

Molet ve

Molet Saplamları

MUKAVEMET Hesabı

(inceleme)

IV

[Signature]

$$\left. \begin{array}{l} St 37 \text{ için } \sigma_p = 1900 \text{ kgf/cm}^2 \\ St 52 \quad \quad \sigma_p = 2850 \text{ kgf/cm}^2 \end{array} \right\} [L 12]$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ olarak,}$$

$$St 37 \rightarrow d_p = \sqrt{\frac{\lambda^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{1900}} \rightarrow \underline{d_p = 105}$$

$$St 52 \rightarrow d_p = \sqrt{\frac{\lambda^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{2850}} \rightarrow \underline{d_p = 85}$$

bulunur.

4- Kolların, omega (ω) yöntemine göre kontrolü ;

Mustafa SAVCI, hocamdan [L 1] alınmıştır.

Çelik yapılardaki basıyıcı çalışan çubukların kritik yüklerini hesaplanmadan ω yönteminde yararlanılır. Bu yöntemde çubuklar, basma zorlanmasındaki gibi hesaplanır, ancak çubuğa etkiyen yük yerine, ω burkulma şarpanı ile büyütülmüş bir yük alınır. Çubuğun narınlığı arttıkça, burkulma tehlikesi ön plana çıkacağından bu durum ω şarpanının d ile birlikte artmasını gerektirir.

$$\sigma_w = \frac{\omega \cdot F}{A} \leq \sigma_{bem.} \quad (57)$$

Burkulma,

 σ_w - Basma zorlanması w - Burkulma şarpanı (Klambuş sayısı) F - Basma kuvveti (Kol'a etkileyen kuvvet) A - Kesit alanı (Kol kesit alanı)St 37 için $\sigma_{bem} = 140 \text{ N/mm}^2$ St 52 .. $\sigma_{bem} = 210 \text{ N/mm}^2$ olup w değerleri St 37 (Fe 37) ve

St 52 (Fe 52) çelikleri için Tablo 5 de

verilmiştir (w , sadece bu çelikler için geçerlidir)St 37
(Fe 37)

λ	w
20	1,04
30	1,08
40	1,14
50	1,21
60	1,30
70	1,41
80	1,55
90	1,71
100	1,90
110	2,11
120	2,43
130	2,85
140	3,31
150	3,80
160	4,32
170	4,88
180	5,47
190	6,10
200	6,75
210	7,45
220	8,17
230	8,93
240	9,73
250	10,55

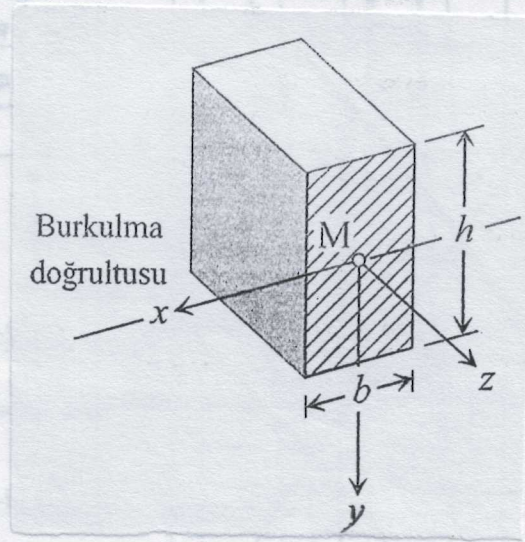
St 52
(Fe 52)

λ	w
20	1,06
30	1,11
40	1,19
50	1,28
60	1,41
70	1,58
80	1,79
90	2,05
100	2,53
110	3,06
120	3,65
130	4,28
140	4,96
150	5,70
160	6,48
170	7,32
180	8,21
190	9,14
200	10,13
210	11,17
220	12,26
230	13,40
240	14,59
250	15,81

Tablo 5 - w - Burkulma şarpanı [L1]

Not :

- Burkulma doğrultusu [L 10],



Şekil 19- Burkulma doğrultusu [L 10].

Kritik yük hesaplarında kullanılan eylemsizlik momenti $I = \min(I_1, I_2)$ dir.

Kesitin iki asal ekseninden en büyük eylemsizlik momentini veren eksen çubuğun burkulma doğrultusunda gösterir. Örneğin Şekil 19'daki dikdörtgen kesitte $h > b$ ise, burkulma hesabında kullanılarak eylemsizlik momenti

$$I_{\min} = I_y = \frac{1}{12} h b^3$$

olacağından bu kesitte burkulma doğrultusu x eksenidir.

- Burkulma emniyet katsayısı [L 12],

Mateme kinsine göre tespit edilir.

