



# BETONARME – 1

## DERS NOTLARI

### BÖLÜM 6

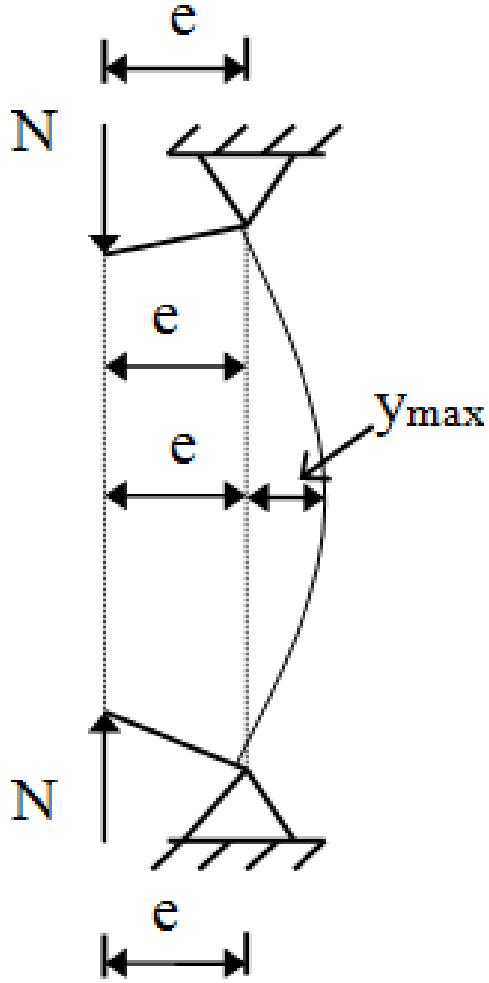
**Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR**

# BİLEŞİK EĞİLME - EKSENEL BASINÇ VE EĞİLME ALTINDAKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

Betonarme kolon, yapısal sistemin, yani çerçevenin bir parçasıdır. Bu nedenle kolonlar düşey ve yatay yükler altında aksenal basınca ek olarak, eğilme momenti ve kesme kuvveti taşırlar.

Betonarme yapılardaki kolonların kesit boyutları boylarına oranla küçük olduğundan, kolonlar genellikle narin elemanlardır.





Kolona etkiyen aksenal kuvvet ve moment eksantrik bir kuvvet ile yer değiştirebilir. Kolonlar genellikle narin elemanlar olduğundan, moment etkisi ile oluşan eğilme nedeniyle kolon eksenini simgeleyen çizgi yükün etkime yönünü belirleyen kesik çizgi ile çakışmayacaktır. Bu durum kolon uçları dışında kalan bölgede ek bir moment oluşturacaktır. Kolonda normal kuvvetten dolayı oluşan bu ilave moment;  $\Delta M=N y$  olup **ikinci mertebe momenti** adını alır.



Kolona etkiyen maksimum moment birinci mertebe momenti ile ikinci mertebe momentlerinin toplamına eşittir. İkinci mertebe momenti yer değiştirmeye göre kolon boyunca değişmektedir. Bu nedenle maksimum moment, yer değiştirmenin en büyük olduğu kolon boyu ortasında oluşacaktır.

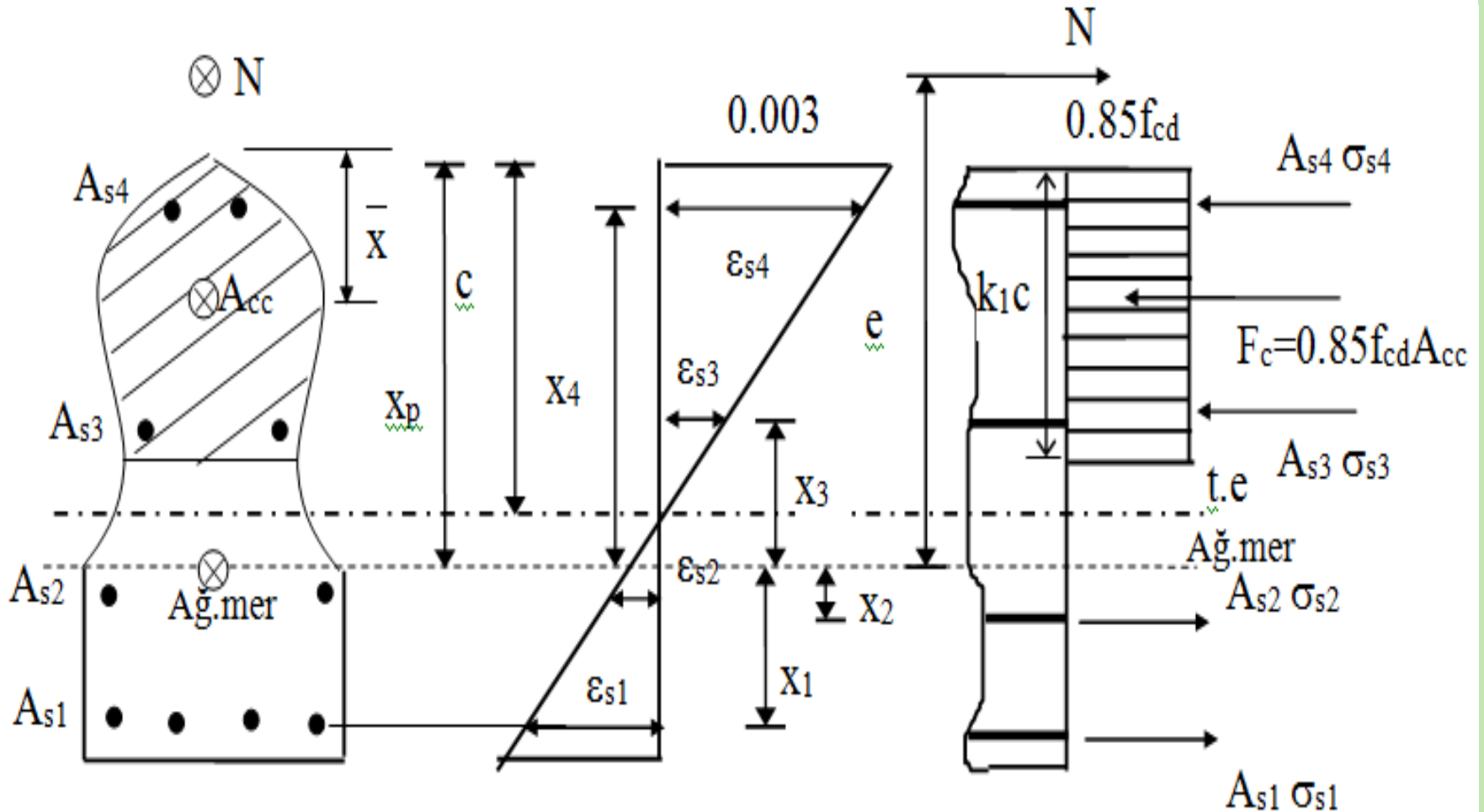
$$M'_{\max} = N (e + y_{\max})$$

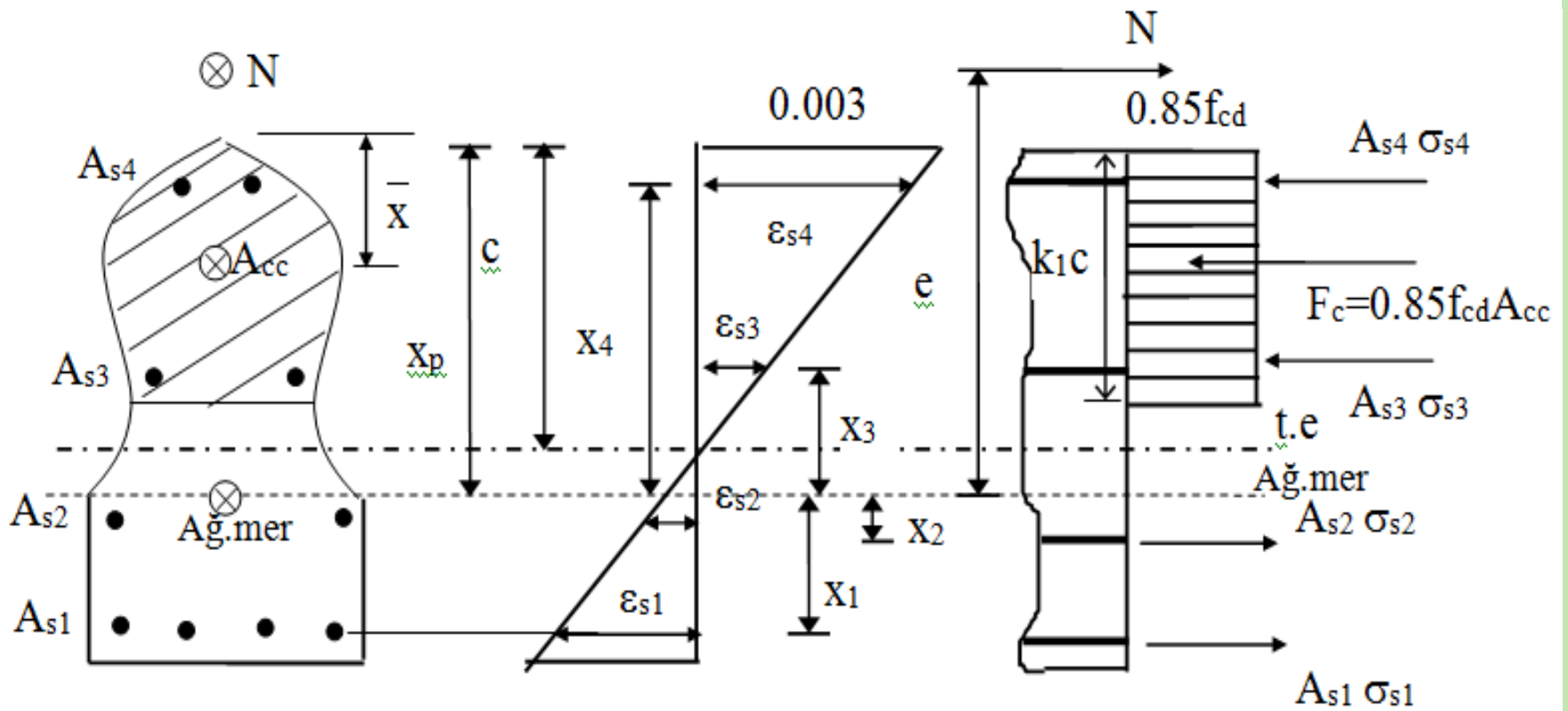
$$N e = M_d$$

$$M'_{\max} = N e (1 + y_{\max}/e) = \beta M_d$$



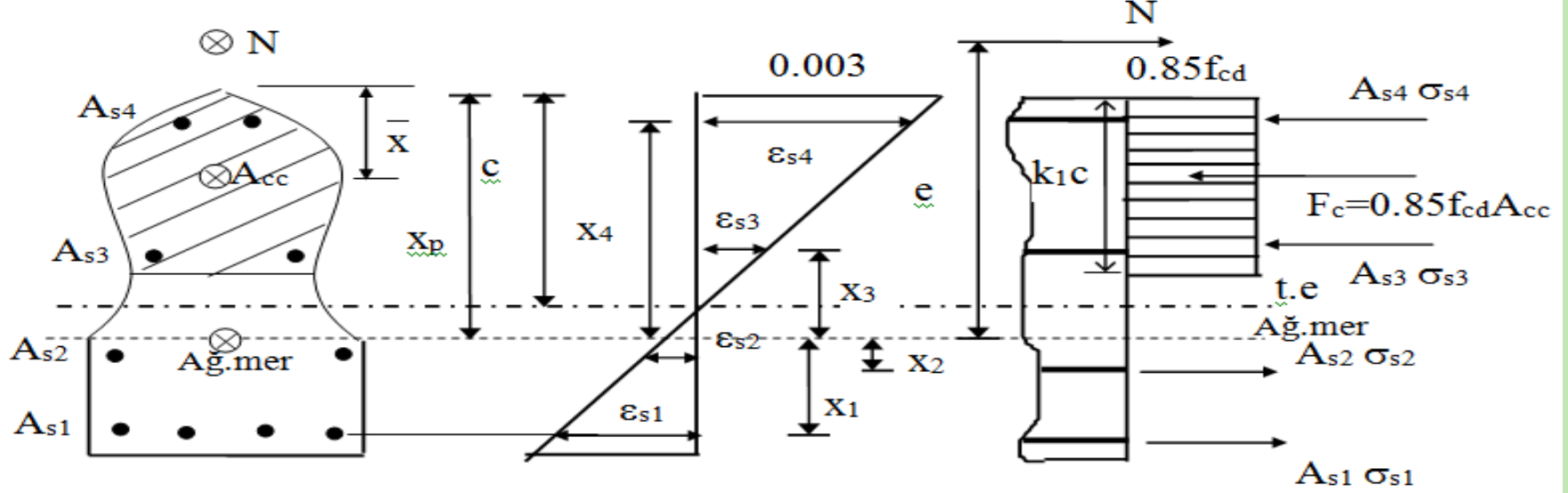
# BİLEŞİK EĞİLME ETKİSİ ALTINDAKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ





Şekilde görülen, kesit geometrisi düzgün olmayan ve donatısı değişik düzeylere yerleştirilmiş kesite etkiyen aksel yük ve moment kesit ağırlık merkezinden ( $e$ ) uzaklığında etkiyen bir aksel kuvvete dönüştürülmüştür.





