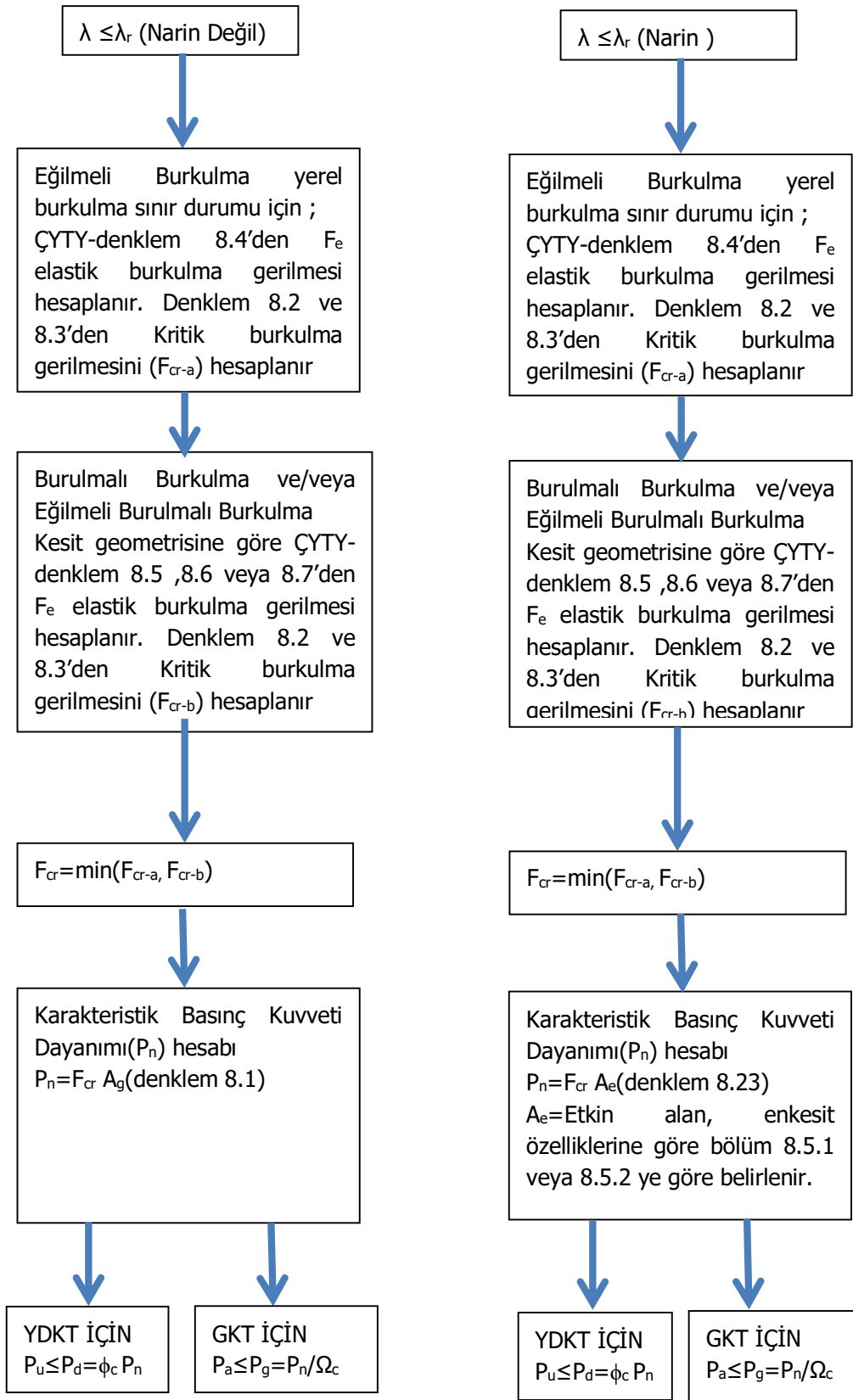


Şekil 8.13 Çok Parçalı Basınç Çubuğu Örnekleri

## 8.8. TEK PARÇALI BASINÇ ÇUBUKLARININ ÇÖZÜM ŞEMASI



Şekil 8.14 Tek Parçalı Basınç Çubuklarının Çözüm Şeması

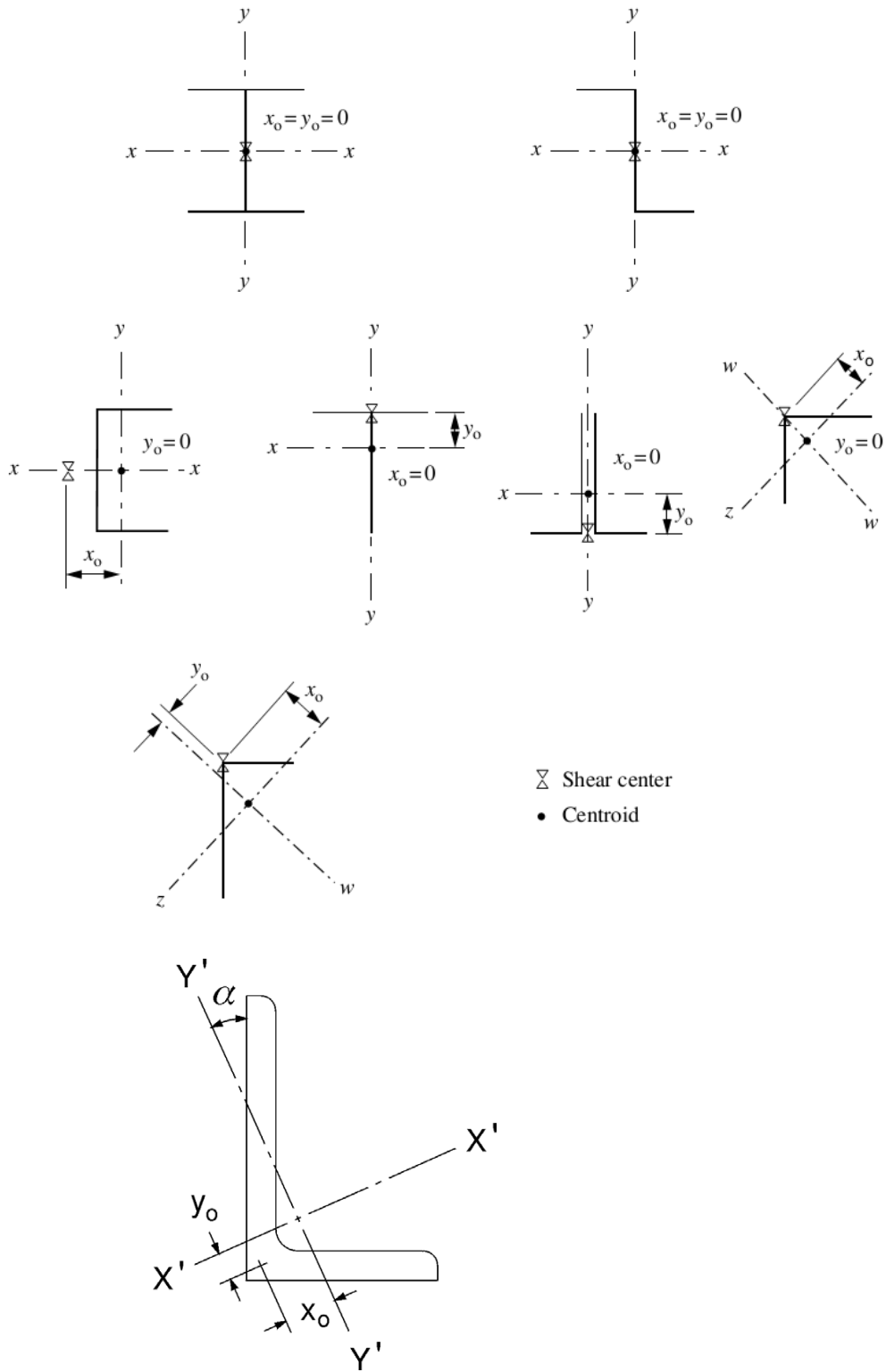


Şekil 8.14 (devam)



Tablo 8.1. Bazı enkesitler için burulma ve çarpma sabiti, kayma merkezi değerleri

	$J = \frac{2bt_f^3 + ht_w^3}{3}$ $C_w = \frac{t_f h^2 b^3}{24}$	<p>If <math>t_f = t_w = t</math>:</p> $J = \frac{t^3}{3}(2b+h)$
	$e = h \frac{b_1^3}{b_1^3 + b_2^3}$ $J = \frac{(b_1 + b_2)t_f^3 + ht_w^3}{3}$ $C_w = \frac{t_f h^2}{12} \frac{b_1^3 b_2^3}{b_1^3 + b_2^3}$	<p>If <math>t_f = t_w = t</math>:</p> $J = \frac{t^3}{3}(b_1 + b_2 + h)$
	$e = \frac{3b^2 t_f}{6bt_f + ht_w}$ $J = \frac{2bt_w^3 + ht_f^3}{3}$ $C_w = \frac{t_f b^3 h^2}{12} \frac{3bt_f + 2ht_w}{6bt_f + ht_w}$	<p>If <math>t_f = t_w = t</math>: <math>e = \frac{3b^2 t_f}{6b+h}</math></p> $J = \frac{t^3}{3}(2b+h)$ $C_w = \frac{tb^3 h^2}{12} \frac{3b+2h}{6b+h}$