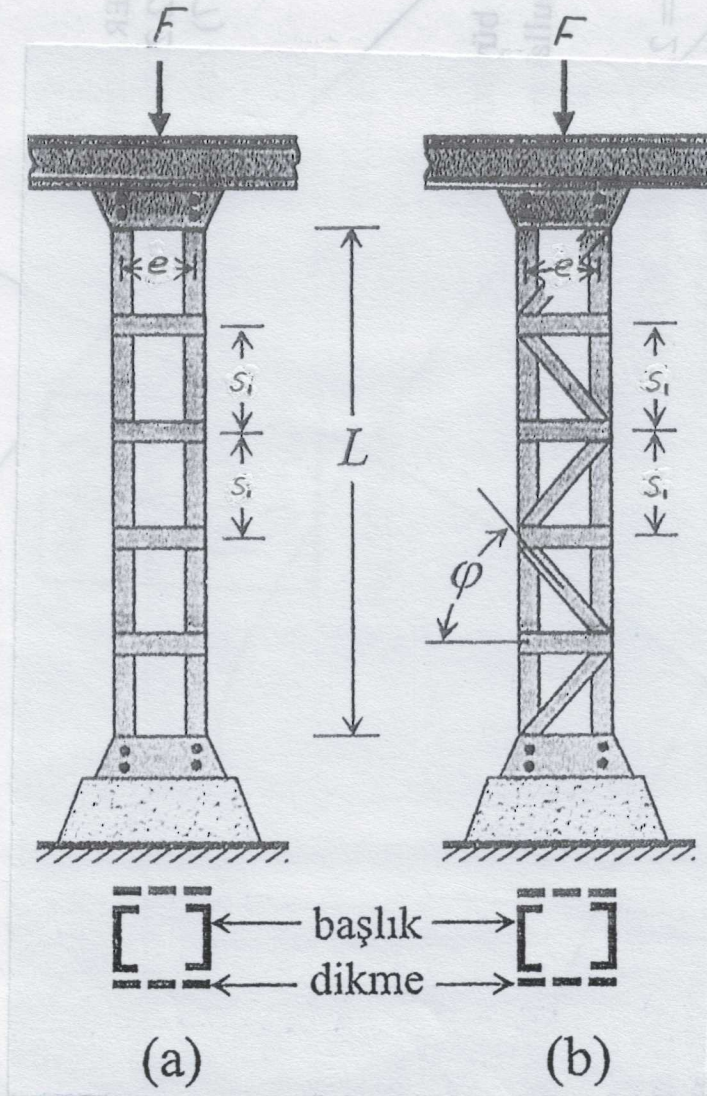
- Çelik için $2n = 2,5$
 - Ahşap için $n = 8-10$
- } Alınabilir.

• Mariflik derecesi: [L 12].

Çelik için $d \approx 120 - 150$ arasındadır.

5- Bileşik kolonlar;

Bileşik kesitli kolonların hesabı, bağlanması, biçimlerine göre; çerçeve şeklinde kolonlar ve kafes şeklinde kolonlar olmak üzere iki ayrı grupta ele alınır (Şekil 20).

