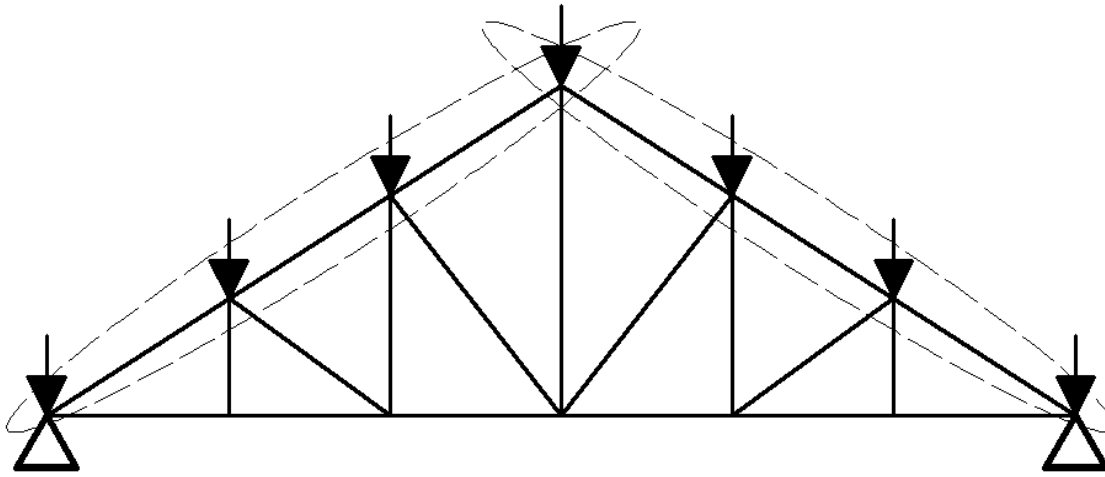


# BASINÇ ÇUBUKLARI

# Tanım:

- Boyuna doğrultuda aksenal basınç kuvveti taşıyan elemanlara **“Basınç Çubuğu”** denir.
- Basınç çubukları, sadece aksenal basınç kuvvetine maruz kalırlar.
- Bu çubuklar üzerinde **“Eğilme ve Kesme”** etkileri yoktur.



**Kafet sistemin üst başlık çubuklarının tamamı verilen yükleme altında Basınç çubuğu olarak çalışır**

*Düzlem kafes sistemin üst başlık çubukları düşey yükler altında basınca çalışır.*





*Kemer formunda elik kpr uygulaması: Kpr platformundaki Düşey yüklerden dolayı kolonlar (iki ucu mafsallı) ve kemer sistemi basınca çalışır*



- Basınç çubuklarında, elemana etki eden aksenal basınç kuvveti, elemanın emniyetle taşıyabileceği yük değerinin üzerine çıktığında, eleman doğrusallığını kaybederek eğilmeye başlar, bu olaya “***Basınç Çubuğunun Burkulması***” denilir.
- Burkulma bir *stabilite* problemidir.
- Basınç çubuklarının hesap ve tahkikleri *burkulmaya* göre yapılır.



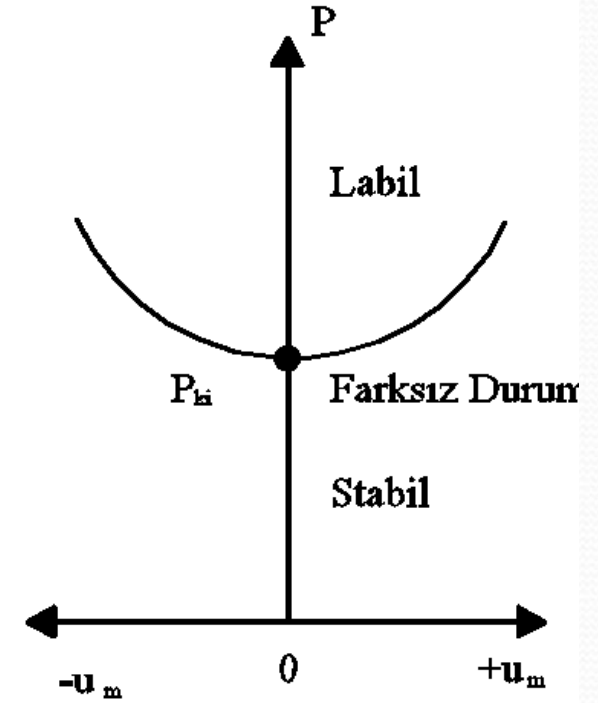
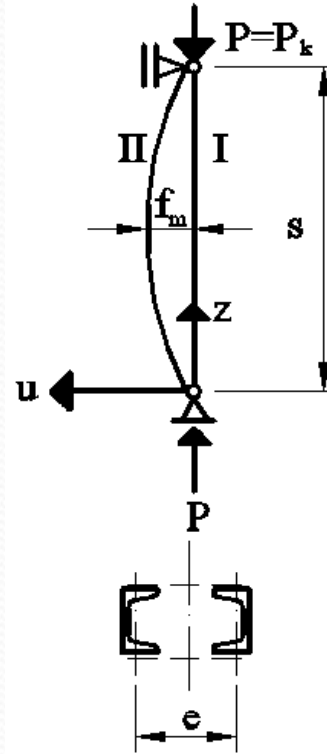
- *Basın çubuklarında perçin veya civatalar için açılan delikler kesit alanından düşülmez. Tüm kesitin (birleşim elemanları da dahil) basınç yükü aldığı kabul edilir. Dolayısıyla hesaplarda brüt kesit değerleri kullanılır.*

- Ülkemizde Basınç çubuklarının tasarımında yaygın olarak DIN 4114 ve TS 648 şartnameleri kullanılmaktadır, **(Bölüm 3.2)**.
- Bu şartnameye göre Basınç çubuklarının hesabı **“w” Metodu** ile yapılır.
- **“Burkulma katsayıları”** yöntemi denilen bu yöntem sadece **St 37** ve **St 52** çelikleri için geçerlidir.