	$J = \frac{2bt_f^3 + ht_w^3}{3}$ $C_w = \frac{b^3 h^2}{12(2b+h)^2} \times [2t_f(b^2 + bh + h^2) + 3t_w bh]$	<p>If <math>t_f = t_w = t</math>:</p> $J = \frac{t^3}{3}(2b+h)$ $C_w = \frac{tb^3 h^2}{12} \frac{b+2h}{2b+h}$
	$e = 2a \frac{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha}{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}$ $J = \frac{2a\alpha^3}{3}$ $C_w = \frac{2ta^5}{3} \times \left[ \alpha^3 - \frac{6(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)^2}{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha} \right]$	<p>If <math>2\alpha = \pi</math>:</p> $e = \frac{4a}{\pi} \quad J = \frac{\pi a t^3}{3}$ $C_w = \frac{2ta^5}{3} \left( \frac{\pi^3}{8} - \frac{12}{\pi} \right) = 0.0374ta^5$



Şekil 8.15

NOT:

ÇYTY-2016/8.3 "Tek Korniyerden Oluşan Basınç Elemanları" ve ÇYTY-2016/8.4 "Çok Parçalı Basınç Çubukları" bölümleri **sınıfta detaylı olarak anlatıldığı** için burada ayrıca verilmeyecektir. Tüm ders notlarında verilen formüllerde yazım hataları olma ihtimaline karşın ÇYTY-2016 esas alınacaktır