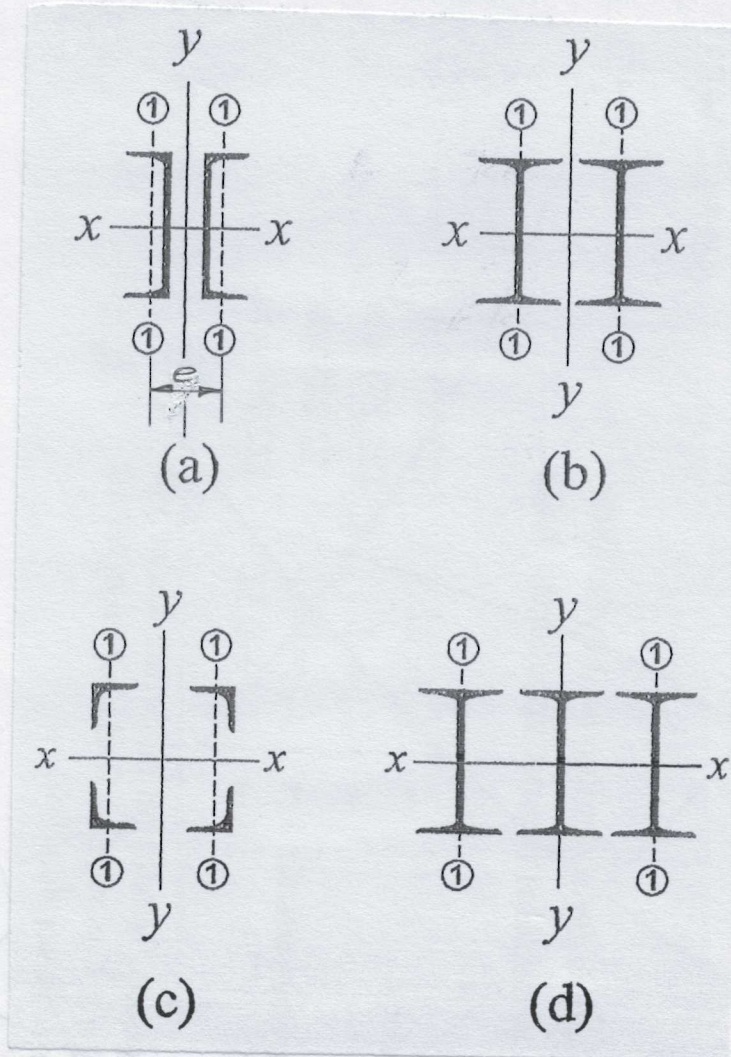


Şekil 20 - Bileşik kolonlar [L 10].

a) Çerçeve biçimli (şeklinde) kolon

b) Kafes biçimli (şeklinde) kolon

leri: $x-x$ ile $y-y$ nin özel durumları vardır (Şekil 21). Eksenlerden biri,



Şekil 21- Malzemeli ve malzemesiz eksenler [L10]

bazı kesitlerde parçaların hepsini kesen ve buna malzeme eksen denir. Şekil 21 a, b, d de $x-x$ eksen bu bir örnektir. Malzemesiz eksen denen diğer eksen ya parçalardan hiç birisini kesmez ya da parçalardan bir kısmını keser. Şekil 21 de $y-y$ eksen

buna örnektir. Her iki eksen de malzemesiz olabilir. (Şekil 21 c). Ama her iki ekseninde malzemeli olması söz konusu değildir.

Kullandığımız molette kollar, çerçeve tipi kolon (Şekil 14, 15) olması dolayısıyla çerçeve tipi kolonları ele alalım (Şekil 20 a)

Mustafa İNAN hocama [L 12] göre, iki ucu mafsallı çerçeve tipi kolonda kritik yük için,

$$F_{kr.} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2} \left[\frac{1 + \frac{\pi^2 EI_z}{L^2}}{1 + \frac{\pi^2 EI_y}{L^2} \left(\frac{\xi^2}{24 EI_z} \right)} \right] \quad (58)$$

basit ifadesi verilebilir. Burada,

I_y - Başlıkların y eksenine göre eylemsizlik momenti (Eşitlik 2)

$$I_y = 2 I_1 + 2 A_1 (e/2)^2 \quad (Eşitlik 14)$$

I_1 - Bir başlık (şubuğunun (Şekil 20) kesit ağırlık merkezinden geçen

①-① eksenine göre (Şekil 21) eylemsizlik momenti. (Eşitlik 2)

A_1 - Bir baslık çubuğunun kesit alanı

e - Gereşere genişliği } (Şekil 20, 21)

s_1 - Gereşere yüksekliği }

L - Kolon uzunluğu

L_{kr} - Kritik burkulma boyu

iki ucu mafsallı kolon için

$$L = L_{kr} \quad (\text{Tablo 2, Şekil 17})$$

Eşitlik 58 den faydalanarak kritik gerilme hesaplanır. Bu amaçla kullanılacak büyük-
lükler,

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{2 A_1} \quad (\text{Eşitlik 50}) \quad (59)$$

$$i_y^2 = \frac{I_y}{2 A_1} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

$$\lambda_y = \frac{L_{kr}}{i_y} \quad (\text{Eşitlik 52})$$

$$i_1^2 = \frac{I_1}{A_1} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

$$\lambda_1 = \frac{s_1}{i_1} \quad (\text{Eşitlik 52})$$

dır. Bu büyüklükler Eşitlik 58 de yerine konursa
kritik normal gerilme,

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2}{12} \frac{\lambda_1^2}{\lambda_y^2} \right)} \right]$$

şeklinde yazılabilir. $\pi^2/12 \approx 1$ alınır ve

$$\sigma_{kr} \approx \frac{\pi^2 E}{d_y^2 + d_1^2} \quad (59)$$

bulunur.

$$d_y^2 + d_1^2 = d_i^2 \quad (60)$$

d_i - indirgenmiş norinlik derecesi

tanımı ile, EULER denklemine (Eşitlik 53)