**Denge Denklemleri:**

$$N = 0.85 f_{cd} A_{cc} + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si}$$

$$M = N(e) = 0.85 f_{cd} A_{cc} (X_p - \bar{X}) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} X_i$$

**Uygunluk Denklemi:**

$$-\varepsilon_{si} = 0.003 \frac{X_p - c - X_i}{c},$$

$$\sigma_{si} = \varepsilon_{si} E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{si} = 0.003 E_s \left( 1 + \frac{X_i - X_p}{c} \right) \leq f_{yd}$$

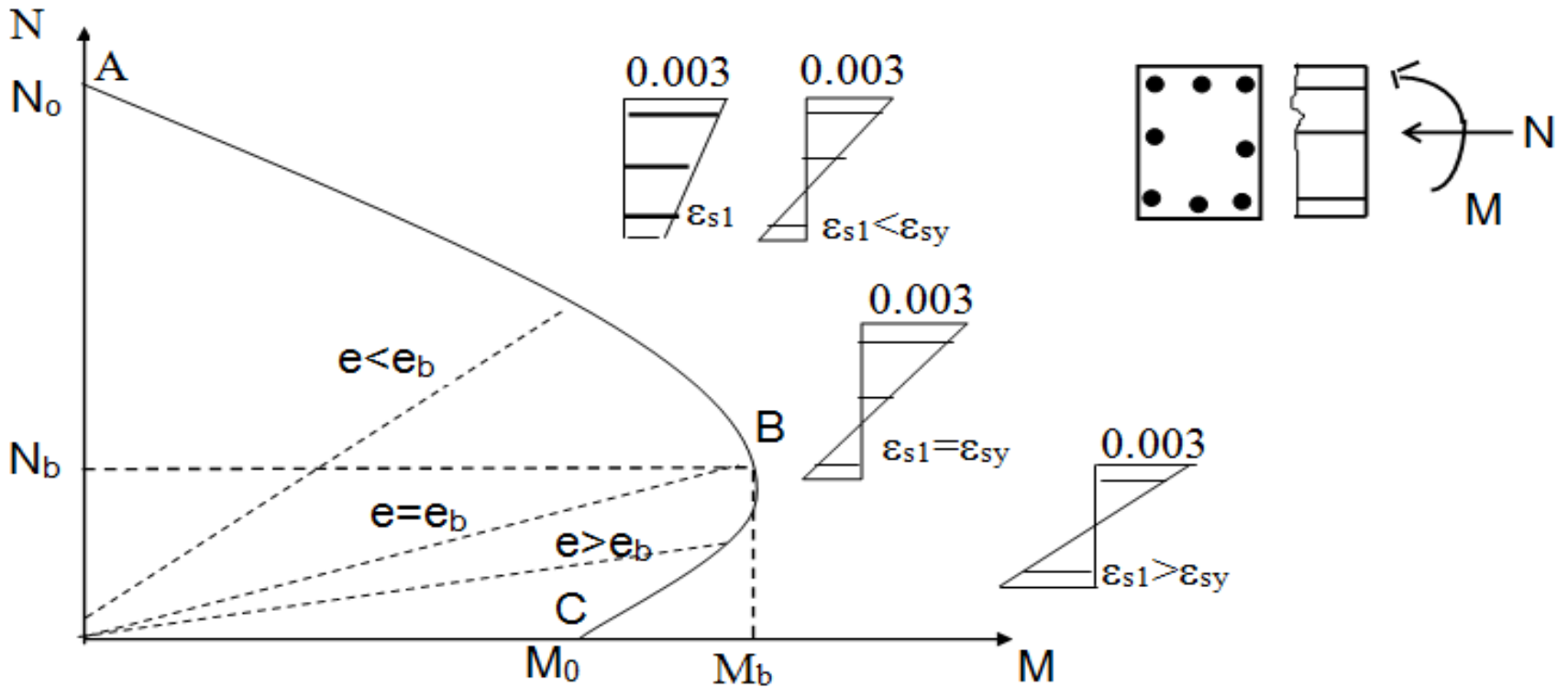


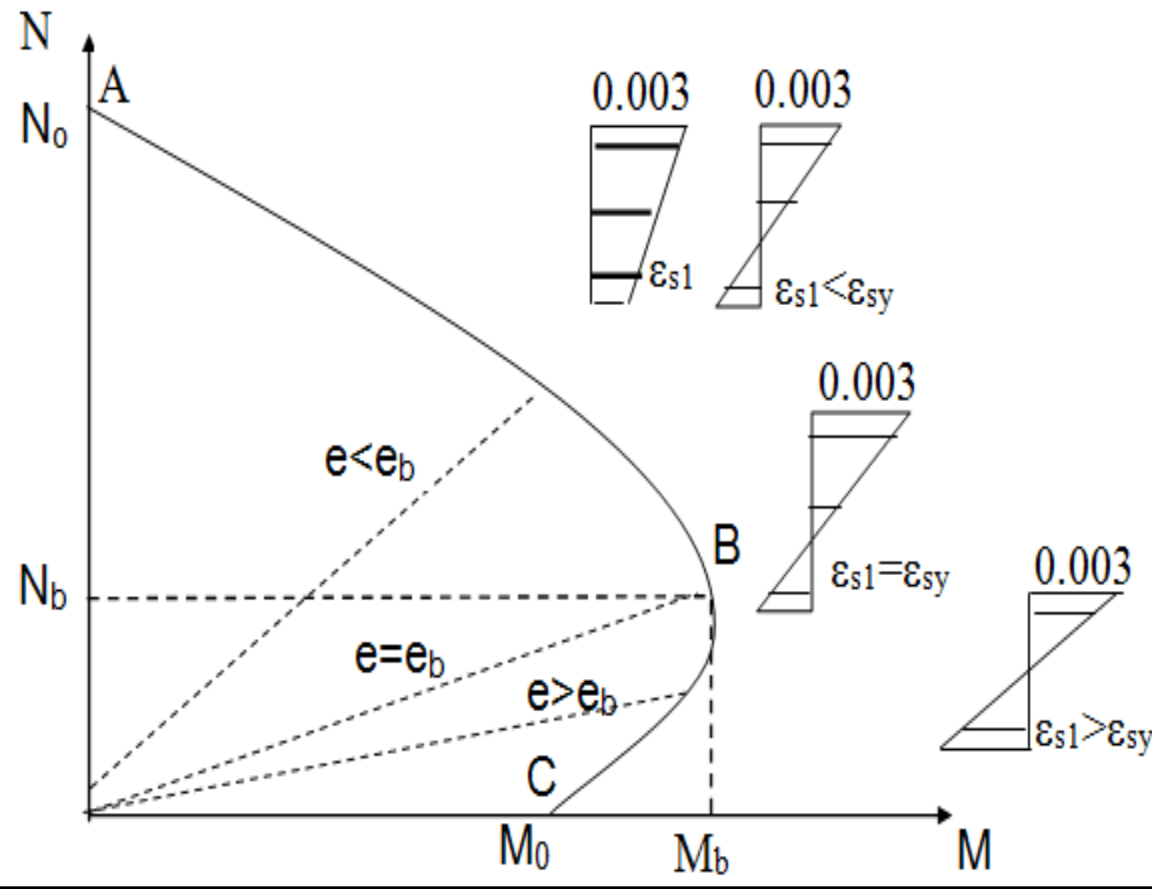
Denge denklemlerinde basınç kuvvetleri (+), çekme kuvvetleri (-) alınmalıdır. Uygunluk denkleminde elde edilen (-) değerler, birim kısalma olarak dikkate alınmalıdır.  $x_i$  değerleri ağırlık merkezinin üstünde (+) altında (-) alınmalıdır.

Verilen üç denklem en genel halde verilmiştir. Herhangi bir geometriye sahip bir kesit için,  $M=0$  (Basit eğilme) durumundan,  $N=0$  (Eksenel basınç) durumuna kadar geçerlidir. Bu üç basit denklem bileşik eğilme altındaki bir betonarme kesitin taşıma gücünü tanımlamaya yeterlidir ( $0 \leq e \leq \infty$ ).



Tarafsız eksenin derinliği  $c$  için çeşitli kabuller yaparak her bir  $c$  için  $N$  ve  $M$  çiftleri hesaplanır. Bu şekilde elde edilen  $N$  ve  $M$  çiftleri kullanılarak, aksenal yükün moment ile değişimini gösteren bir eğri elde edilir. Bu eğri **karşılıklı etki diyagramı** olarak adlandırılır.

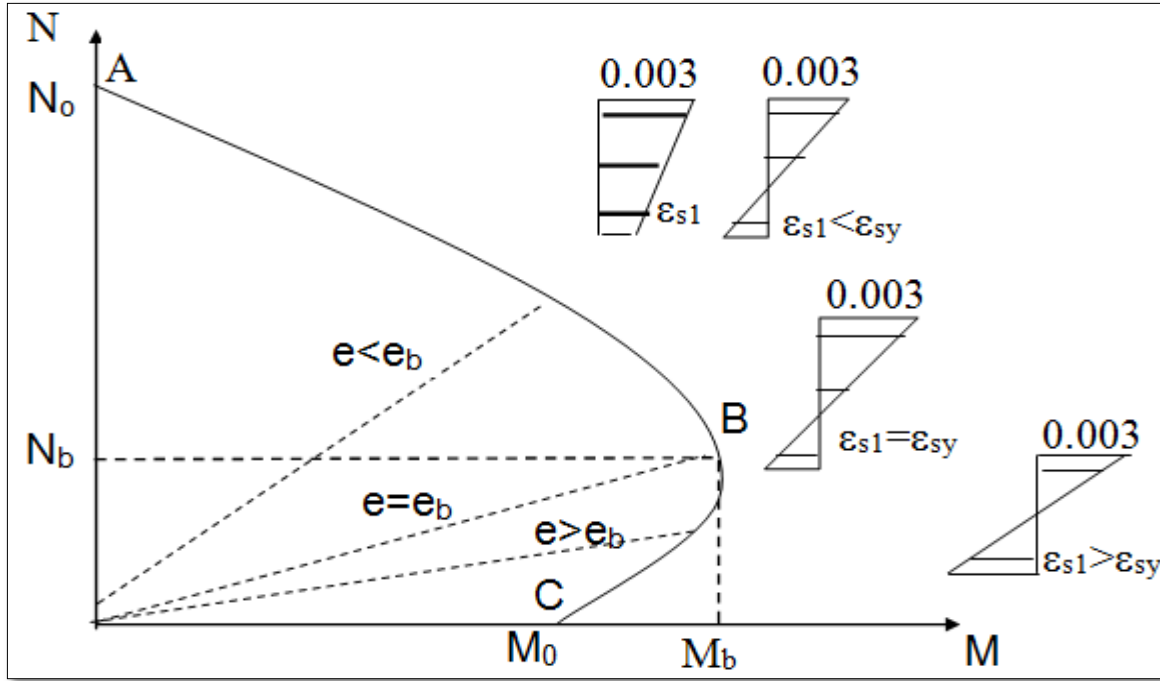




Eğri dayanımın zarfı niteliğindedir. Bu eğri içine düşen herhangi bir N-M kombinezonu söz konusu yükü güvenle taşıyabilir.

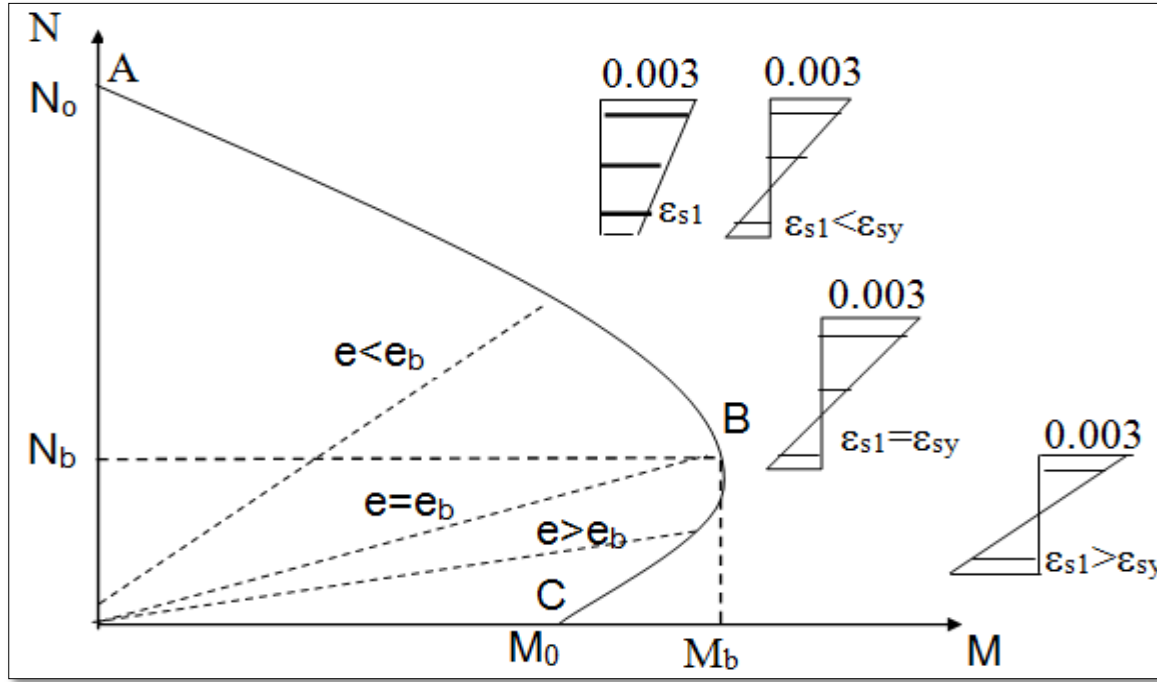
B noktası dengeli durumu belirler. Dengeli durumun tanımı kirişler için yapılan tanımla aynıdır ( $N_b, e_b$ ).

$N < N_b$  veya  $e > e_b$  olduğu zaman dış yüze en yakın çekme donatısı, beton ezilme konumuna ulaşmadan akacağından sünek bir kırılma oluşacaktır.



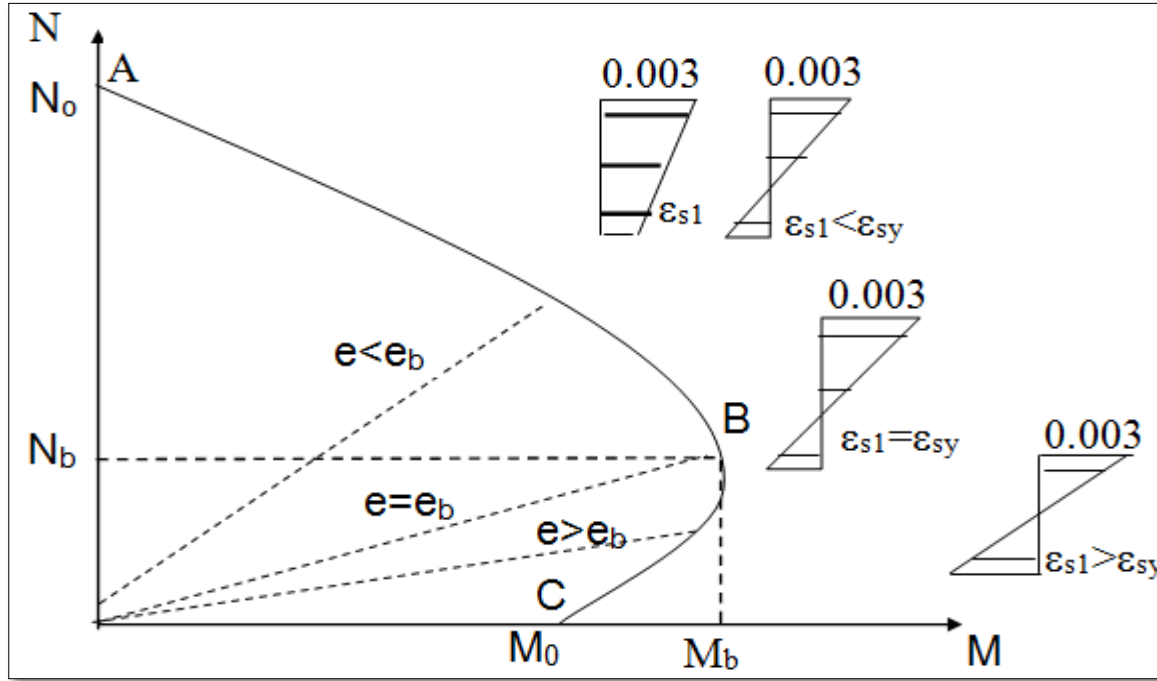
$N > N_b$  veya  $e < e_b$  olduğu durumlarda dış merkezliğe bağlı olarak birim deformasyon dağılımı üçgen veya trapez olabilir. Her iki durumda da en dış lifteki beton ezilme konumuna ulaştığından çekme yüzüne en yakın donatı akma birim uzamasına ulaşmaz. Bu tür kırılma basınç kırılması olarak adlandırılır.