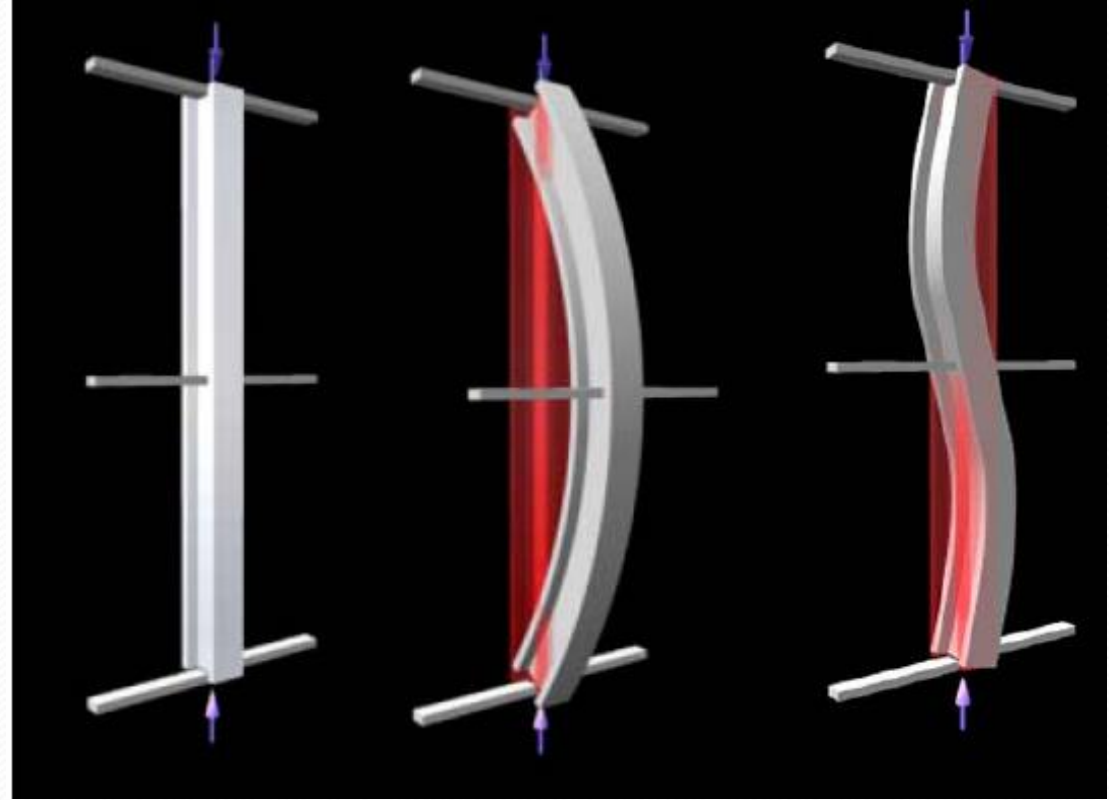


➤ *İdealize edilmiş basınç çubuklarının burkulma sonucu göçmeleri, bir mukavemet sınırının aşılmasıyla değil bir stabilite sınırının aşılmasıyla gerçekleşir.*

- ✓  $P < P_{kir} \Rightarrow$  Kararlı Denge Durumu
- ✓  $P = P_{kir} \Rightarrow$  Farksız Denge Durumu
- ✓  $P > P_{kir} \Rightarrow$  Kararsız Denge Durumu







a)

b)

c)

**İki ucu mafsallı kolonun kuvvetli ve zayıf eksenler etrafında burkulması:**

a. Burkulmamış çubuk

b. Kuvvetli eksene dik burkulmuş çubuk

c. Zayıf eksene dik burkulmuş çubuk

# Burkulma Yüğü ?

Malzemesi Hooke kanununa uyan (Lineer Elastik), iki ucu mafsallı, prizmatik bir çubukta, burkulmayı başlatan yüğü “*Kritik Burkulma Yüğü*” veya “*Euler Burkulma Yüğü*” denir.

*İki ucu mafsallı bir elemanda burkulma yüğü:*

$$P_{kritik} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_b^2}$$

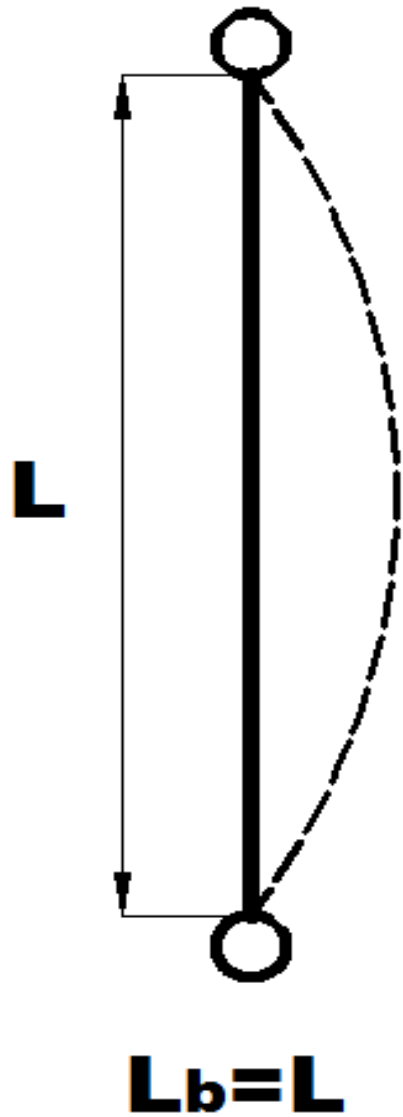
**P<sub>Kritik</sub>** = Çubuğun taşıyabileceği Kritik basınç yüğü

**E** = Çelik malzemenin Elastiklik modülü, (E=2100 000 kg/cm<sup>2</sup>)

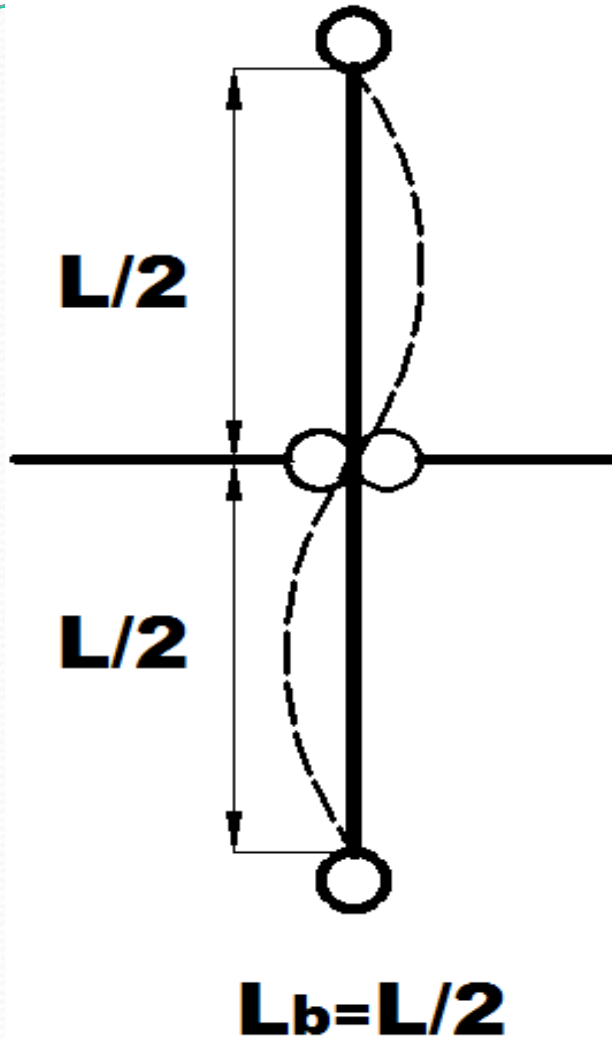
**I** = Kesitin atalet momenti, (cm<sup>4</sup>)