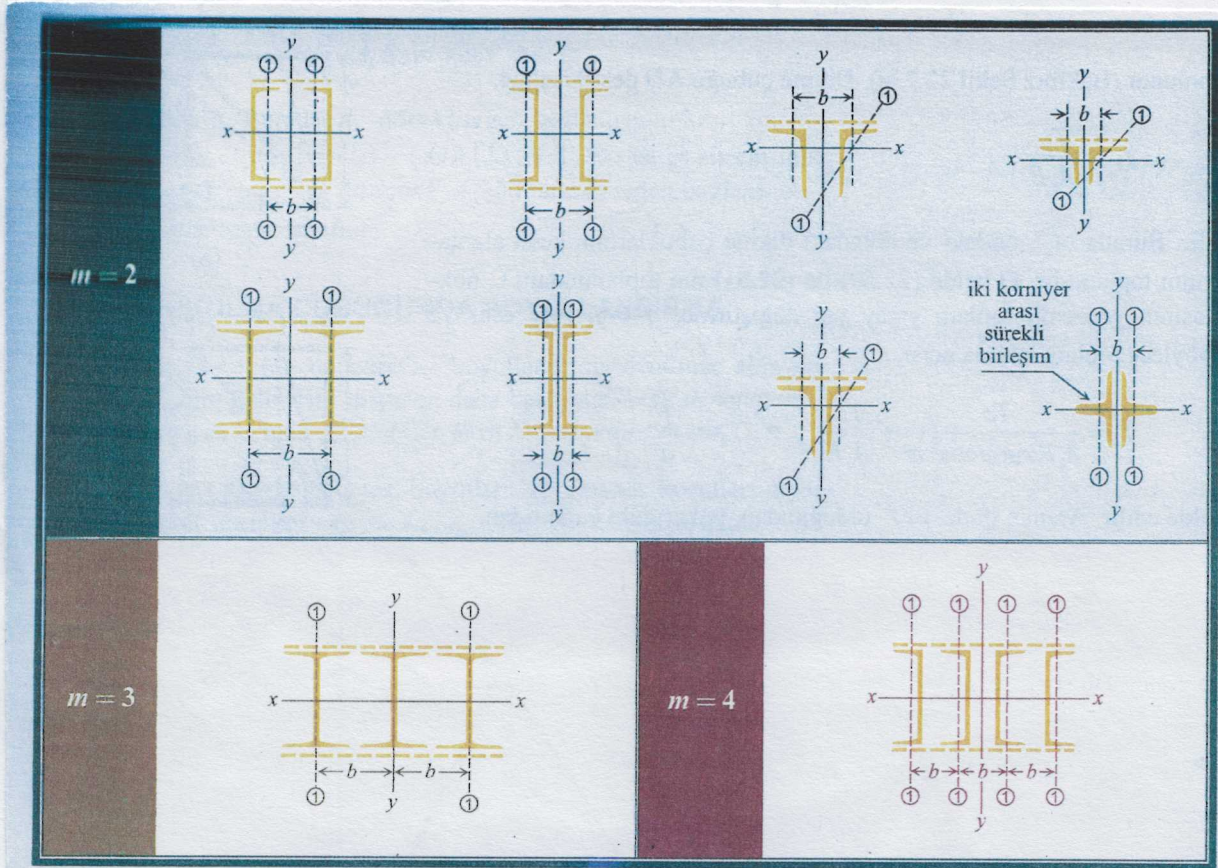
benzer yapıda

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{d_i^2} \quad (61)$$

yazılır. $d_i > d_y$ olduğundan bağlama elemanlarının (dikmelerin) kritik serilme üzerindeki azaltıcı etkisi hesaba sokulmuş olur. Eğer bileşik kolonda basınç çubukları iki parçalı olacağı yerde m tane (Tablo 6) ise, Eşitlik 60 yerine,

$$d_i^2 \approx d_y^2 + \frac{1}{2} m d_1^2 \quad (62)$$

şeklinde yaklaşık bir ifade yazılır. Buradan m için, bileşik kolondaki taşıyıcı elemanın sayısından da denebilir.



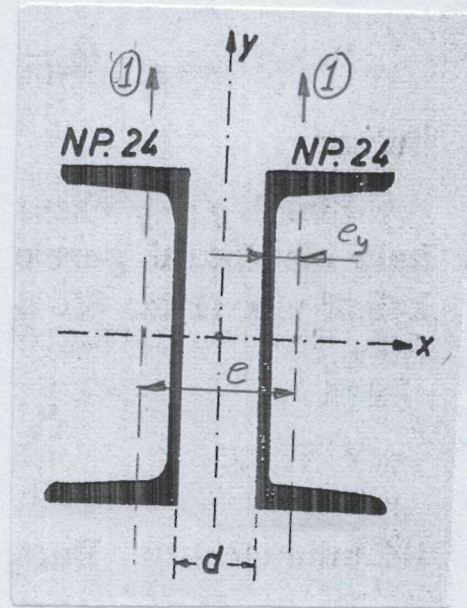
Tablo 6 - Grup şubukları [L10]

m - Makeme eksen $x-x$ 'in kestiği profil sayısı.