Görüldüğü gibi bileşik eğilmede kırılma türü donatı oranından bağımsız olup, aksenal yük düzeyine ve dış merkezliğe bağlıdır. Burada kirişlerdeki gibi donatıyı sınırlayarak gevrek kırılmayı önlemek mümkün değildir. Aşırı gevrek kırılmayı önlemek için bazı önlemlerin alınmasında yarar vardır.





a) Sık yerleştirilmiş sargı donatısı ile süneklik artırılabilir.

b) Eksenel yüke bir üst sınır konularak aşırı gevrek kırılmalar önlenir. TS500 de eksenel yükün  $0.90 f_{cd} A_c$  düzeyini geçmesine izin verilmez.



## Dikdörtgen Kesitler için Taşıma Gücü Denklemleri:

$$A_{cc}=k_1 c (b), \quad x_p=h/2 \quad \text{ve} \quad x=k_2 c=k_1 c/2$$

Bu değerler denge denklemlerinde yerine konulduğunda;

$$N=0.85 f_{cd} k_1 c b + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si}$$

$$M=N e=0.85 f_{cd} k_1 c (b) \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} X_i$$

$$\sigma_{si}=0.003 E_s \left( 1 + \frac{X_i - \frac{h}{2}}{c} \right) \leq f_{yd} \quad \text{Bu denklemler dikdörtgen kesitler için geneldir}$$



**Örnek1:**

Bilinenler:  $b, h, (A_{cc}=bh), \Sigma A_{si}=A_{st}, M=0$

İstlenen:  $N$

**Çözüm:**

Eksenel basınç durumu için birim deformasyon kesitte düzgün yayılı olacağından

( $\varepsilon_{cu}=0.003$ ) tüm donatı akar. ( $\varepsilon_{si} > \varepsilon_{sy}$  ve  $\sigma_{si}=f_{yd}$ )

$$k_1 c=h, N=0.85 f_{cd} b h+A_{st} f_{yd}=0.85 f_{cd} A_{cc}+ A_{st} f_{yd}$$

$$M=0$$



## Örnek2:

Bilinenler: Basit donatılı kiriş ( $A_{s1}=A_s$ ), denge altı ( $\sigma_{s1}=-f_{yd}$ ),  $N=0$  ve  $b=b_w$

İstenen:  $M$

Çözüm:

$$N=0 \text{ için } 0.85 f_{cd} k_1 c b_w + A_s(-f_{yd})=0$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b_w = A_s (f_{yd})$$

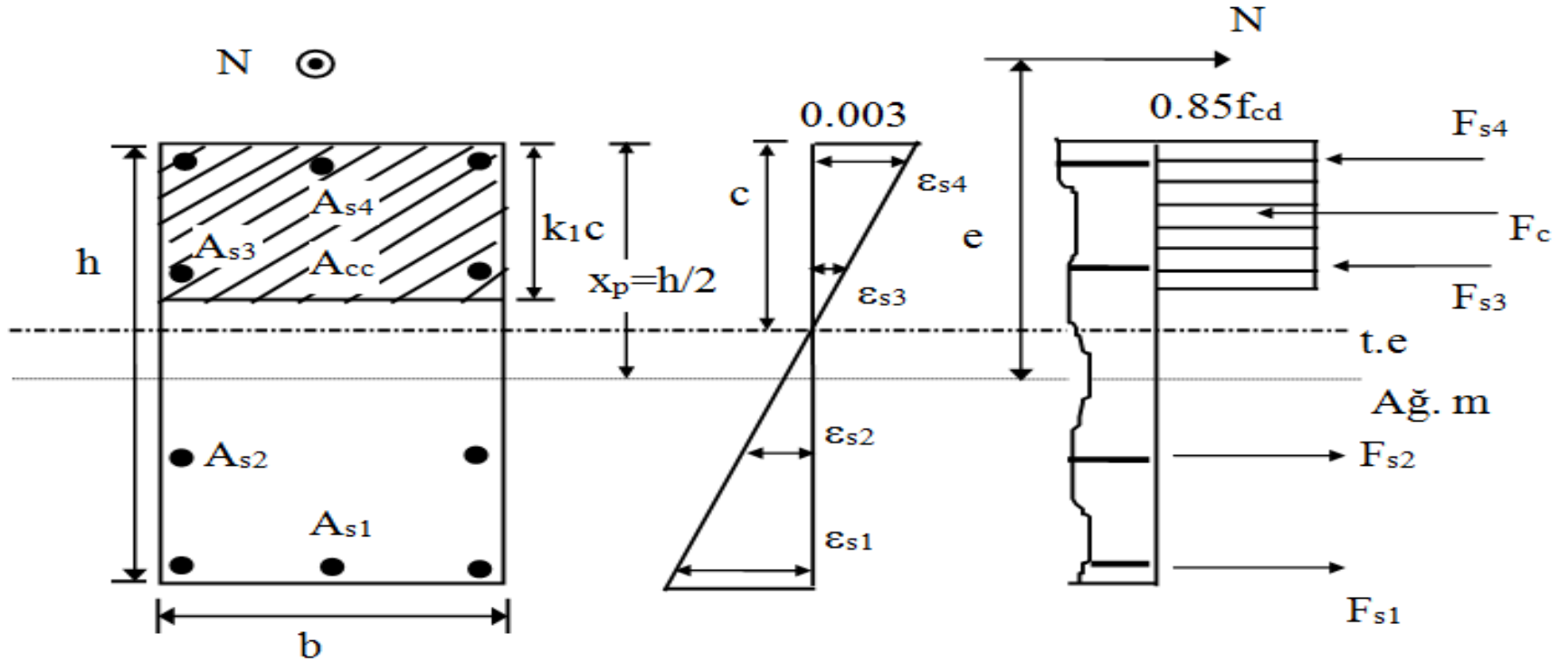
$$k_1 c = \frac{A_s f_{yd}}{0.85 f_{cd} b_w}$$

$0.85 f_{cd} k_1 c b_w$  yerine  $A_s (f_{yd})$  yazılırsa;

$$M = A_s (f_{yd}) \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s (-f_{yd}) \left\{ -\left( d - \frac{h}{2} \right) \right\}, \quad M = A_s (f_{yd}) \left( d - \frac{k_1 c}{2} \right) \text{ bulunur.}$$



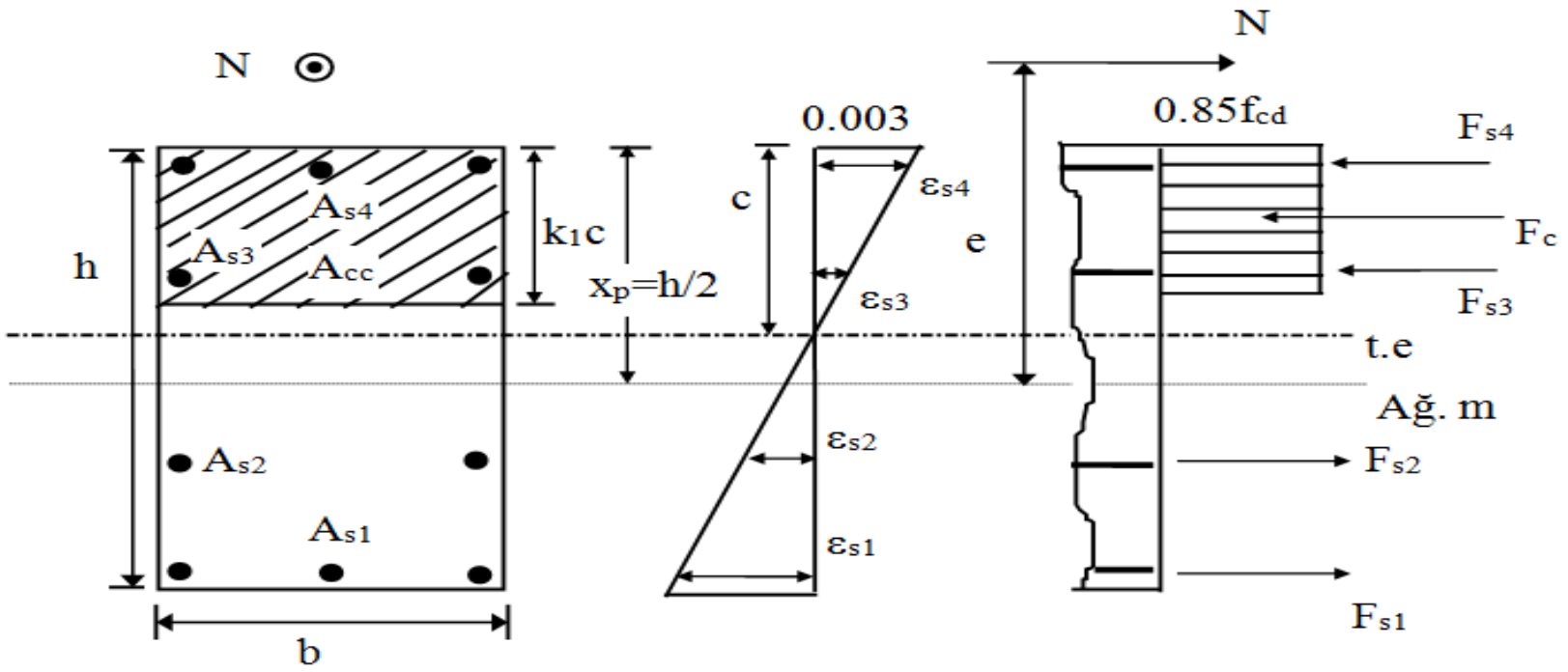
# Karşılıklı Etki Diyagramı:



i) Önce  $e=0$  için  $N_{or}$  hesaplanır.

ii) Dengeli  $N_b$  ve  $M_b$  değerleri hesaplanır.  $\epsilon_{cu}=0.003$  ve  $\epsilon_{sy}=\epsilon_{s1}$  olacağından birim deformasyon dağılımı üçgenlerinden  $c_b$  ve  $\epsilon_{si}$  ler bulunur. Buradan  $N_b$  ve  $M_b$  değerleri hesaplanır.



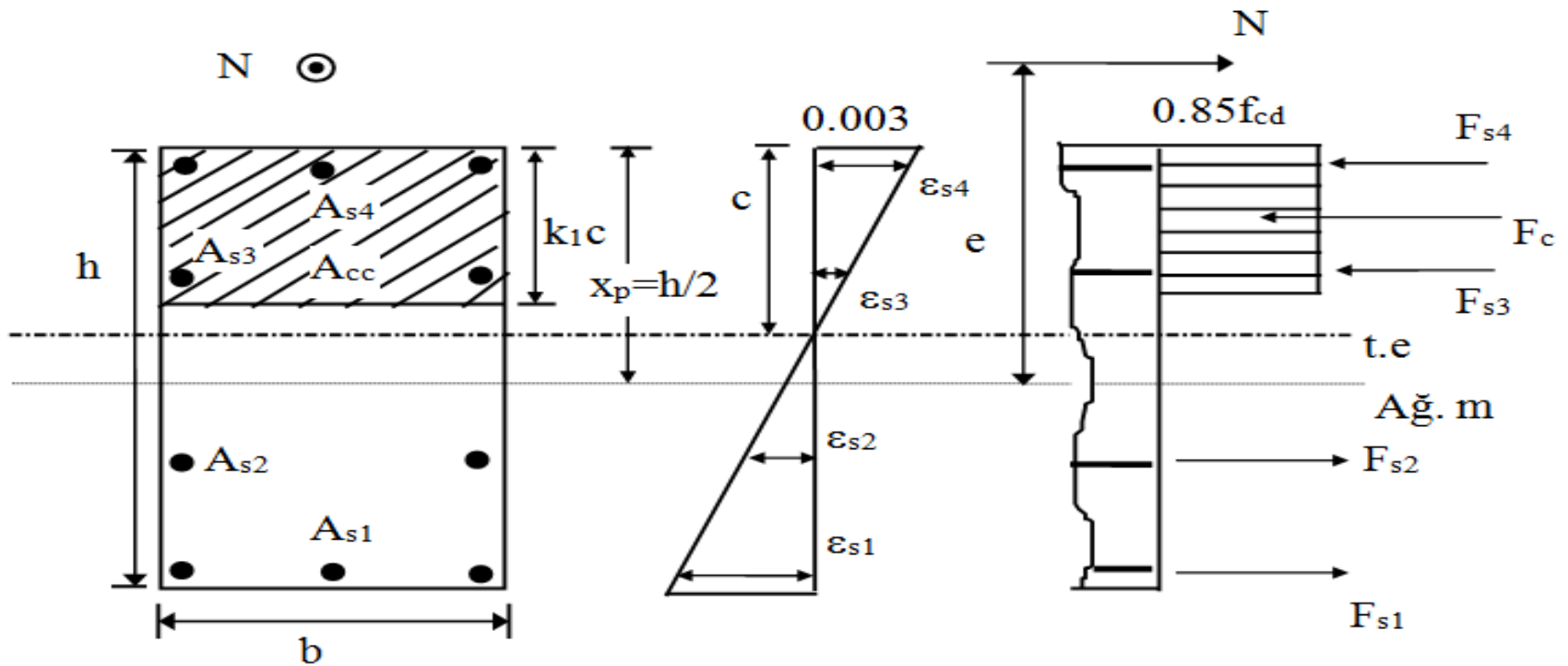


iii) Tarafsız eksen derinliği ile ilgili bir varsayım yapılır. Önce büyük bir  $c$  değerinden başlanır ( $c=1.2 h$ ).

iv)  $\varepsilon_c=0.003$  ve varsayım  $c$  ile tanımlanan birim deformasyon dağılımından tüm  $\varepsilon_{si}$  ler ve bunlara karşılık gelen  $\sigma_{si}$  ler hesaplanır.