**L<sub>b</sub>** = Çubuğun burkulma boyu





$$P_{kritik} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2}$$

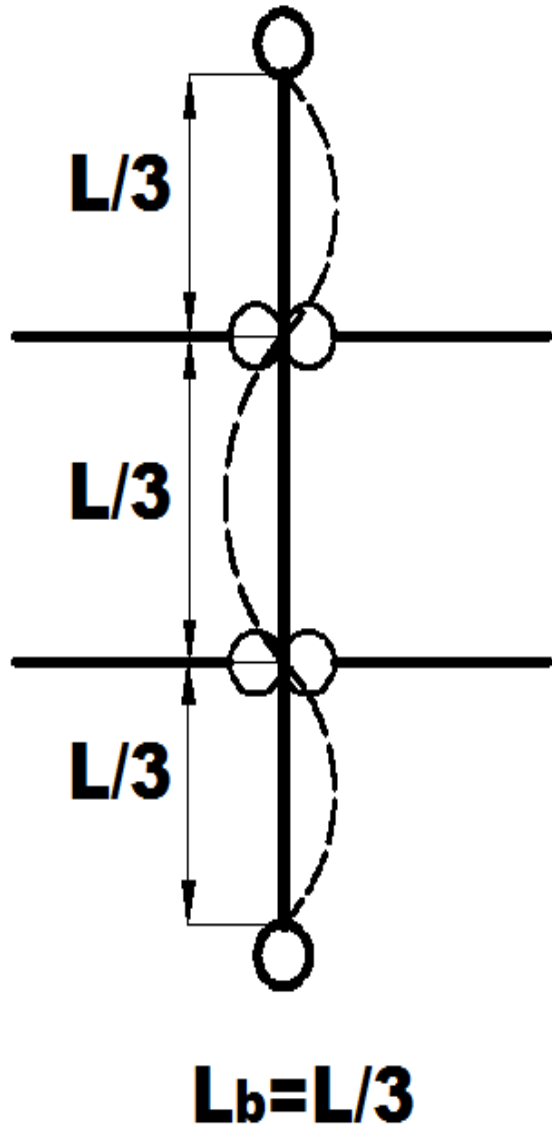


$$P_{kritik} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2}$$

İfadesinde  $L_b = L/2$  yazılırsa;

$$P_{kritik} = 4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2}$$





$$P_{kritik} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2}$$

İfadesinde  $L_b = L/3$  yazılırsa;

$$P_{kritik} = 9 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2}$$

## Kritik (Euler) Burkulma Gerilmesi ?

**P<sub>kritik</sub>**- yükü altında çubukta oluşan burkulma gerilmesinin değeri ise;

$$\sigma_{Ki} = \frac{P_{Kritik}}{F} = \frac{\pi^2 * EI}{F * L_b^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} i^2 = \frac{I}{F} \\ \lambda = \frac{L_b}{i} \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_{Ki} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2}$$

**$\sigma_{ki}$**  = Çubuğun taşıyabileceği **Kritik burkulma gerilmesi**

**F** = Basınç Çubuğu **kesit alanı** (cm<sup>2</sup>)

**i** = Basınç çubuğunun **atalet yarıçapı**

**$\lambda$**  = Basınç çubuğunun **narınlığı**



# Burkulma Boyu ( $L_b$ ) ?

- ✓ Burkulma boyu; çubuk uçlarının mesnetlenme şartlarına göre değişir.
- ✓ Kafes sistemlerinde basınç kuvvetine maruz çubuklarda, burkulma ( $L_b$ ) boyları, çubukların kendi boylarına eşittir. Yani kafes çubuklarında burkulma boyu olarak çubuğun, iki düğüm noktası arasında kalan uzunluğu alınır.

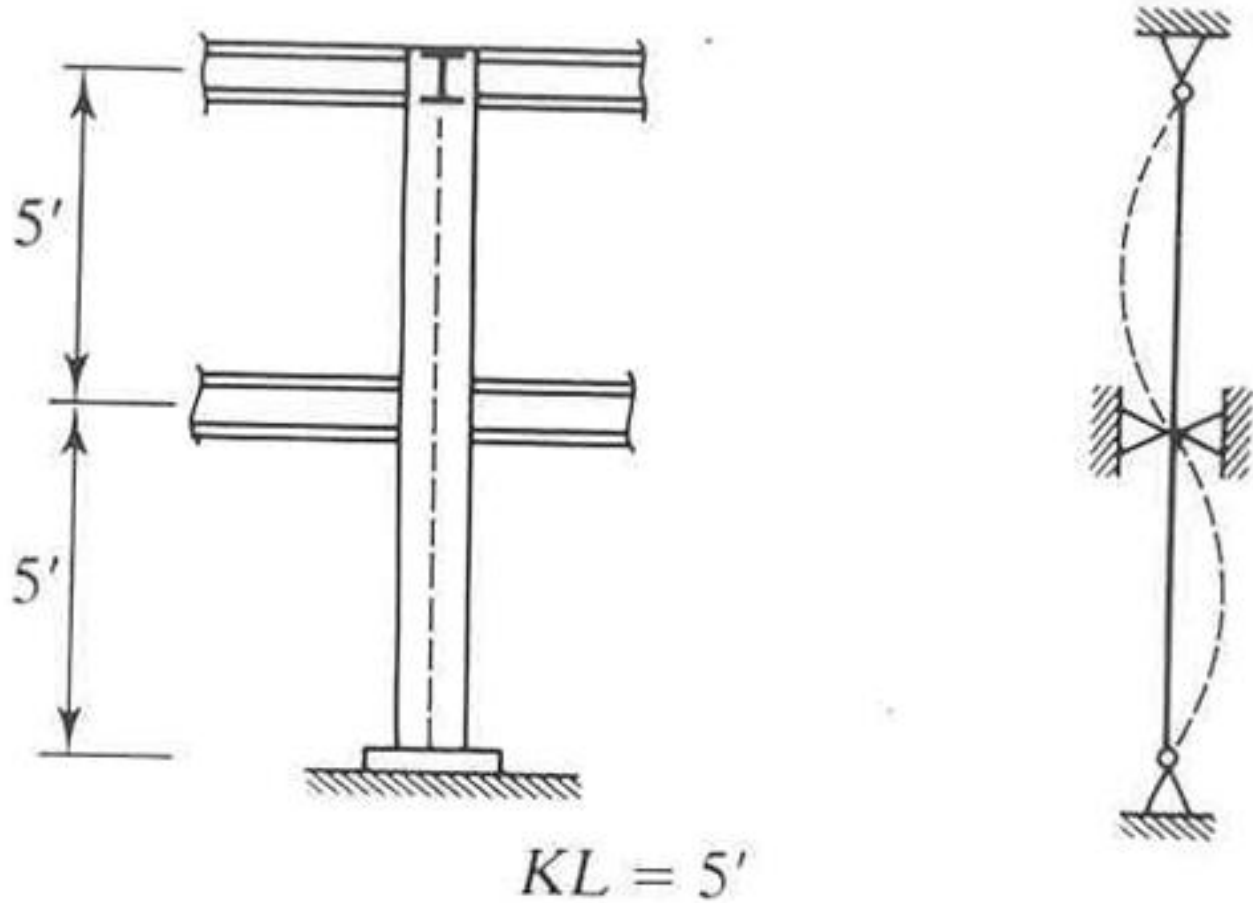
# Basınç Çubukları İçin Burkulma Boyları (TS 648)