Şimdi konuyla ilgili, bazı literatürlerden örnekler verelim.

Örnek 7 [L13] :

Kesiti Şekil 22 de görülen çerçeve kolunda, kritik burkulma boyu $L_{kr} = 340 \text{ cm}$, çerçeve yüksekliği $h = 64 \text{ cm}$ alındığında göre d aralığını şöyle tespit ederiz ki x ve y doğrultularındaki burkulma tehlikeleri aynı olsun.



Şekil 22 - Gerçere - Kolon kesiti
[L 13]

U 200 Profili için, Tablo 1 den faydalanarak kendi ağırlık merkezinden geçen ① - x eksenleri ne göre karakteristikleri :

$$\left. \begin{array}{l} I_x = 3600 \text{ cm}^4 \\ i_x = 9,22 \text{ cm} \\ e_y = 2,23 \text{ cm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} I_1 = 248 \text{ cm}^4 \\ i_1 = 2,42 \text{ cm} \\ A_1 = 42,3 \text{ cm}^2 \end{array}$$

dir .

Önce kirişin x-x eksenine göre burkul-
duğunu düşünelim . Bu halde problemin bir
bileşik kolon olması farklılık doğurmayacak
ve kritik yük ,

$$F_{kr} = \lambda^2 E I_x / L_{kr}^2 \quad (\text{Eşitlik 49})$$

veya

$$\sigma_{kr} = \frac{\lambda^2 E}{\lambda^2} \quad (\text{Eşitlik 53})$$

formülü ile bulunacaktır. Burada,

$$\lambda = \frac{L_{kr}}{i} \quad (\text{Eş. 11. k 52})$$

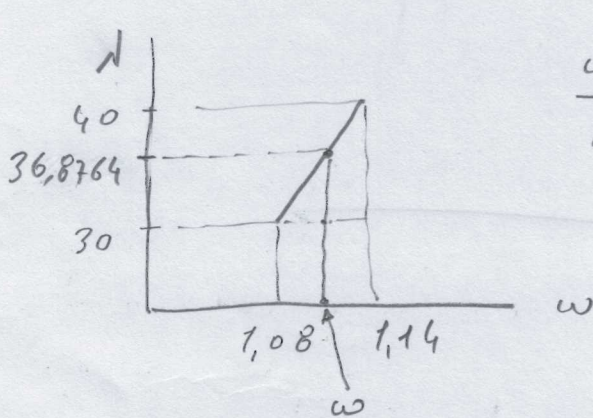
$$\lambda = \frac{340}{9,22} = 36,8764$$

div. St 37 için $d_p = 105$ (Sayfa: 61)

$$\lambda (= 36,8764) < d_p (= 105)$$

Bu duruma göre burkulma plastik bölgede meydana gelmektedir (Şekil 18). O halde bu burkulma yükünü ω -metodu ile bulalım. St 37 için,

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = 30 \rightarrow \omega = 1,08 \\ \lambda = 40 \rightarrow \omega = 1,14 \end{array} \right\} \text{(Tablo 5)}$$



$$\frac{\omega - 1,08}{1,14 - 1,08} = \frac{36,8764 - 30}{40 - 30}$$

$$\omega - 1,08 = 0,0412584$$

$$\omega = 1,121$$

bulunur. Ancak, Mustafa İNAN hocam [L 12]

$\lambda = 0$	10	20	30	40	50
$\omega = 1,00$	1,00	1,00	1,05	1,10	1,16

değerlerini vermiştir. Problem kendisine verit

olduğundan,

$$l = 30 \rightarrow w = 1,05$$

$$l = 40 \rightarrow w = 1,10$$

değerlerini kullanalım.

$$\frac{w - 1,05}{1,10 - 1,05} = \frac{36,8764 - 30}{40 - 30}$$

$$\parallel w = 1,084382 \approx 1,085$$

bulunur. Bu halde burkulma yükü,

$$w \frac{F_{kr}}{A} \leq \sigma_{em} \quad (\text{Eşitlik 57})$$

veya, verilen

$$F_{kr} = \frac{\sigma_{em} \cdot A}{w}$$

yazılabilir.