$$\sigma_{si}=0.003E_s\left(1+\frac{x_i-h/2}{c}\right)\leq f_{yd}$$





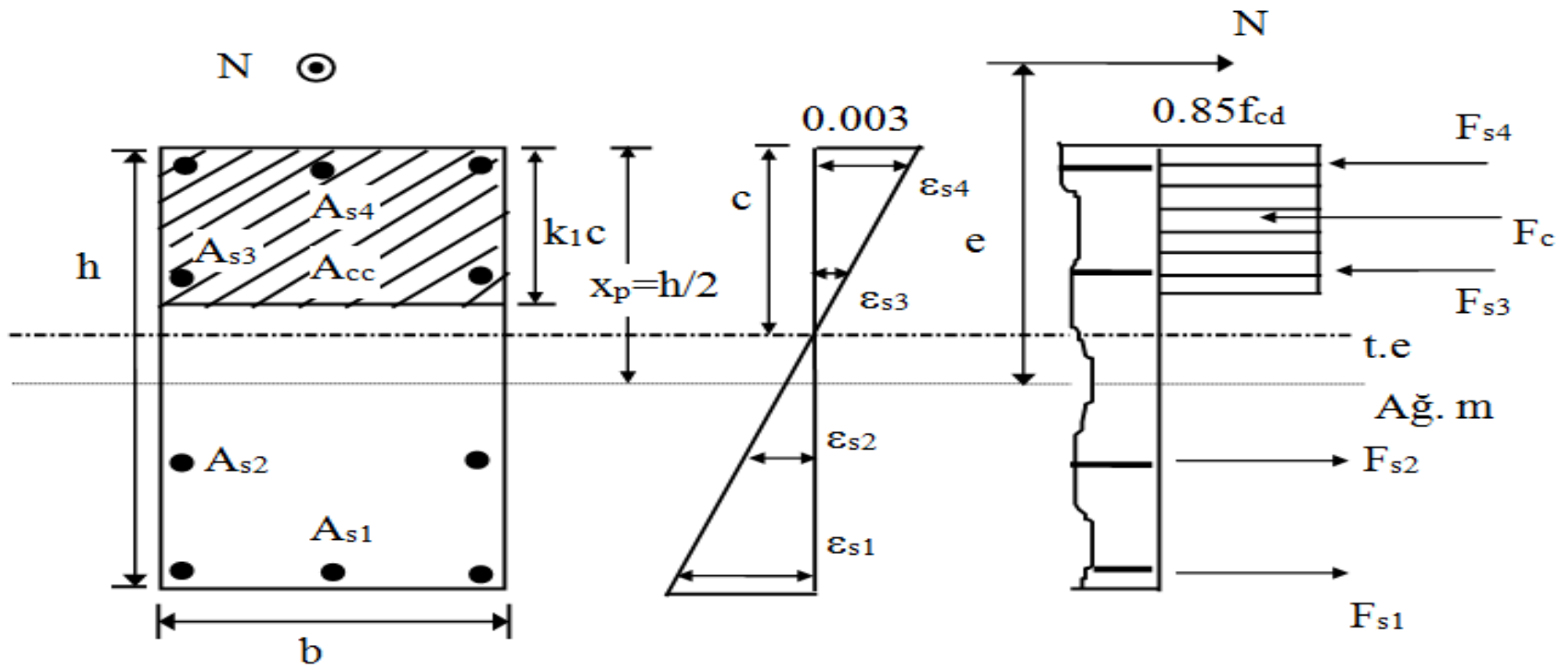
v) Değişik düzeylerdeki donatının taşıdığı kuvvetler hesaplanır.

$$(F_{si} = A_{si} \sigma_{si})$$

vi) Beton bileşkesi bulunur. ( $F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b$ )

vii)  $N$  ve  $M$  verilen denklemlerden hesaplanır. Böylece seçilen  $c$  için  $N$  ve  $M$  çifti bulunmuş olur.





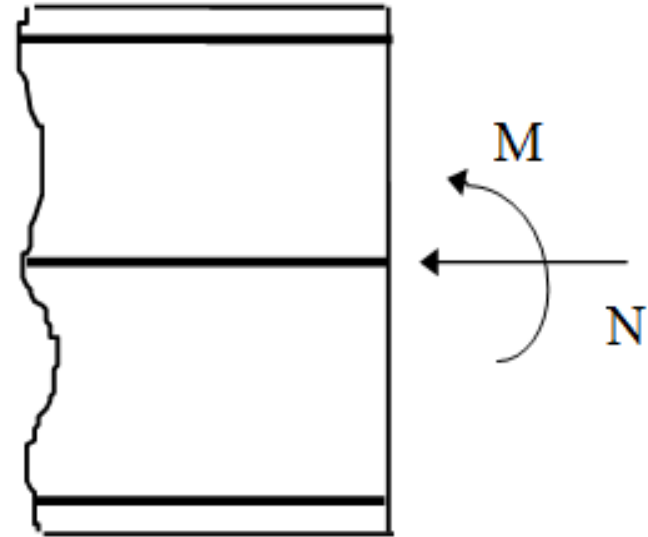
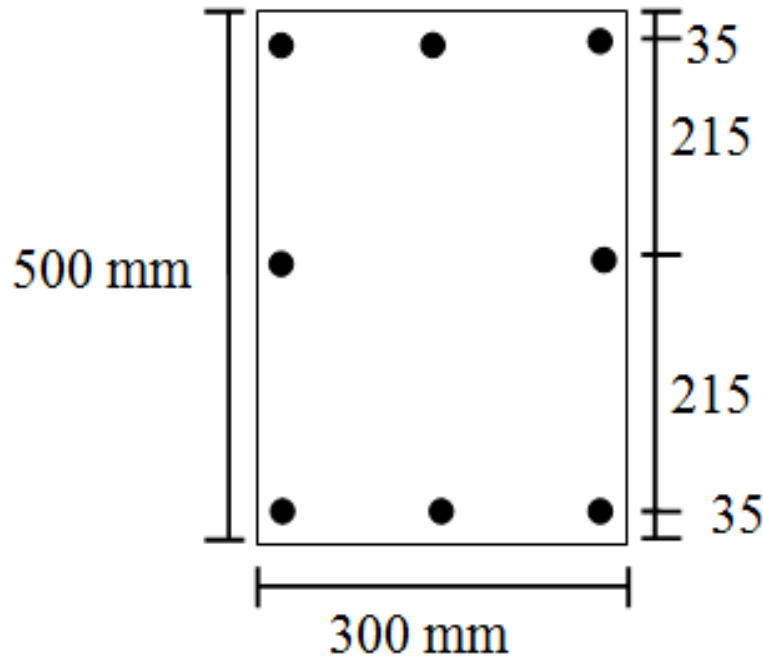
**viii)** iii adımına gidilerek  $c$  için yeni bir değer seçilir ve işlemler tekrarlanır. Yeterli sayıda  $N$  ve  $M$  bulunarak karşılıklı etki diyagramı çizilir.

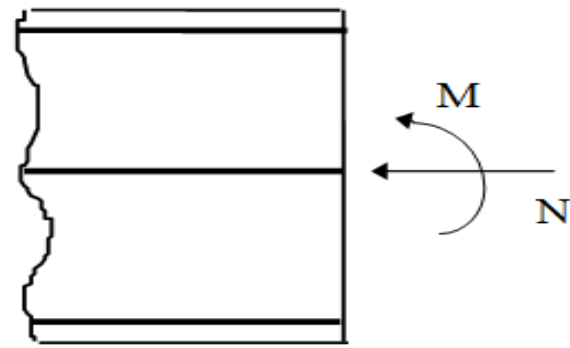
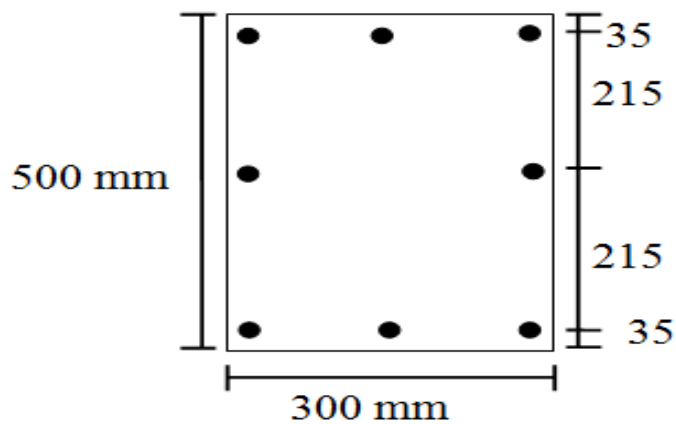


## Örnek:

Bilinenler: Şekilde gösterilen kolon kesiti , malzeme C16, S420

İstenen: Karşılıklı etki diyagramı



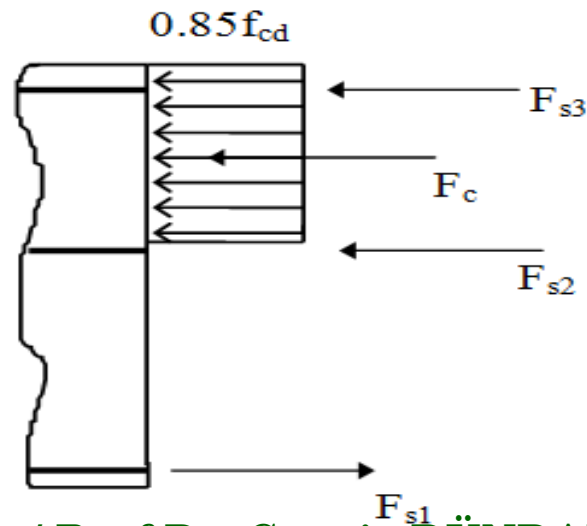
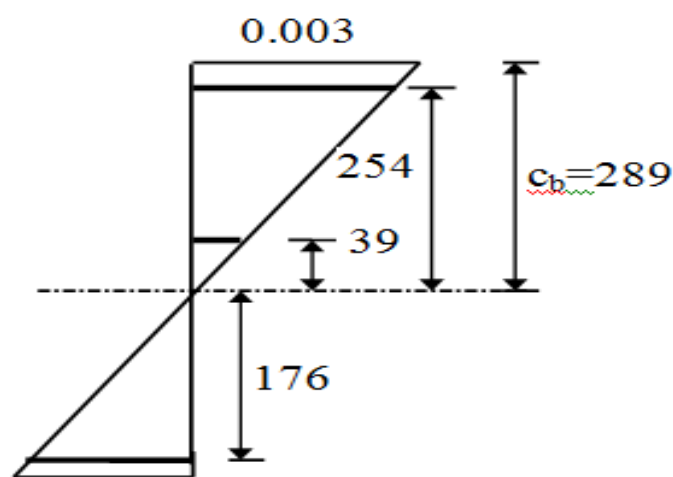


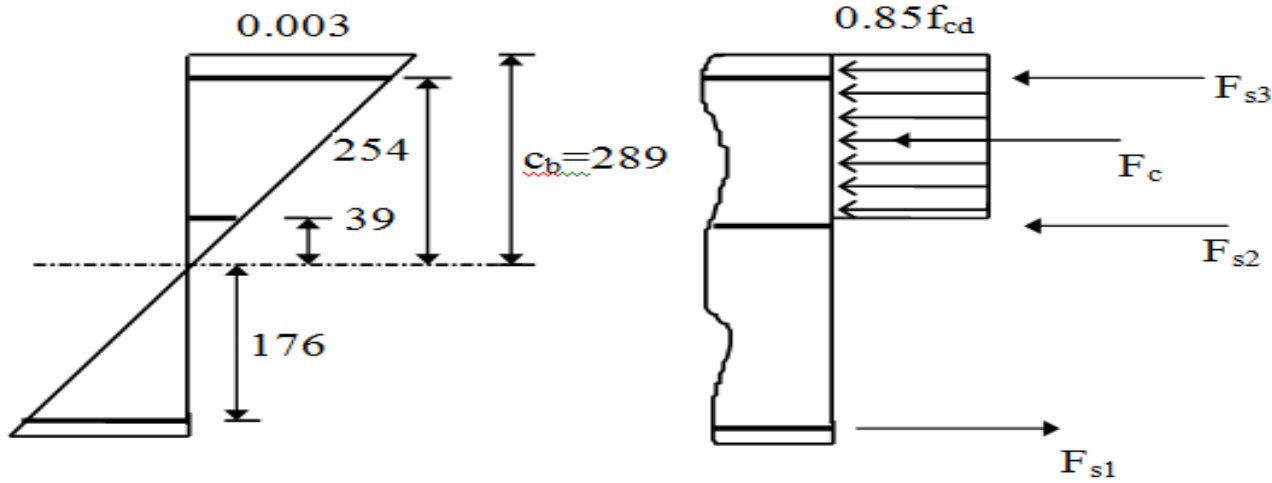
$$A_{s1} = A_{s3} = 6 \text{ cm}^2, A_{s2} = 4 \text{ cm}^2$$

$$i) N_{or} = 0.85 f_{cd} b h + A_{st} f_{yd} = 1985 \text{ kN}, M = 0$$

$$ii) \text{Dengeli durum, } \epsilon_c = 0.003, \epsilon_{s1} = \epsilon_{sy} = 0.001825$$

$$c_b = 0.003 \frac{500 - 35}{0.001825 + 0.003} = 289 \text{ mm} \quad k_1 c_b = 246 \text{ mm}$$





$$\text{iii) } \varepsilon_{s2} = \frac{39}{289} 0.003 = 0.000405, \quad \sigma_{s2} = 81 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{s3} > \varepsilon_{sy}, \quad \sigma_{s3} = 365 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{s1} = -365 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{iv) } F_{s1} = -F_{s3} = 600 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 219 \text{ kN}, \quad F_{s2} = 400 \cdot 81 \cdot 10^{-3} = 32 \text{ kN}$$

$$\text{v) } F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b = 689 \text{ kN}$$

$$\Sigma F = N_b = 689 + 219 + 32 - 219 = 721 \text{ kN}$$

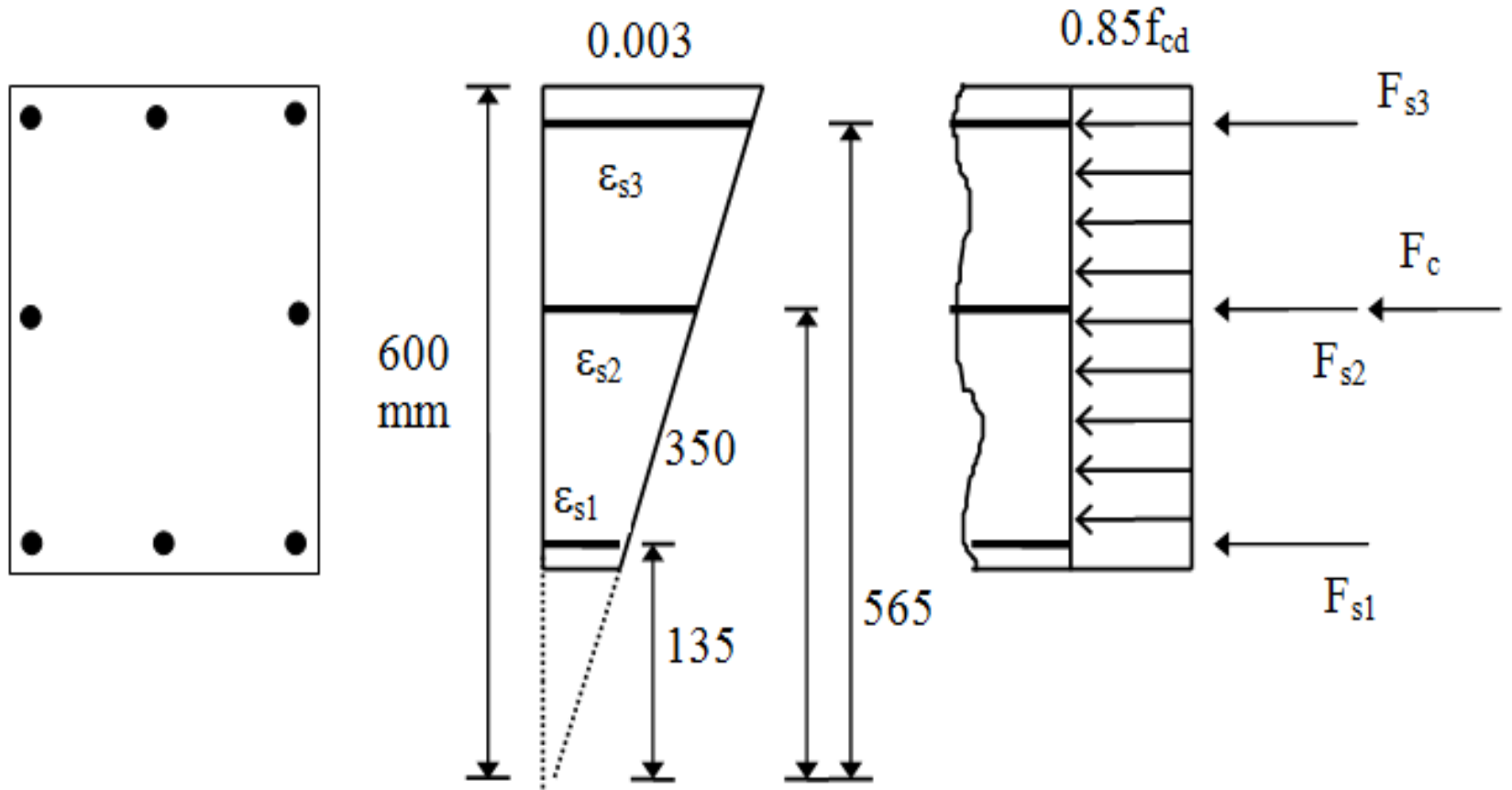
$$\Sigma M (\text{Kesit ağırlık merkezi etrafında}) = M_b$$