|   |  |       |       |       |        |       |
|---|--|-------|-------|-------|--------|-------|
| <p>Kesikli çizgilerle basınç çubuğunun burkulma şekli gösterilmiştir.</p> | (a)  | (b)   | (c)   | (d)   | (e)    | (f)   |
|   |  |       |       |       |        |       |
| Teorik burkulma boyu  | 0.5 S  | 0.7 S | 1.0 S | 1.0 S | 2.0 S  | 2.0 S |
| Tavsiye edilen burkulma boyu $S_k$  | 0.65 S   | 0.8 S | 1.2 S | 1.0 S | 2.10 S | 2.0 S |
| Bilgi   | <p>  Dönme ve öteleme önlenmiş<br/>  Dönme serbest, öteleme önlenmiş<br/>  Dönme önlenmiş, öteleme serbest<br/>  Dönme ve öteleme serbest         </p> |       |       |       |        |       |





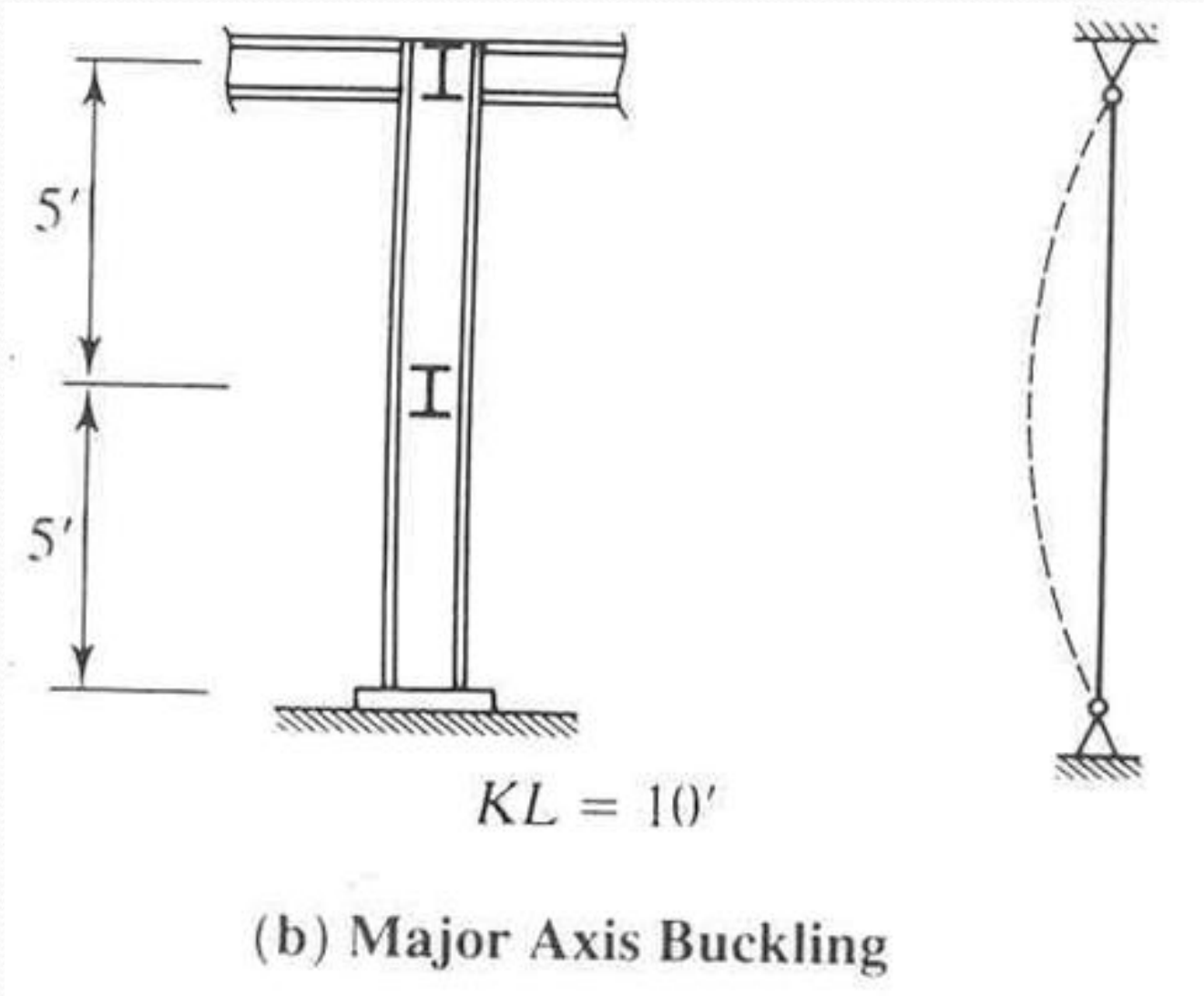
# Farklı eksenlerde burkulma boylarının belirlenmesi



(a) Minor Axis Buckling



# Farklı eksenlerde burkulma boylarının belirlenmesi



# Narinlik Katsayısı, ( $\lambda$ ) ?

- Narinlik katsayısı; Basınç çubuğunun “ $L_b$ ” burkulma boyunun “ $i$ ” Atalet yarıçapı değerine oranı olarak ifade edilir. Her eksen takımı için ayrı ayrı hesaplanır.