σ_{em} - Malzemenin kabul edilen çekme emniyet gerilmesidir.

$$\sigma_{em} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{Sayfa: 62})$$

$$F_{kr} = \frac{1400 \cdot 2 \cdot 42,3}{1,085}$$

$$\parallel F_{kr} = 109161,3 \text{ kgf}$$

Şimdi y-y eksenine doğrultusunda da aynı F_{kr} burkulma yükünün olabilmesi için gereken d uzaklığını bulalım. Bu halde kritik yük,

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E I_y}{L^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E I_y}{L^2} \left(\frac{s_1^2}{24 E I_1} \right)} \right] \quad (\text{Eşitlik 58})$$

Burada,

$$I_y = 2 I_1 + 2 A_1 \left(e/2 \right)^2 \quad (\text{Eşitlik 14})$$

e - Gerçekte genişliği (Profillerin ağırlık merkezi eksenleri arasındaki mesafe)

$$e = d + 2 \cdot e_y \quad (\text{Şekil 22})$$

$$I_y = 2 \left[248 + 42,3 \left(\frac{d}{2} + 2,23 \right)^2 \right]$$

$$109161,3 = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot I_y}{(340)^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot I_y \cdot 64^2}{340^2 \cdot 24 \cdot 248}} \right]$$

$$109161,3 = 179,3 I_y \left[\frac{1}{1 + 5,88 \cdot 10^{-5} I_y} \right]$$

$$608,82 = \frac{I_y}{1 + 5,88 \cdot 10^{-5} I_y}$$

$$I_y = 608,82 + 0,0358 I_y$$

$$\| \bar{I}_y = 631 \text{ cm}^4$$

Bu değer yerine konursa,

$$631 = 2 \left[248 + 42,3 \left(\frac{d}{2} + 2,23 \right)^2 \right]$$

$$315,5 = 248 + 42,3 \left(\frac{d}{2} + 2,23 \right)^2$$

$$\left(\frac{d}{2} + 2,23 \right)^2 \approx 1,60$$

$$\frac{d}{2} + 2,23 = 1,26$$

$$\| \underline{d = -2 \text{ cm.}}$$

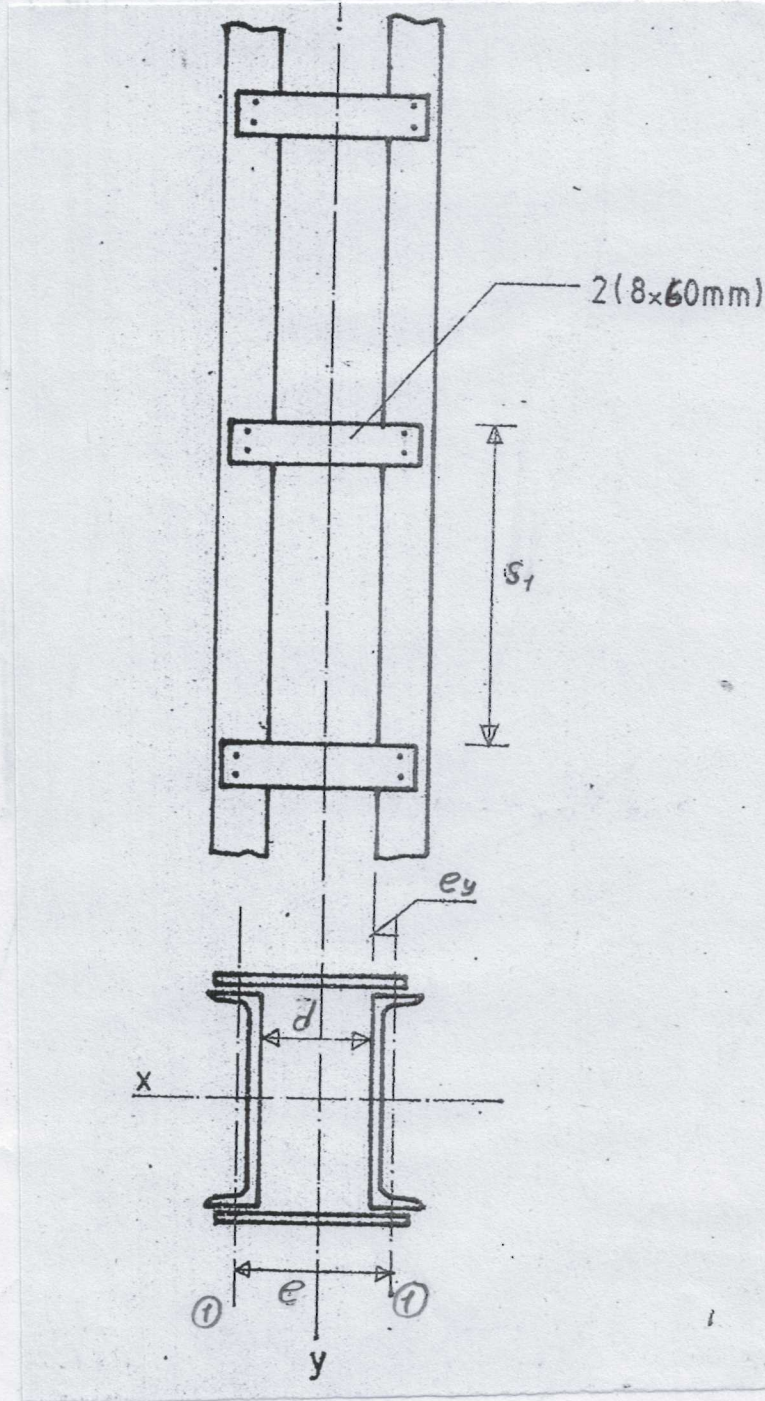
elde edilir. [L 13] te Esin hocam, malzeme

nin çekme emniyet gerilmesini: $\bar{\sigma}_{em} = 1200 \text{ kgf/cm}^2$ olarak almış, dolayısıyla $b = -3,23 \text{ cm}$ olarak bulunmuştur.