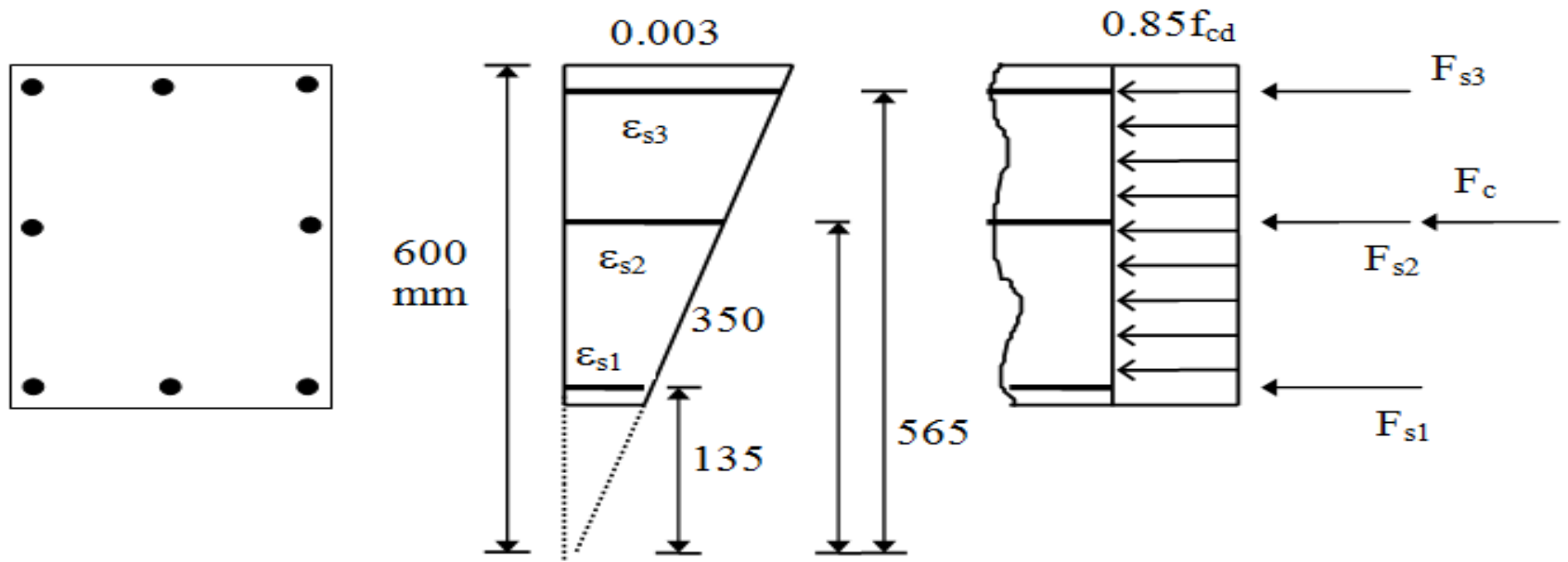
$$M_b = 219 \cdot 215 + 219 \cdot 215 + 689 \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) = 181.7 \text{ kNm}$$

$$\underline{N_b = 720 \text{ kN}}, \quad \underline{M_b = 181.7 \text{ kNm}}$$



iii) İlk değer  $c=1.2 h=60$  cm seilir.  $k_1c=51>50$  old.  $k_1c=50$  cm alınır.



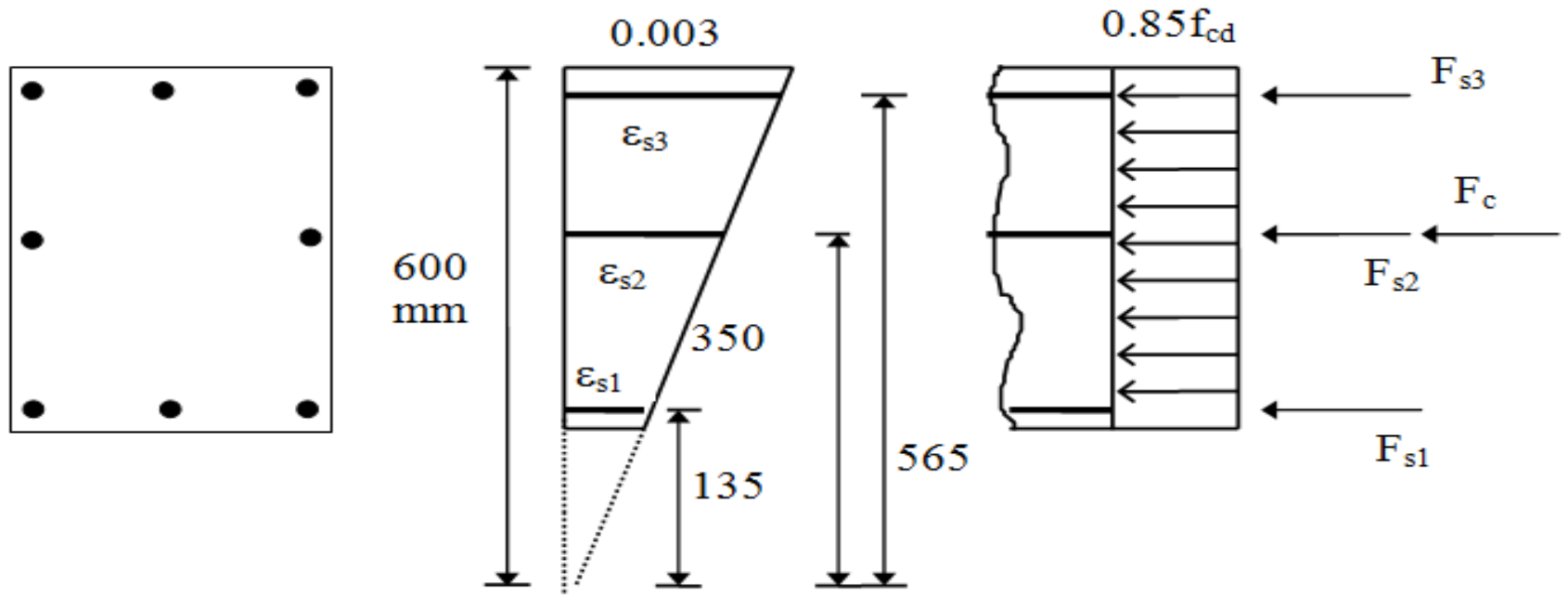


$$\text{iv) } \varepsilon_{s1} = 0.000675, \quad \sigma_{s1} = 135 \text{ N/mm}^2, \quad F_{s1} = 600 * 135 * 10^{-3} = 81 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s2} = 0.00175, \quad \sigma_{s2} = 350 \text{ N/mm}^2, \quad F_{s2} = 400 * 350 * 10^{-3} = 140 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s3} > \varepsilon_{sy}, \quad \sigma_{s3} = 365 \text{ N/mm}^2, \quad F_{s3} = 600 * 365 * 10^{-3} = 219 \text{ kN}$$





$$\text{vi) } F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b = 0.85 * 11 * 500 * 300 * 10^{-3} = 1400 \text{ kN}$$

Tüm kuvvetler basınç olduğundan işaretleri (+) dır.

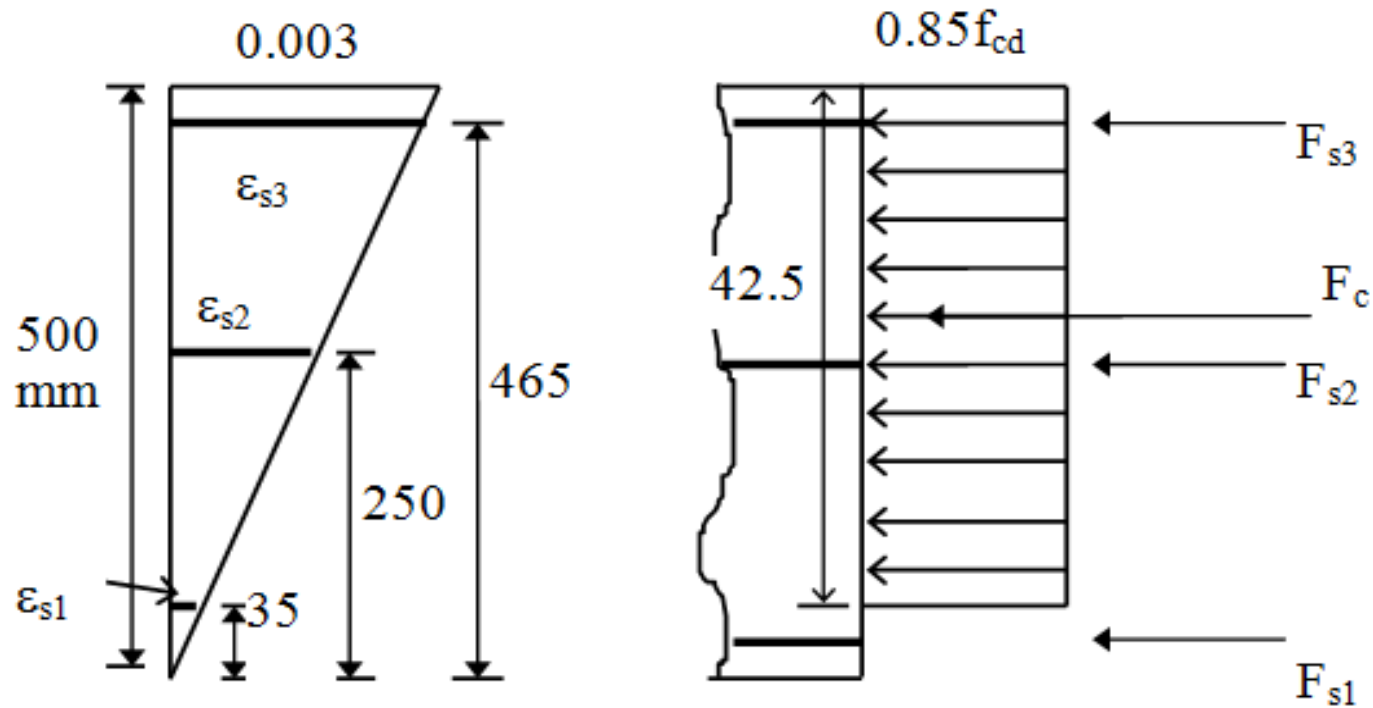
$$\text{vii) } N = \Sigma F = 81 + 140 + 219 + 1400 = 1840 \text{ kN}$$

$$M = 215(219 - 81) + 140 * 0 + 1400 \left( \frac{500}{2} - \frac{500}{2} \right) = 29700 \text{ kN mm}$$

$$\underline{N = 1840 \text{ kN} \quad M = 29.7 \text{ kN m}}$$



iii)  $c=50 \text{ cm}$  ,  $k_1c=42.5 \text{ cm}$

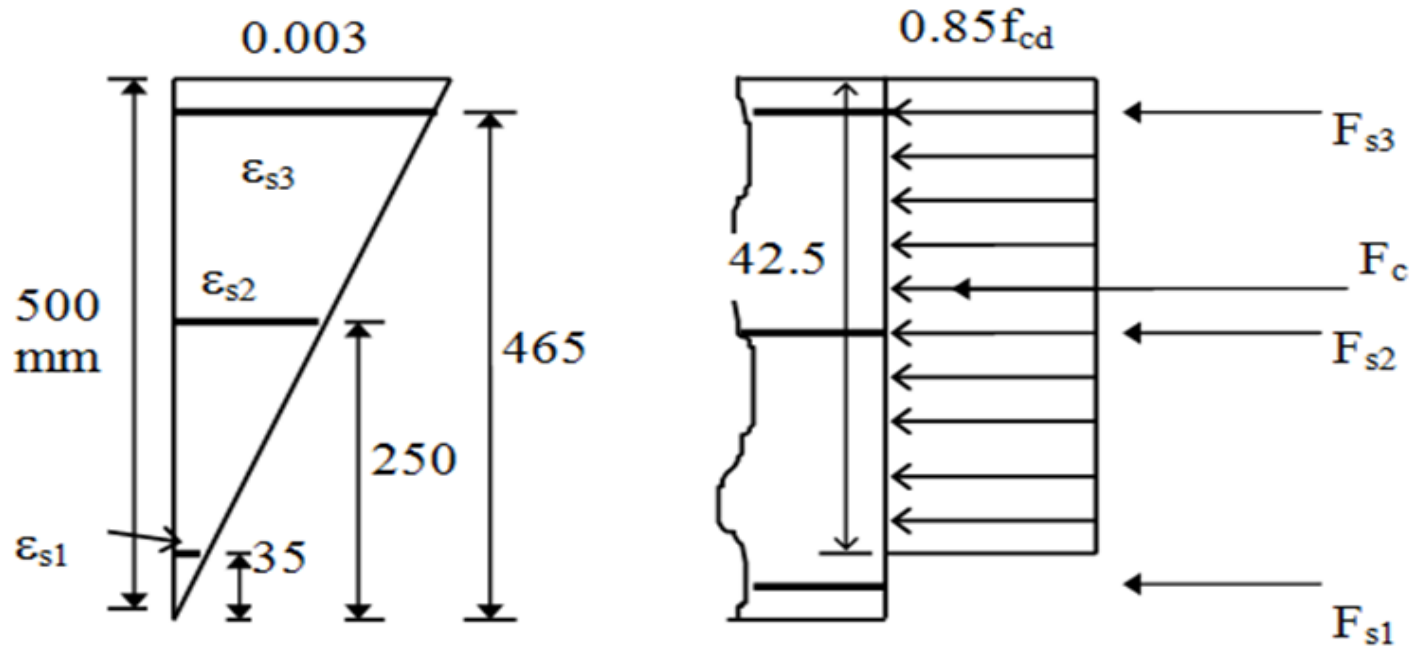


$$\text{iv ve v) } \epsilon_{s1} = \frac{35}{500} 0.003 = 0.00021, \quad \sigma_{s1} = 42 \text{ N/mm}^2 \quad F_{s1} = 25 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = 0.0015, \quad \sigma_{s2} = 300 \text{ N/mm}^2 \quad F_{s2} = 120 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s3} > \epsilon_{sy}, \quad \sigma_{s3} = 365 \text{ N/mm}^2 \quad F_{s3} = 219 \text{ kN}$$