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_x = \frac{L_x}{i_x}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_y = \frac{L_y}{i_y}$$

$L_x$  ,  $L_y$  = Çubuğun x ve y eksenlerine göre burkulma boyları

$i_x$  ,  $i_y$  = Çubuk en kesitinin x ve y eksenlerine göre atalet yarı çapları



## Narinlik için kabul edilen en büyük değerler;

- $\lambda \leq 150$  ➤ Yol ve demiryolu köprülerinde,
- $\lambda \leq 200$  ➤ Yol ve demiryolu köprülerinin sadece tali kuvvete çalışan bağlantı çubukları ve genel olarak hafif çelik yapılarda,
- $\lambda \leq 250$  ➤ Çelik Yüksek yapılarda,
- $\lambda \leq 20$  ➤ Burkulma tahkiki gerekmez ve  $w=1,0$  alınır.

Basınç çubukları, narinliklerine bağlı olarak, aşırı yüklemelerde üç farklı göçme davranışı gösterirler;

$\lambda_p$  = Plastik Narinlik Sınırı, (Kritik Narinlik)

Elastik burkulma; Yüksek narinlikli elemanlarda oluşur ( $\lambda \geq \lambda_p$ )

Elastik olmayan burkulma; Orta narinlikli elemanlarda oluşur  
( $20 \leq \lambda < \lambda_p$ )

Basınç Ezilmesi; Düşük narinlikli elemanlarda (kısa kolonlarda) oluşur  
( $\lambda < 20$ ).

Elastik burkulma da kolon ani olarak büyük deplasman yaparak göçer.

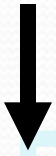


## ❖ *Çok Katlı Çelik Yapı Çerçeve Kolonlarında;*

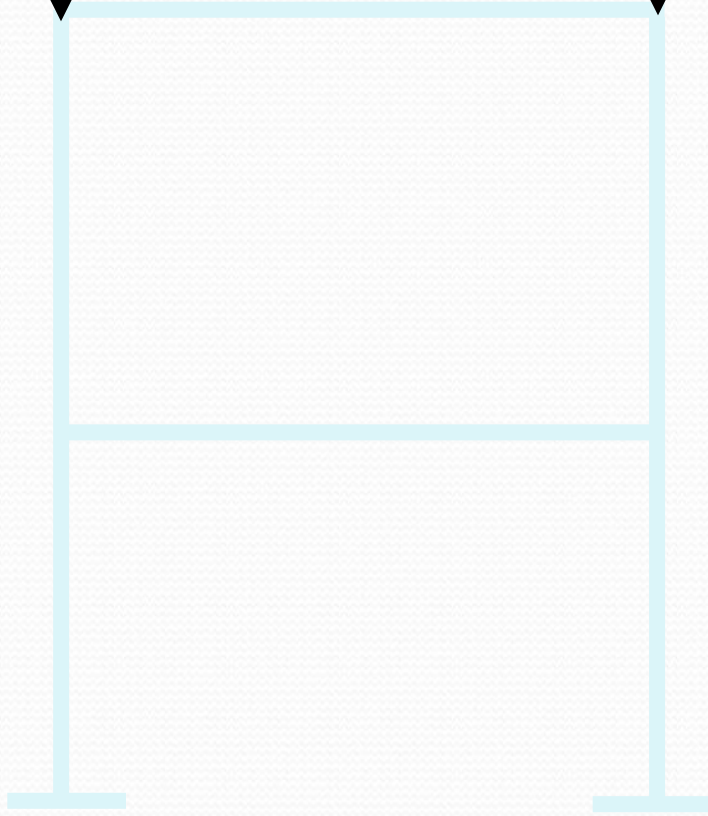
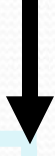
- Çok katlı bir yapının çerçevesini oluşturan kolonlarda, alt ve üst düğüme bağlı olan kolonun mesnet şartları farklıdır.
- Çubuğun bağlandığı düğümdeki rijitliklerin oranına göre değişen bir “**G**” katsayısının hesabı yapılır.
- Kolonun iki ucundaki **GA** ve **GB** değerleri elde edildikten sonra, yatay ötelenmenin önlenmiş veya önlenmemiş olması durumuna göre, ilgili nomogramdan “**k**” değeri belirlenir. Burkulma boyu “**L<sub>b</sub> = k \* L**” olarak belirlenir.