d mesafesinin negatif çıkmasının anlamı, kesitin y-y eksenine doğrultusunun burkulması için istenen yükün küçük olması yani kesitin rahatlıkla bu yükü taşıyabilmesidir. d nin sıfırdan itibaren artması kesitin eylemsizlik momentini arttıracaktır. d nin sıfır alınması halinde dahi kesit rahatlıkla yükü taşıyabilmektedir. O halde d istenen bir uzunluk alınabilir.

Örnek 8 [L 14]

Burkulma boyu $L_{kr} = 8 \text{ m}$ olan bir kolon $F = 40 \text{ tf}$ eksenel yük taşıyacaktır. Kolon kesiti Şekil 23 te gösterildiği gibi birbirlerine



Şekil 23 - Kolon kesiti, [L 14]

$s_1 = 50 \text{ cm}$ aralıklarla konulmuş $40 \times 8 \text{ mm}$ en kesitli lama demiri dikmelerle bağlanmış iki $\square$ demirinden oluşturulacaktır. Burkulma emniyet katsayısı $n=2,5$ olduğuna göre $\square$ profillerini, kesitte $I_x = I_y$ olabilmesi için, profiller arasındaki d mesafesini saptayınız. Bileşik kesitte kesme kuvvetinin etkisi de göz önüne alınacaktır.

Burkulmayı elastik bölgede varsayarsak kesit için gerekli eylemsizlik momenti,

$$F_{kr} = \pi^2 EI / L_{kr}^2 \quad (\text{Eşitlik 49})$$

$$n = F_{kr} / F \quad (\text{Eşitlik 56})$$

$$I_x = I_y = \frac{n \cdot F \cdot L_{kr}^2}{\pi^2 E}$$

$$I_x = I_y = \frac{2,5 \cdot 40000 \cdot 800^2}{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^6}$$

$$I_x = I_y = 3088 \text{ cm}^4$$

olarak bulunur. Tablo 1 den kesit olarak iki U 200 profili seçilir.

$$I_{x1} = 1510 \text{ cm}^4 \quad (= I_x)$$

$$2 I_{x1} = 2 \cdot 1510 = 3020 \text{ cm}^4 \quad (= I_x = I_y) \text{ tablo 1}$$

$$i_x = 7,7 \text{ cm}.$$

Profiller arasındaki d aralığı $I_x = I_y$ koşulunu gerçekleştirecek şekilde olmalıdır.

$$I_x = I_y = 2 \left[I_{y1} + A \left(\frac{e}{2} \right)^2 \right] \quad (\text{Eşitlik 14})$$

$$\frac{I_x}{2} - I_{y1} = A \frac{e^2}{4}$$

$$e = \sqrt{\frac{4}{A} \left(\frac{I_x}{2} - I_{y1} \right)}$$

U 200 profili için,

$$\left. \begin{array}{l} I_{y1} = 148 \text{ cm}^4 \\ A = 32,2 \text{ cm}^2 \end{array} \right\} e_y = 2,01 \text{ cm} \quad (\text{Tablo 1})$$

$$e = \sqrt{\frac{4}{32,2} \left(\frac{3820}{2} - 148 \right)}$$

$$\| e = 14,79 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

$$d = e - 2e_y = 15 - 2 \cdot 2,01$$

$$\| d = 10,98 \text{ cm} \approx 11 \text{ cm}$$

Seçilen bileşik kesite ait F_{max} değeri, kesme kuvvetinin etkisini de hesaba katmak için Eşitlik 58'e ek olarak aşağıdaki formül (Eşitlik 63) ile hesaplanıp bunun $F = 40tf$ ten daha büyük olduğu gösterilmelidir.

$$F_{max} = \frac{F_{kr}}{n} = \frac{\lambda^2 E I_y}{n L_{kr}^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 E I_y}{L_{kr}^2} \left(\frac{s_1^2}{24 E I_1} + \frac{s_1 \cdot e}{12 E I_2} \right)} \right] \quad (63)$$