$$\text{vi) } F_c = 0.85 * 11 * 425 * 300 * 10^{-3} = 1192 \text{ kN}$$

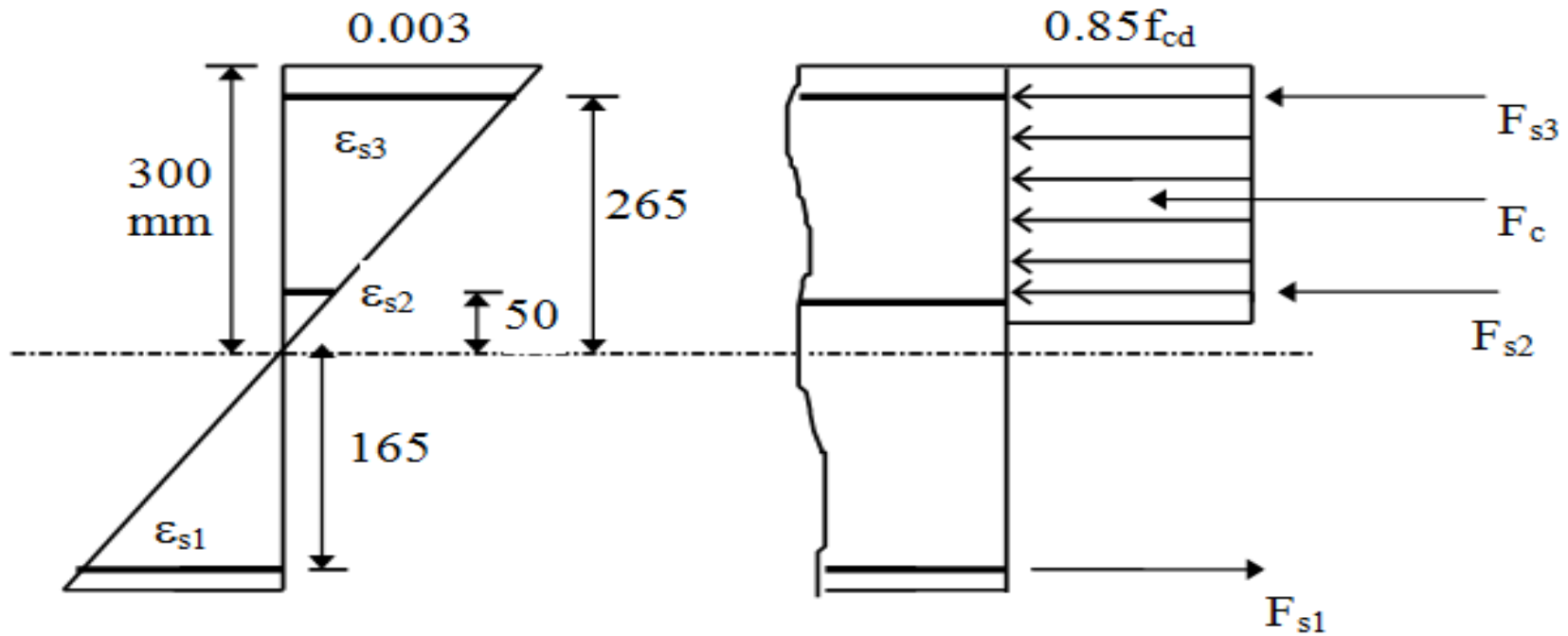
$$\text{vii) } N = \Sigma F = 1192 + 219 + 120 + 25 = 1556 \text{ kN}$$

$$M = 215(219 - 25) + 120 \cdot 0 + 1192 \left( 250 - \frac{425}{2} \right) = 86400 \text{ kN mm}$$

$$\underline{N = 1556 \text{ kN} \quad M = 86.4 \text{ kN m}}$$



iii)  $c=30$  cm ,  $k_1c=25.5$  cm

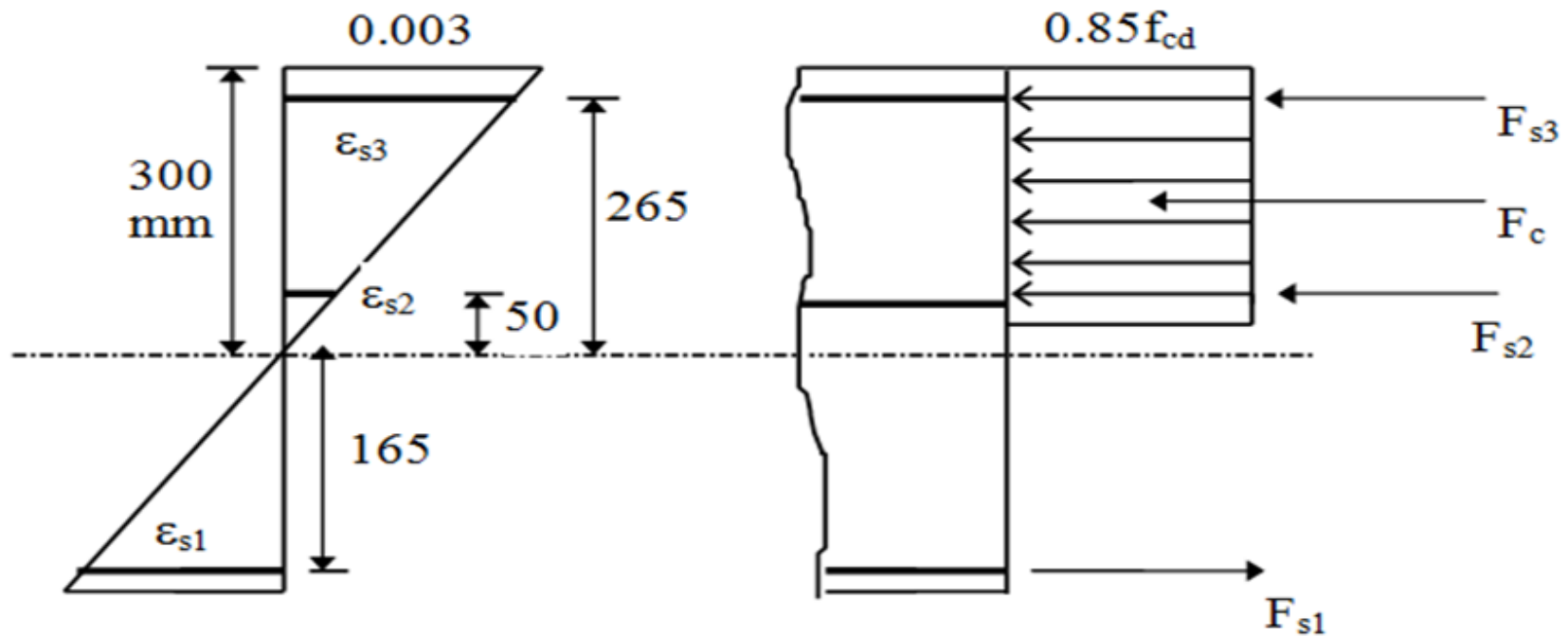


iv)  $\epsilon_{s1} = -1.65 \cdot 10^{-3}$  ,  $\epsilon_{s2} = 5 \cdot 10^{-4}$  ,  $\epsilon_{s3} > \epsilon_{sy}$

v)  $\sigma_{s1} = -330$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s2} = 100$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s3} = 365$  N/mm<sup>2</sup>

$F_{s1} = -198$  kN ,  $F_{s2} = 40$  kN ,  $F_{s3} = 219$  kN





vi)  $F_c = 715 \text{ kN}$

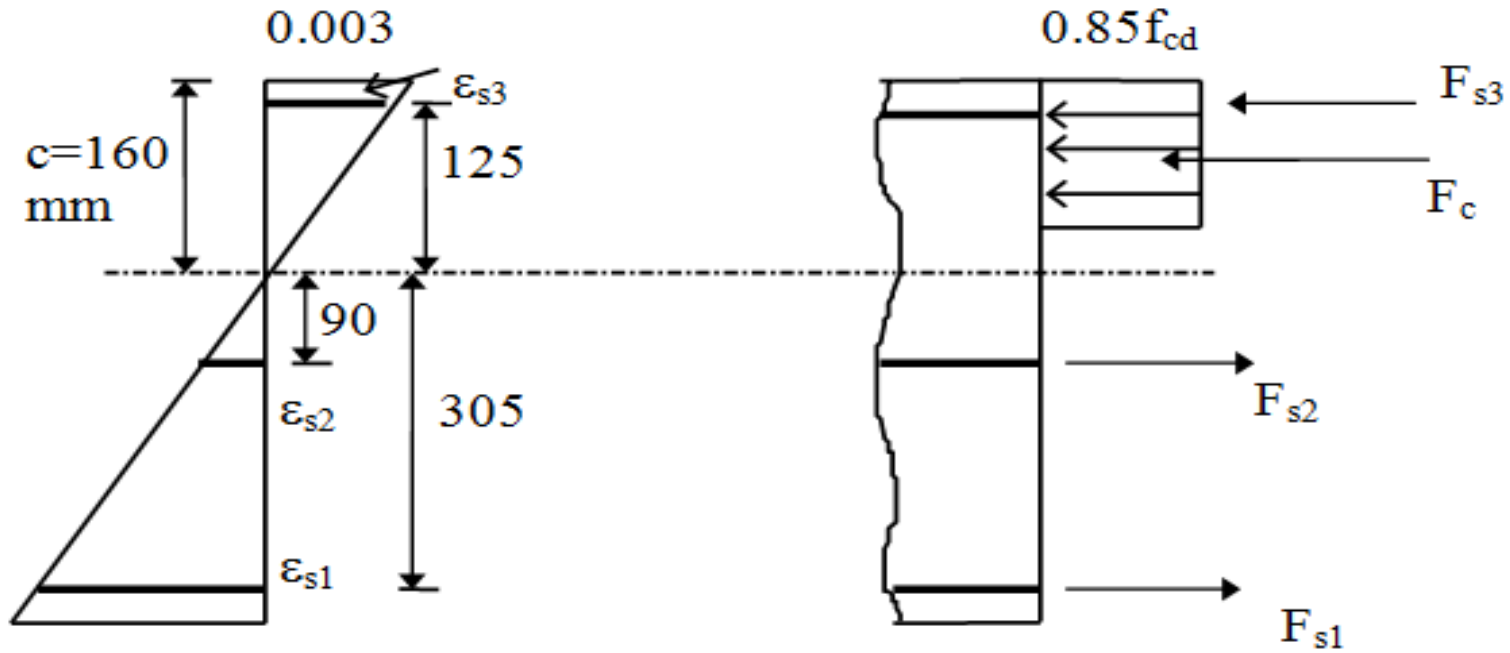
vii)  $N = \sum F = 219 + 40 - 198 + 715 = 776 \text{ kN}$

$$M = 215(219 + 198) + 40 \cdot 0 + 715 \left( \frac{500}{2} - \frac{255}{2} \right) = 177200 \text{ kN mm}$$

$N = 776 \text{ kN}$     $M = 177.2 \text{ kN m}$



iii)  $c=160 \text{ mm}$  ,  $k_1c=13.6 \text{ cm}$

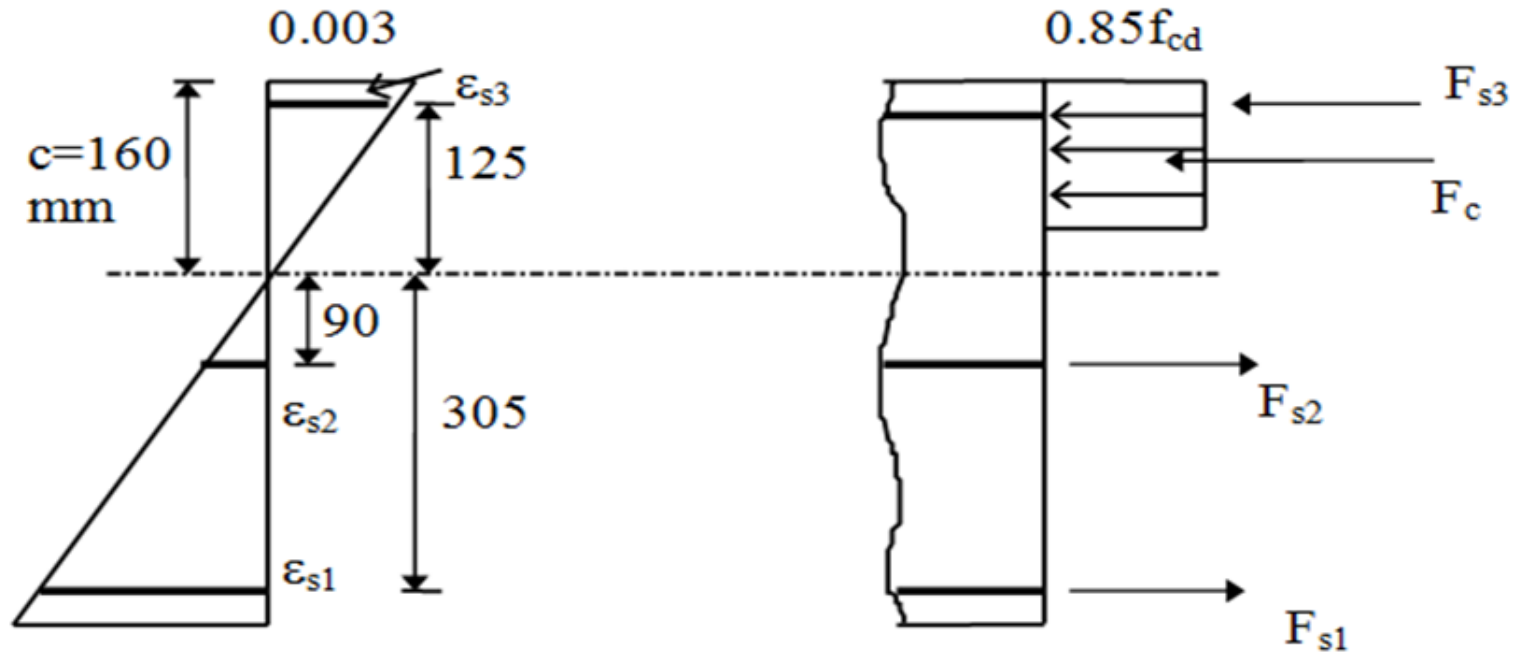


iv ve v)  $\epsilon_{s1} > \epsilon_{sy}$  ,  $\sigma_{s1} = -365 \text{ N/mm}^2$  ,  $F_{s1} = -219 \text{ kN}$

$\epsilon_{s2} = 1.7 \cdot 10^{-3}$  ,  $\sigma_{s2} = -338 \text{ N/mm}^2$  ,  $F_{s2} = -135 \text{ kN}$