$$P_{\text{kritik}} \leq P$$



$$P_{\text{kritik}} \leq P$$

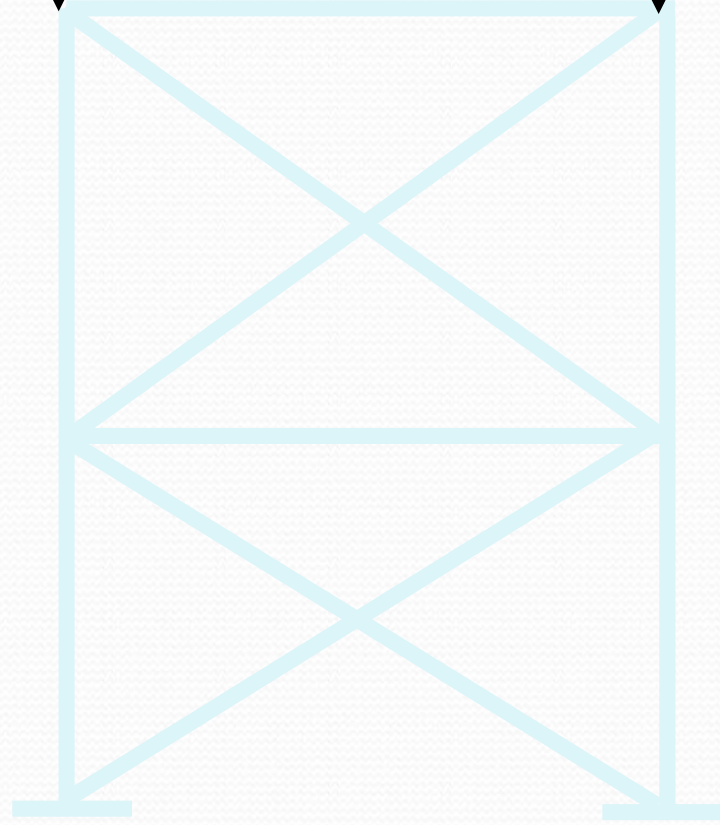


**Yatay Ötelenme Önlenmemiş**

$$P_{\text{kritik}} \leq P$$



$$P_{\text{kritik}} \leq P$$



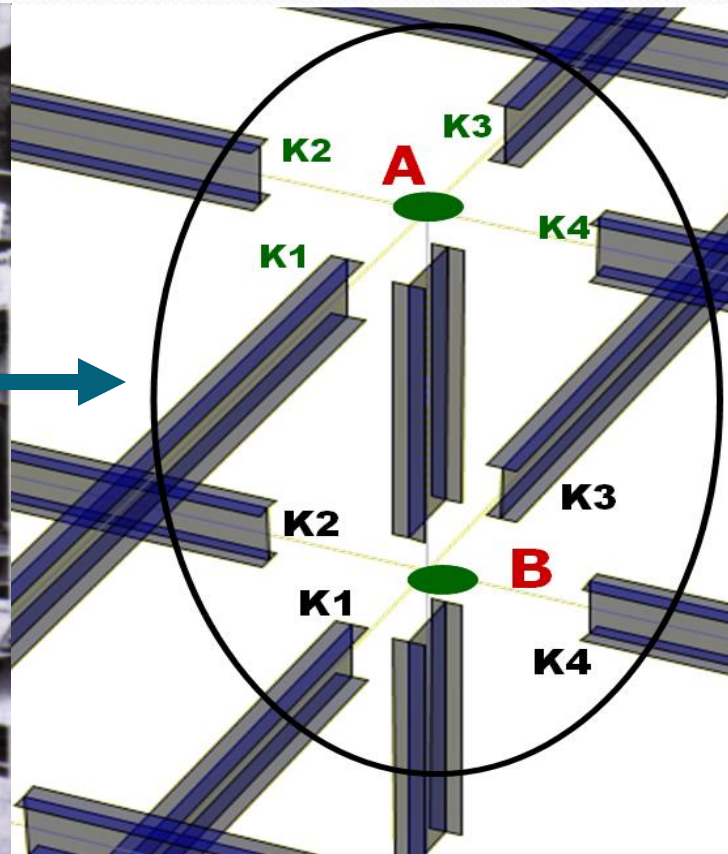
**Yatay Ötelenme Önlenmiş**













$$G = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_g}{L_g}} \left. \right\} \Rightarrow \sum \left( \frac{I_c}{L_c} \right); \text{Kolon Rijidligi} \quad ; \quad \sum \left( \frac{I_g}{L_g} \right); \text{Kiriş Rijidligi}$$

### **Burada ;**

**G** = Burkulma boyu hesabında kullanılan katsayı,

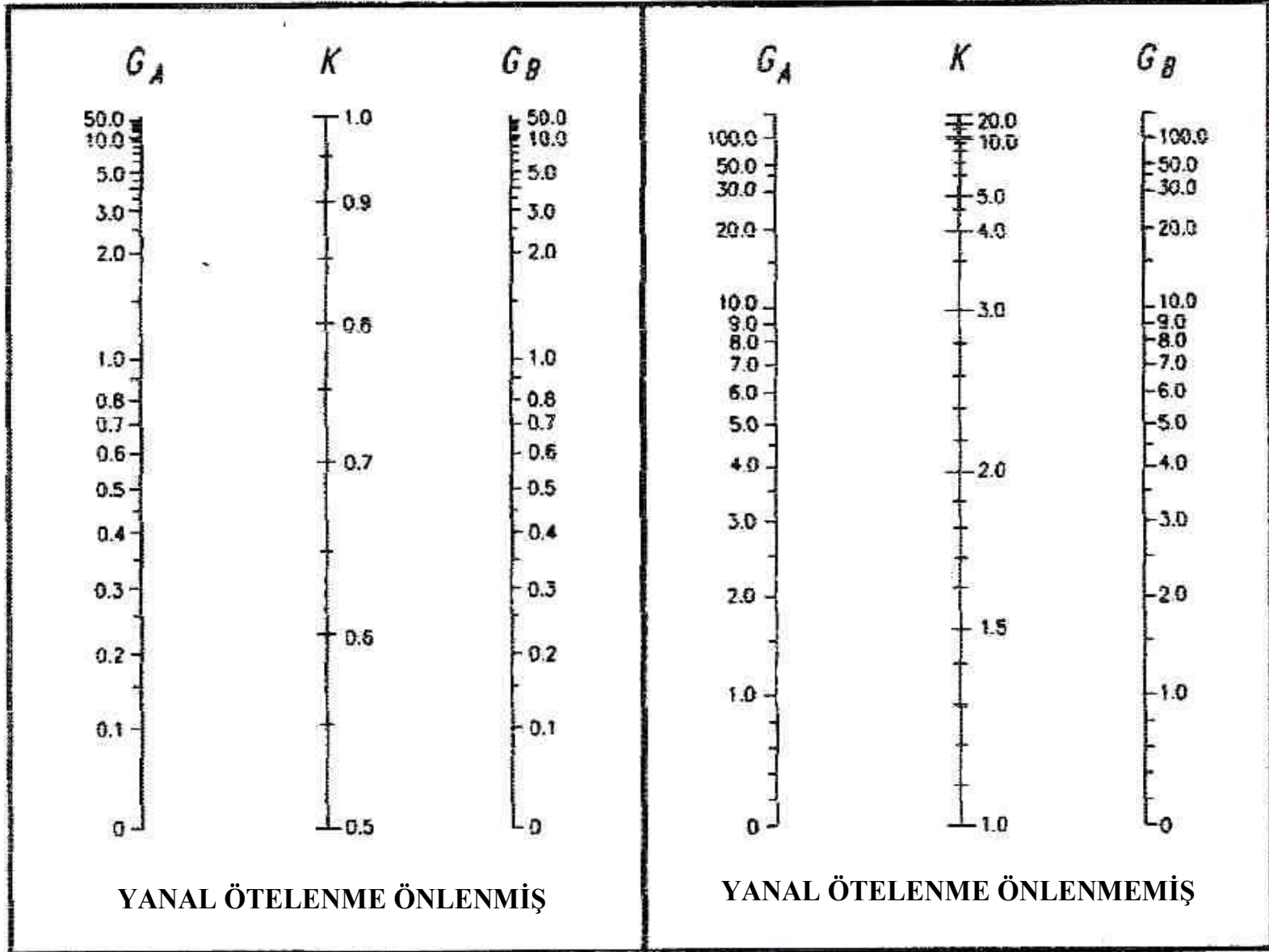
**I<sub>c</sub>** = Göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolonların atalet momenti (cm<sup>4</sup>)