Burada, Eşitlik 58'e ilave olarak,

I_2 - Bağılayan iki dikme subuğunun (Şekil 20) toplam eylemsizlik momenti

Bağlama elemanları $2 \cdot (8 \cdot 60 \text{ mm})$ boyunda (ve)madır. Buna göre,

$$I_2 = 2 \cdot \frac{0,8 \cdot 6^3}{12}$$

$$\| I_2 = 28,8 \text{ cm}^4$$

olar. Nümerik değerler yerine konursa,

$$F_{max} = \frac{\lambda^2 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3820}{2,5 \cdot 800^2} \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3820}{800^2} \left(\frac{50^2}{24 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 148} + \frac{50 \cdot 15}{12 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 28,8} \right)} \right]$$

$$\| F_{max} = 42319 \text{ kgf}$$

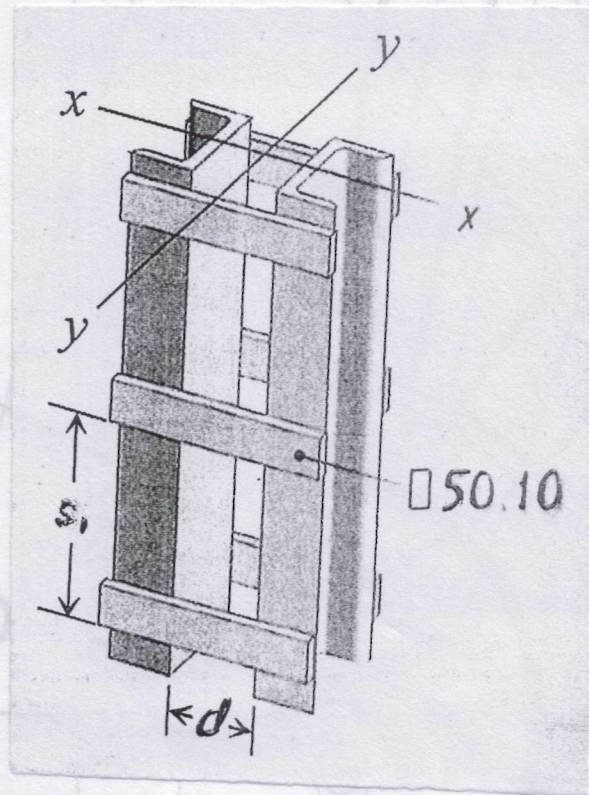
$$\| F_{max} (= 42319 \text{ kgf}) > F (= 40000 \text{ kgf})$$

(Sayfa: 139'a bakınız)

Bu sonuç seçilen kesitin yeterli olduğunu gösterir.

Örnek 9 [L 10] :

Şekil 24 te ki bileşik kolon burkulma boyu $L_{kr} = 6 \text{ m}$ olup taşıyacağı basınç kuvveti $F = 500 \text{ kN}$ dur. Yatay $\square 50.10$ lamaları arasındaki dikey uzaklık $s_1 = 40 \text{ cm}$ olup, kolon iki tane $\square$ profil den oluşturulacaktır. Emniyet katsayısı $n = 3$ olduğuna göre, kesitte $I_x \approx I_y$ olacak biçimde $\square$ profillerini belirleyiniz ve d mesafesini hesaplayınız. Çeliğin elastisite modülü $E = 2,0 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$ dir.



Şekil 24 - Bileşik kolon [L 10].

Boyutlandırmaya başlarken önce bir kesit seçilmelidir. Bunun için burkulmanın elastik olduğu varsayılırsa, kesit için gerekli en küçük eylemsizlik momenti

$$I_{min} = \frac{n \cdot F \cdot L_{kr}^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (\text{Sayfa: 76})$$

$$I_{min} = \frac{3 \cdot 500 \cdot 600^2}{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^4}$$

$$I_{min} \approx 2736 \text{ cm}^4$$

Tablo 1 den kesit için [200 seçilirse,

$$I_{x1} = 1910 \text{ cm}^4$$

$$I_{y1} = 148 \text{ cm}^4$$

$$e_y = 2,01 \text{ cm}$$

$$A_1 = 32,2 \text{ cm}^2$$

bulunur. Böylece 2. [200 profil-i için

$$\| \bar{I}_x = 2 \cdot I_{x1} = 2 \cdot 1910 = 3820 \text{ cm}^4$$

$$I_x (= 3820 \text{ cm}^4) > I_{min} (= 2736 \text{ cm}^4)$$

sağlanır. 2. [200 profiller arasındaki

e mesafesi (Şekil 24 a) $\bar{I}_x \approx \bar{I}_y$

koşulunun sağlayacak biçimde hesaplanacaktır. O nedenle

$$I_x = I_y = 2 \left[I_{y1} + A_1 \left(\frac{e}{2} \right)^2 \right] \quad (\text{Eşitlik 14})$$