$\epsilon_{s3} > \epsilon_{sy}$  ,  $\sigma_{s3} = 365 \text{ N/mm}^2$  ,  $F_{s3} = 219 \text{ kN}$





vi)  $F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b = 382 \text{ kN}$

vii)  $N = 382 + 219 - 135 - 219 = 247 \text{ kN}$

$$M = 215(219 + 219) + 135 \cdot 0 + 382(250 - 68) = 163700 \text{ kN mm}$$

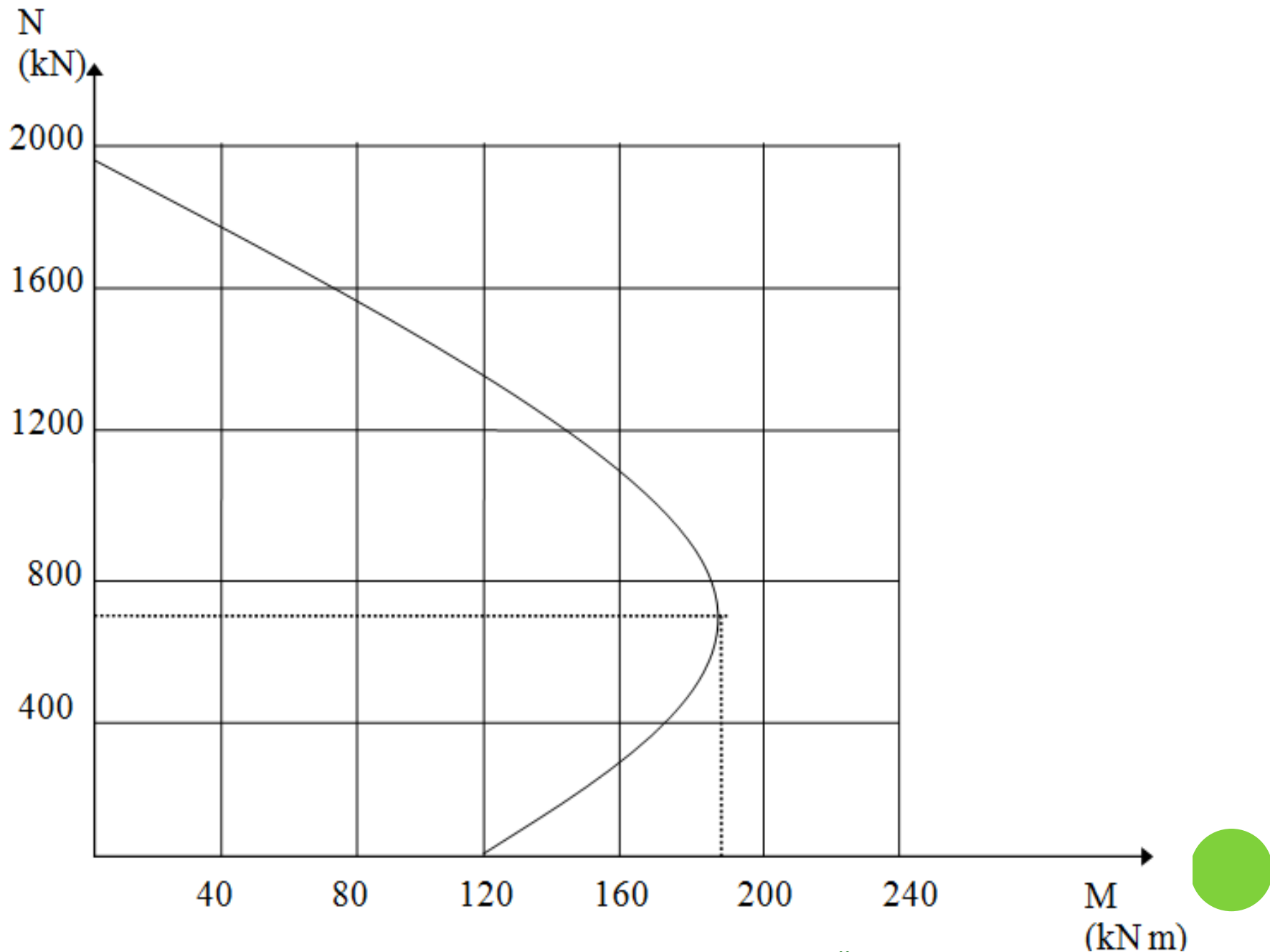
$N = 247 \text{ kN}$     $M = 163.7 \text{ kN m}$



<b>c</b>	<b><math>\omega</math></b>	<b>600</b>	<b>500</b>	<b>450</b>	<b>400</b>	<b>300</b>
<b>N</b>	1980	1840	1560	1390	1200	780
<b>M</b>	0	29.7	86.4	113	136	177

<b>c</b>	<b>290</b>	<b>250</b>	<b>200</b>	<b>160</b>	<b>100</b>
<b>N</b>	720	600	420	250	90
<b>M</b>	181.7	180	172	164	144

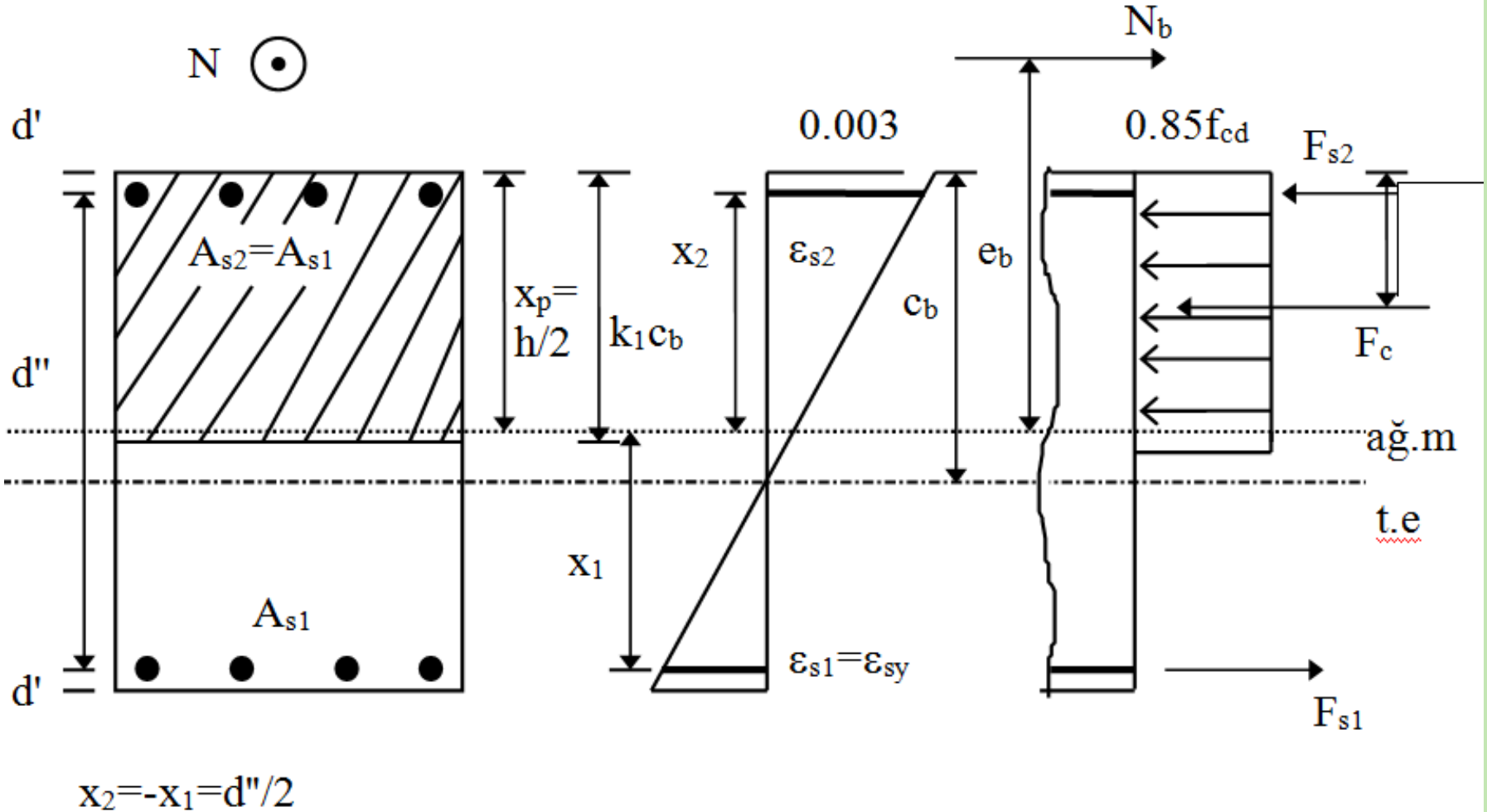




# İKİ YÜZÜ DONATILI DİKDÖRTGEN KESİTLER

( Simetrik Donatılı )

Dengeli Durum:







## Çekme Kırılması:

Tanım gereği:

1)  $\epsilon_{s1} > \epsilon_{sy}$  ve  $\sigma_{s1} = -f_{yd}$

2) Eksenel yükün çok düşük olduğu durumlar dışında  $\sigma_{s2} = f_{yd}$  varsayılabilir.

$\left( \frac{N_d}{b h f_{cd}} \geq 0.72 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \left( \frac{d'}{h} \right) \right)$  olduğu durumlarda basınç donatısı akar).

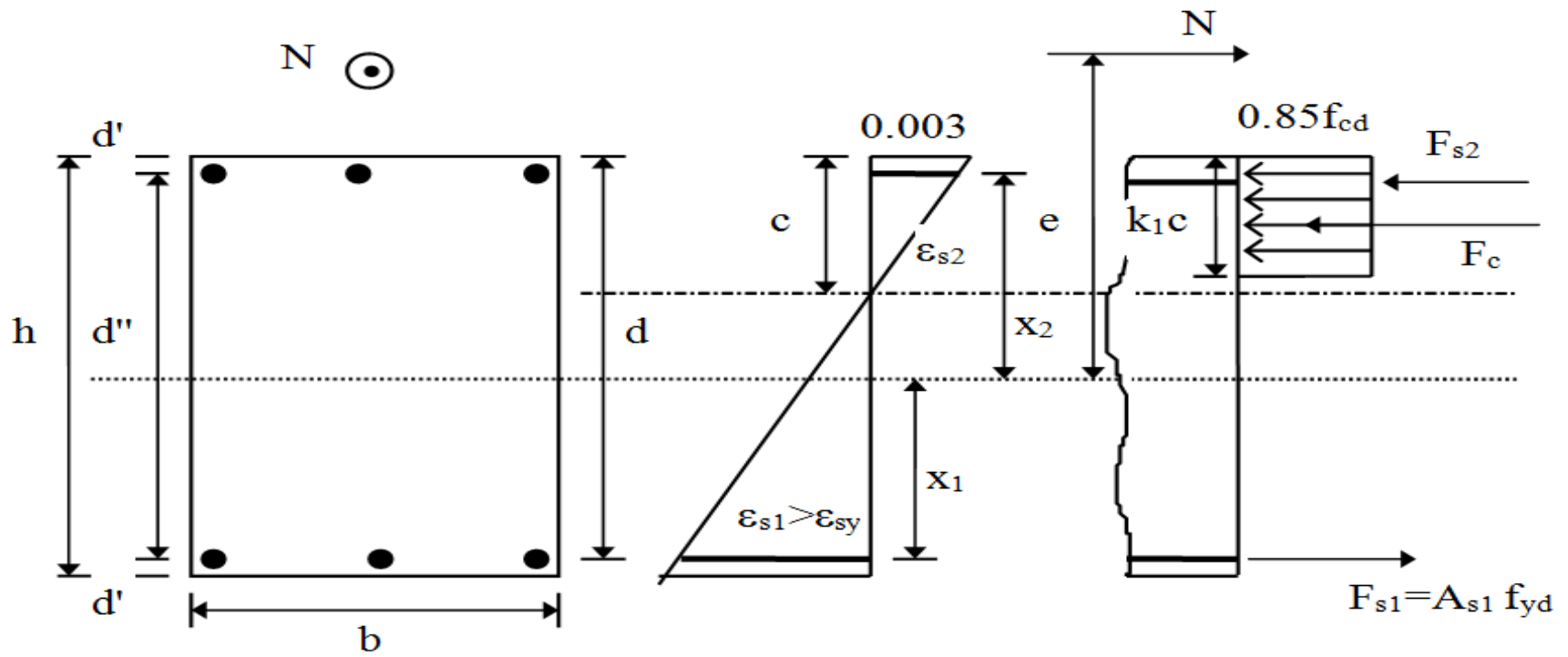
3)  $A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{st}}{2}$

4)  $x_p = \frac{h}{2}$  ve  $x_2 = -x_1 = d''/2$

Sınır durumda basınç donatısındaki birim kısalma  $\epsilon_{sy}$  değerine ulaşacaktır

( $\epsilon_{s2} = \epsilon_{sy}$ ). Tanım gereği çekme donatısı akmış olacağından  $\sigma_{s2} = -\sigma_{s1} = f_{yd}$





Benzer üçgenlerden uygunluk denklemi:

$$\frac{\varepsilon_{s2}}{0.003} = \frac{c - d'}{c}$$

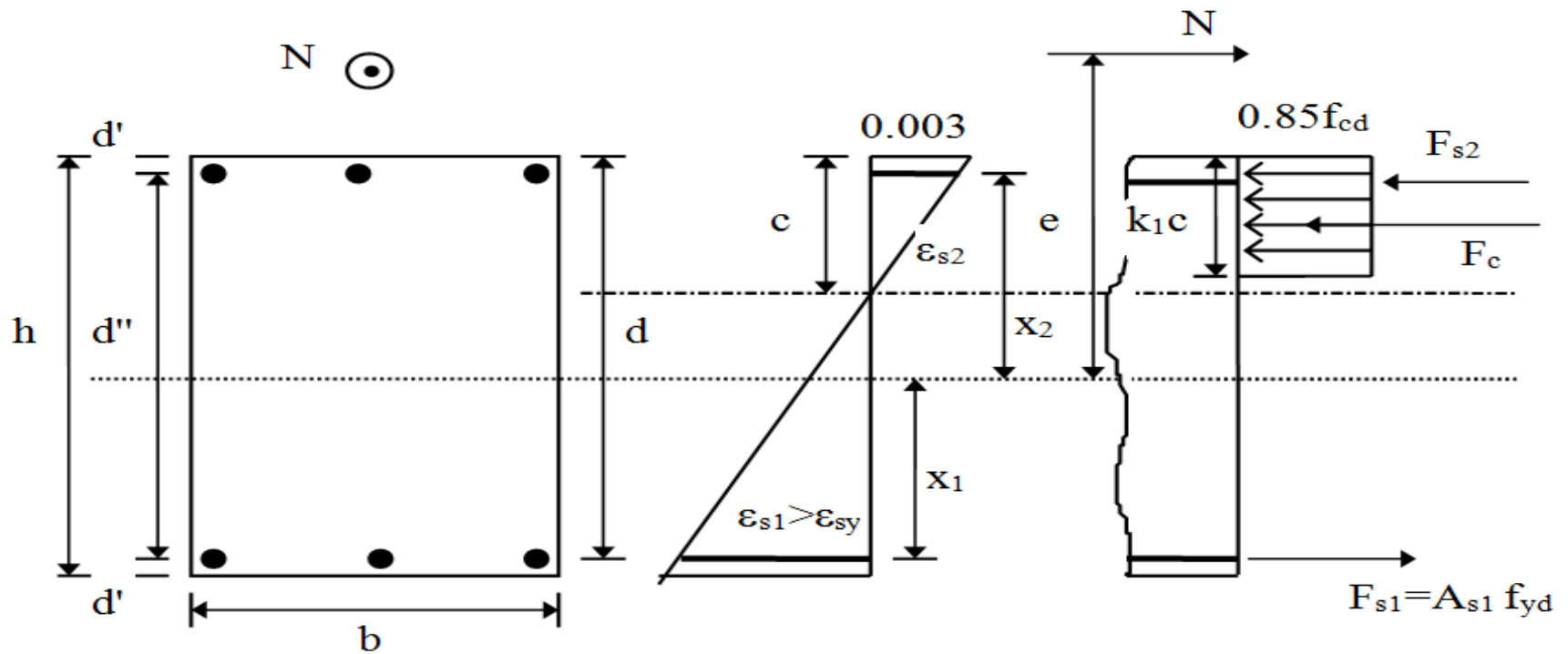
$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{sy} = f_{yd}/E_s$  olduğundan;

$$c = \frac{0.003 E_s d'}{0.003 E_s - f_{yd}}, \text{ denge denklemi;}$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} \sigma_{s2} + A_{s1} \sigma_{s1}$$

$\sigma_{s2} = -\sigma_{s1} = f_{yd}$  ve  $c$  nin değeri yerine konursa;





$$N_c = 0.85 f_{cd} k_1 \frac{0.003 E_s d'}{0.003 E_s - f_{yd}} b + \frac{A_{st}}{2} f_{yd} - \frac{A_{st}}{2} f_{yd}$$

Denklemin her iki tarafı  $b h f_{cd}$  ye bölünürse ve  $k_1 = 0.85$  alınırsa;

$$\psi_c = \frac{N}{b h f_{cd}} = 0.72 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \left( \frac{d'}{h} \right), \text{ hesaplanan } \psi \text{ değeri } \psi_c \text{ den büyükse}$$

basınç donatısı akar.