**I<sub>g</sub>** =Göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kirişlerin atalet momenti (cm<sup>4</sup>)

**L<sub>c</sub>** =Göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış kolonların boyu (cm),

**L<sub>g</sub>** =Göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış kirişlerin boyu (cm),

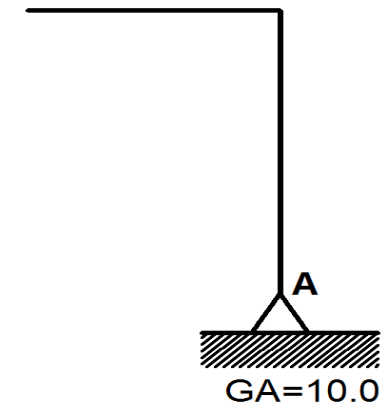
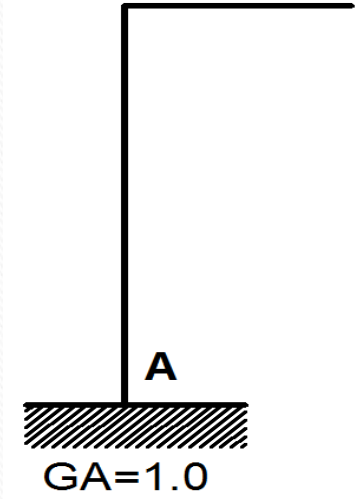
# Çerçeveser için geliştirilen Nonogramlar (TS 648)





➤ Kolon temele rijit olarak bağlanmışsa, o noktada hesap yapılmadan direk olarak **G=1.0** alınmalıdır, (TS 648) .

➤ Kolon temele tamamen dönebilir, bir mafsalla bağlı ise **G = 10.0** alınmalıdır, (TS 648) .



# ❖ Basınç Çubuklarının Gruplandırılması

Basınç çubukları teşkil ediliş şekillerine göre;

1. Tek parçalı basınç çubukları
2. Parçaları sürekli olarak birleştirilen çubuklar
3. Çok parçalı basınç çubukları



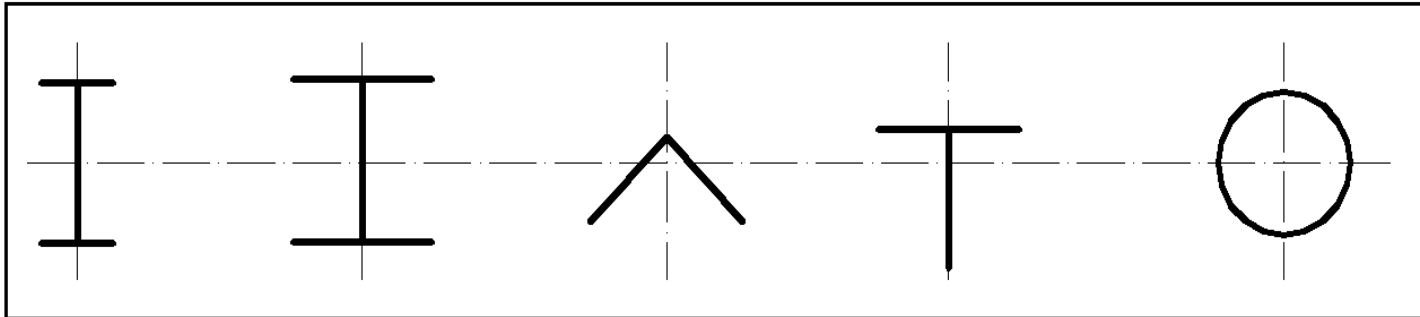
# 1. Tek Parçalı Basınç Çubukları

Bu tür basınç çubukları tek profilden oluşur.

Bu çubuklarda basınç gerilmesi tahkikleri TS 648 Bölüm 3.2.2 de verilen iki farklı yöntemle yapılabilir. Bu yöntemler;

➤ *Burkulma Sayıları Metodu,*

➤ *Narinlik metodu*



## ❖ *Burkulma Sayıları Yöntemi İle Basınç Gerilmesi Tahkiki*

- ✓ Sadece **St 37** ve **St 52** çelikleri için geçerlidir. Diğer çelik türleri için uygulanmaz. Çünkü; diğer çelik türleri için geliştirilmiş “**w-Burkulma Katsayıları**” tabloları yoktur.









## ❖ *Burkulma Katsayıları ile Basınç Gerilmesi Tahkikinde;*

$$\sigma = w \cdot \frac{P}{F} \leq \sigma_{\zeta-em} \quad ; \quad \left( w = \frac{\sigma_{\zeta-em}}{\sigma_{b-em}} \right)$$

*Burada;*

**P** = Çubuğa etkiyen en büyük basınç kuvveti, (Kgf)

**F** = Basınç çubuğunun en kesit alanı, (cm<sup>2</sup>)

**$\sigma_{\zeta-em}$**  = Yükleme ve malzemeye göre Çekme Emniyet Gerilmesi, (Kgf/cm<sup>2</sup>)

**w** = Narinliğine ( $\lambda$ ) bağlı olarak burkulma katsayısı (Çizelge 6 ve 7)

**$\sigma_{b-em}$**  = Basınç emniyet gerilmesi, (TS 648-Çizelge 8 den alınır)

**$\lambda$**  = Basınç çubuğunun narinliği, ( $\lambda$ ,  $\lambda_x$  ve  $\lambda_y$  den büyük olanıdır)

## ❖ *Narinlik Dikkate Alınarak Basınç Emniyet Gerilmelerinin Tahkiki*

➤  $\lambda < \lambda_P$  ise, Basınç Emniyet Gerilmesi;

$$\lambda < \lambda_p \Rightarrow \sigma_{b-em} = \frac{\left[ 1 - \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \cdot \sigma_a}{n}$$

➤  $\lambda \geq \lambda_P$  ise, Basınç Emniyet Gerilmesi;

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{b-em} = \frac{1}{n} \cdot \sigma_{ki} \\ \lambda \geq \lambda_p \Rightarrow n = 2,5 \\ \sigma_{ki} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \\ E = 2,1 \cdot 10^6 \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_{b-em} = \frac{1}{2,5} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{8290000}{\lambda^2}$$



$$\lambda < 20 \Rightarrow n = 1,67 ; \sigma_{b-em} = \sigma_{\zeta-em}$$

$$20 \leq \lambda < \lambda_p \Rightarrow n = 1,5 + 1,2 \cdot \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0,2 \cdot \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3$$

$$\lambda \geq \lambda_p \Rightarrow n = 2,5$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_p}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0,5 \cdot \sigma_a}} = \frac{6438,4}{\sqrt{\sigma_a}}$$

$$St37 \Rightarrow \sigma_a = 2400 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \lambda_p = 131,40$$

$$St52 \Rightarrow \sigma_a = 3600 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \lambda_p = 107,30$$

**n** = Güvenlik Katsayısı,

**E** = Elastisite modülü, (Tüm çelikler için  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$  dir)

**$\sigma_{b-em}$**  = Basınç Emniyet Gerilmesi, ( $\text{kg/cm}^2$ )

**$\lambda$**  = Çubuğun narinliği

**$\lambda_p$**  = Plastik Narinlik Sınırı, (Kritik Narinlik)

**$\sigma_a$**  = Çeliğin Akma Sınırı, ( $\text{kg/cm}^2$ )

- Yukarıdaki formüller kullanılarak, çubuk için hesaplanan  $\sigma_{b-em}$  (**basınç emniyet gerilmesi**) değerinin,  $\lambda$  çubuk narinliğine ve çelik sınıfına bağlı olarak **TS 648 Çizelge 8** de verilen  $\sigma_{b-em}$  değerinden daha küçük olması gerekir. Bu şart sağlanırsa çubuk kesiti etki eden yükü taşımada yeterlidir. Aksi durumda kesit büyütülmelidir.



## ➤ ***Tek Parçalı Basınç Çubuklarının Hesap Adımları***

Burada üç farklı problem vardır;

- **Problem.1:** En kesit ve kesite etki eden aksenal basınç kuvveti bellidir. Kesitin yeterliliğinin tahkik edilmesi istenir, (mevcut yapıların değerlendirilmesi).
- **Problem.2:** Çubuğa etki eden aksenal basınç kuvveti bellidir. Bu kuvveti emniyetli bir şekilde taşınabilmesi için gerekli çubuk kesitinin belirlenmesi istenir, (yeni yapı projelendirilmesi).
- **Problem.3:** Çubuk en kesiti bellidir. Çubuğun emniyetle taşıyabileceği yükün belirlenmesi istenir.

1. Çubuğun mesnetlenme şekline göre burkulma boyu belirlenir, ( $L_b=?$ ).
2. Başlangıç kesiti belirlenir. Bunun için burkulma olmayacakmış gibi,  $w = 1$  alınır.

$$F = F_0 \geq \frac{P}{\sigma_{\zeta - em}}$$

3. Profil seçilir. Seçilen bu profil için  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$  değerleri hesaplanır.

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{L_x \cdot k_x}{i_x}; \quad \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{L_y \cdot k_y}{i_y}$$

3.  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$  Değerlerinden büyük olanına göre, çelik malzeme cinsine göre, ilgili tablodan burkulma katsayısı ( $w$ ) alınır [ $\lambda < 20$  için  $w=1$  alınır].
4. Seçilen kesitin,

$$\sigma = \frac{w \cdot P}{F} \leq \sigma_{em}$$

Şartını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.



## 5. Eğer bu şart sağlanmıyorsa;

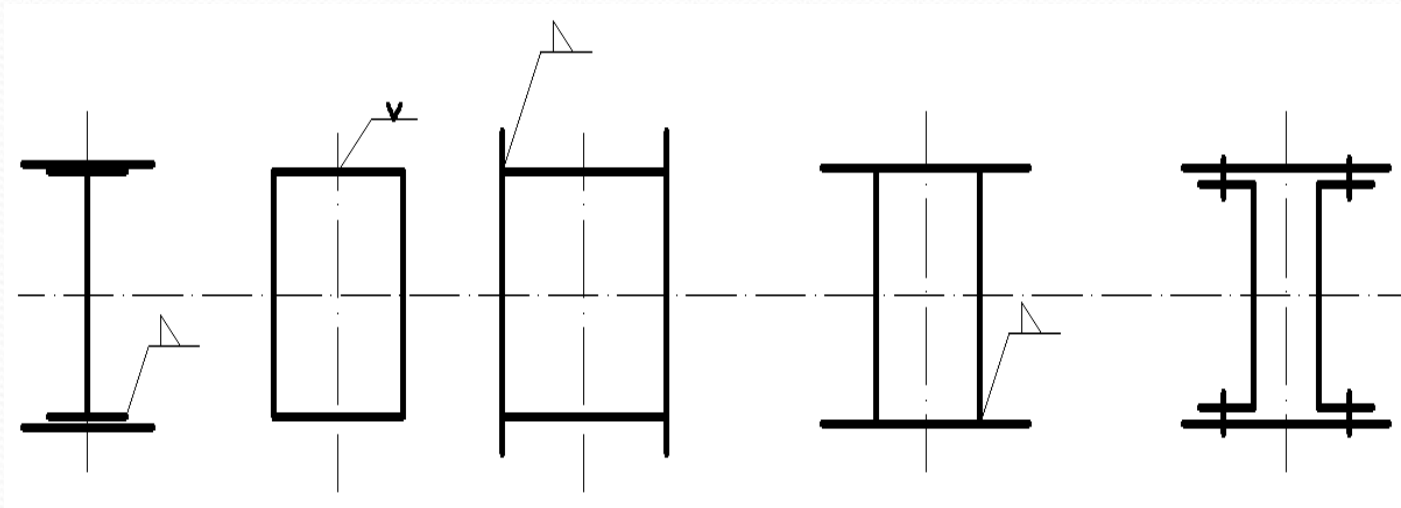
- Yeni bir kesit alanı belirlenir,

$$F_{yeni} = \frac{w \cdot P}{\sigma_{em}}$$

- Bu alana bağlı olarak yeni bir kesit seçilir,
- Yeni kesit için 3. ve 4. işlem adımları yeniden yapılır,
- Beşinci adımdaki şart sağlanana kadar bu işleme devam edilir,
- Bu şart sağlandığı takdirde işleme son verilir.

## 2. Parçaları Sürekli Birleştirilmiş olan Basınç Çubukları -Tek Parçalı Basınç Çubukları-

- Çok parçalı olmakla beraber, parçaları çubuk boyunca birbirine perçin, cıvata veya kaynakla birleştirilmiş olan çubuklar da “**Tek Parçalı**” sayılırlar.
- Bu tür basınç çubukları da “**Tek Parçalı**” basınç çubukları gibi tahkik edilir.





Bu teŝkilde;

- Çubuk kesitinin X,Y sistem eksen takımınının yeri belirlenir,
- Sistem eksenleri için  $I_x$ ,  $I_y$  atalet momentleri ve  $i_x$ ,  $i_y$  atalet yarıçapları belirlenir,
- Burkulma tahkikleri yapılır.