Yukarıda verilen değerler denklemde yerine konursa;

$$N=0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} - A_{s1} f_{yd}$$

$N=0.85 f_{cd} k_1 c b$  elde edilir.

$$M=N e=0.85 f_{cd} k_1 c b \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} x_i$$

$$M=N \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} f_{yd} d'' , \text{ ifadesi bulunur.}$$



Eksenel yükün çok düşük düzeyde olduğu durumlarda,

$$\frac{N}{b h f_{cd}} < 0.72 \frac{d'}{h} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \quad \text{basınç donatısı akma konumuna}$$

ulaşmayacağından uygunluk denklemi yardımıyla  $\sigma_{si}$  değerlerini bulmak gerekir.

$$\sigma_{s2} = 0.003 E_s \left( 1 + \frac{\frac{d''}{2} - \frac{h}{2}}{c} \right)$$

$$\sigma_{s2} = 0.003 E_s \left( 1 - \frac{d'}{c} \right)$$

Basınç donatısının akmadığı durumlara çok az rastlanır.



## Basınç Kırılması:

Tanım gereği:

$$1) \varepsilon_{s2} > \varepsilon_{sy} \quad \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$2) \varepsilon_{s1} < -\varepsilon_{sy} \quad \sigma_{s1} < -f_{yd} \quad (\text{veya } \sigma_{s1} \leq f_{yd})$$

$$3) A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{st}}{2}$$

$$4) x_p = \frac{h}{2} \text{ ve } x_2 = -x_1 = d''/2, \text{ Bu de\u011ferler denklemlerde yerine konursa;}$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + \frac{A_{st}}{2} (f_{yd} + \sigma_{s1})$$



$$M = N e = 0.85 f_{cd} k_1 c b \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} (f_{yd} - \sigma_{s1}) \left( \frac{d''}{2} \right)$$

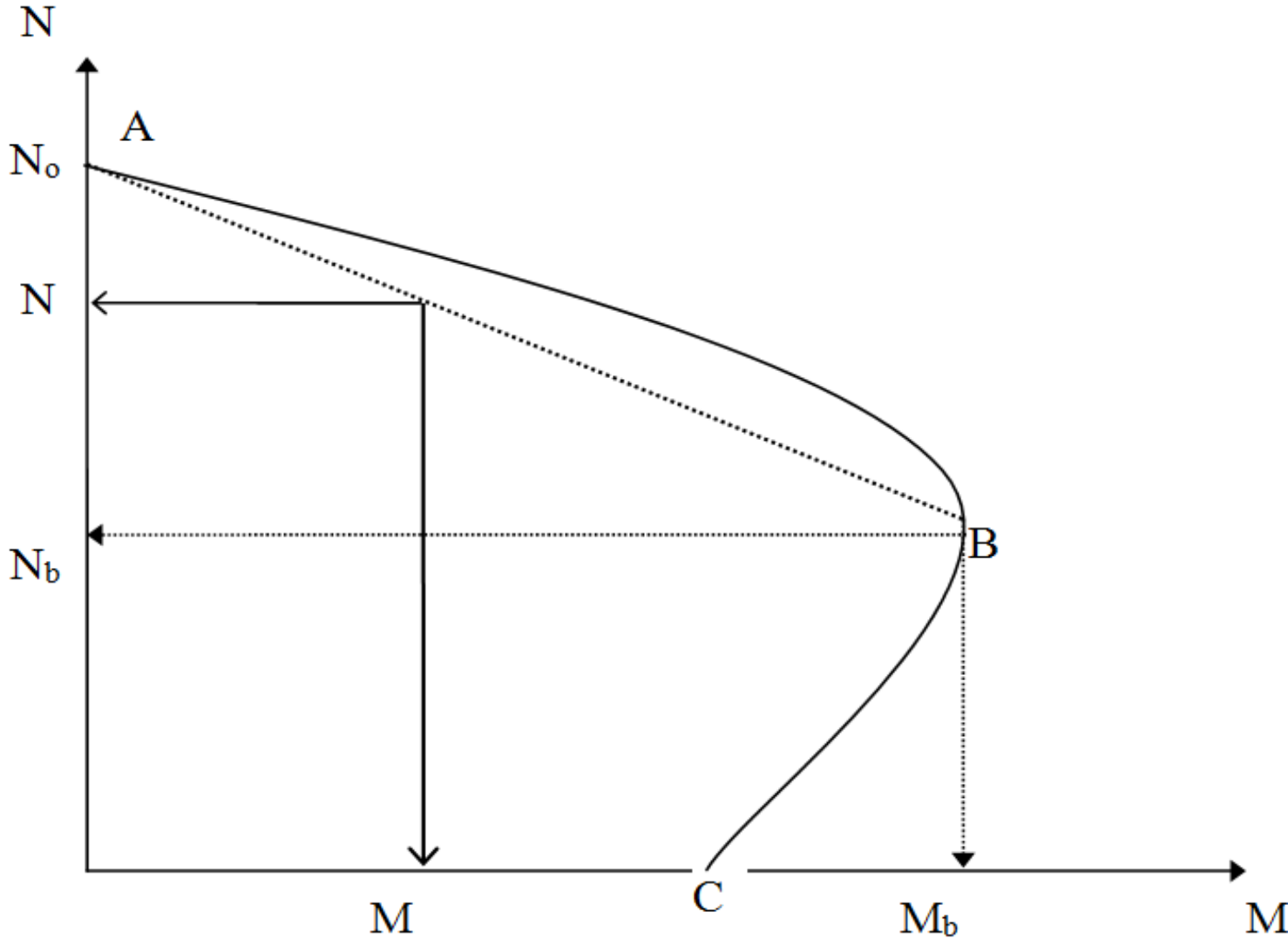
$$\sigma_{s1} = 0.003 E_s \left( 1 + \frac{\frac{d''}{2} - \frac{h}{2}}{c} \right)$$

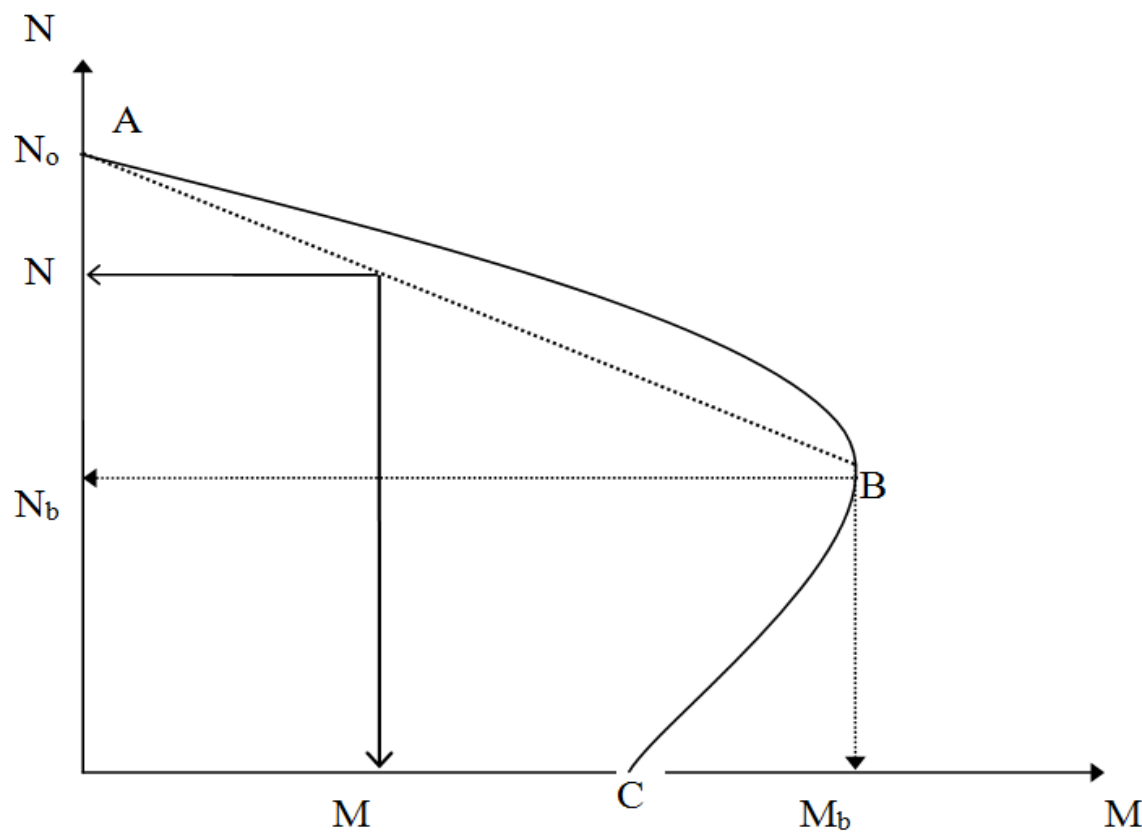
$$\sigma_{s1} = 0.003 E_s \left( 1 - \frac{d}{c} \right)$$

Basınç kırılmasında 1 olarak işaretlenen donatı, aksenal yük düzeyine göre çekme veya basınç taşıyabilir. Bu donatının çekme bölgesinde olduğu durumlarda  $\frac{d}{c} > 1$  olacağından  $\sigma_{s1}$  (-) olur. Donatının basınç bölgesinde kaldığı durumlarda  $\frac{d}{c} < 1$  olacağından donatıdaki gerilme (+) olur.



Şekilde A-B olarak gösterilen basınç kırılmasını simgeleyen eğri, düz bir çizgi ile değiştirilebilir. Bu yaklaşım önemli bir hata oluşturmaz.



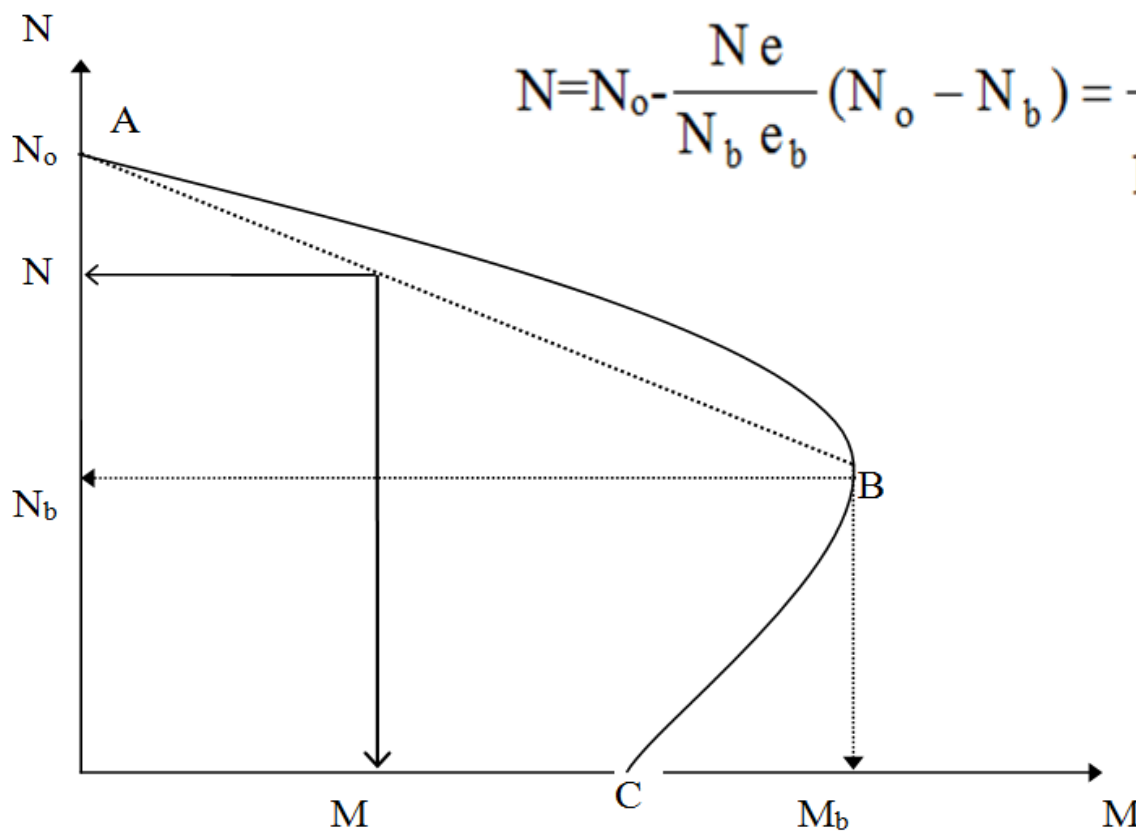


A-B eğrisi düz bir doğru ile değiştirildikten sonra benzer üçgenlerden yararlanılarak

$$\frac{N_o - N}{N_o - N_b} = \frac{M}{M_b}, \text{ buradan;}$$

$$N = N_o - \frac{M}{M_b} (N_o - N_b), \text{ buradaki momentler } N \text{ e olarak ifade edilebilir.}$$

$$N = N_o - \frac{N e}{N_b e_b} (N_o - N_b) = \frac{N_o}{1 + \frac{e}{e_b} \left( \frac{N_o}{N_b} - 1 \right)} \quad \text{elde edilir.}$$



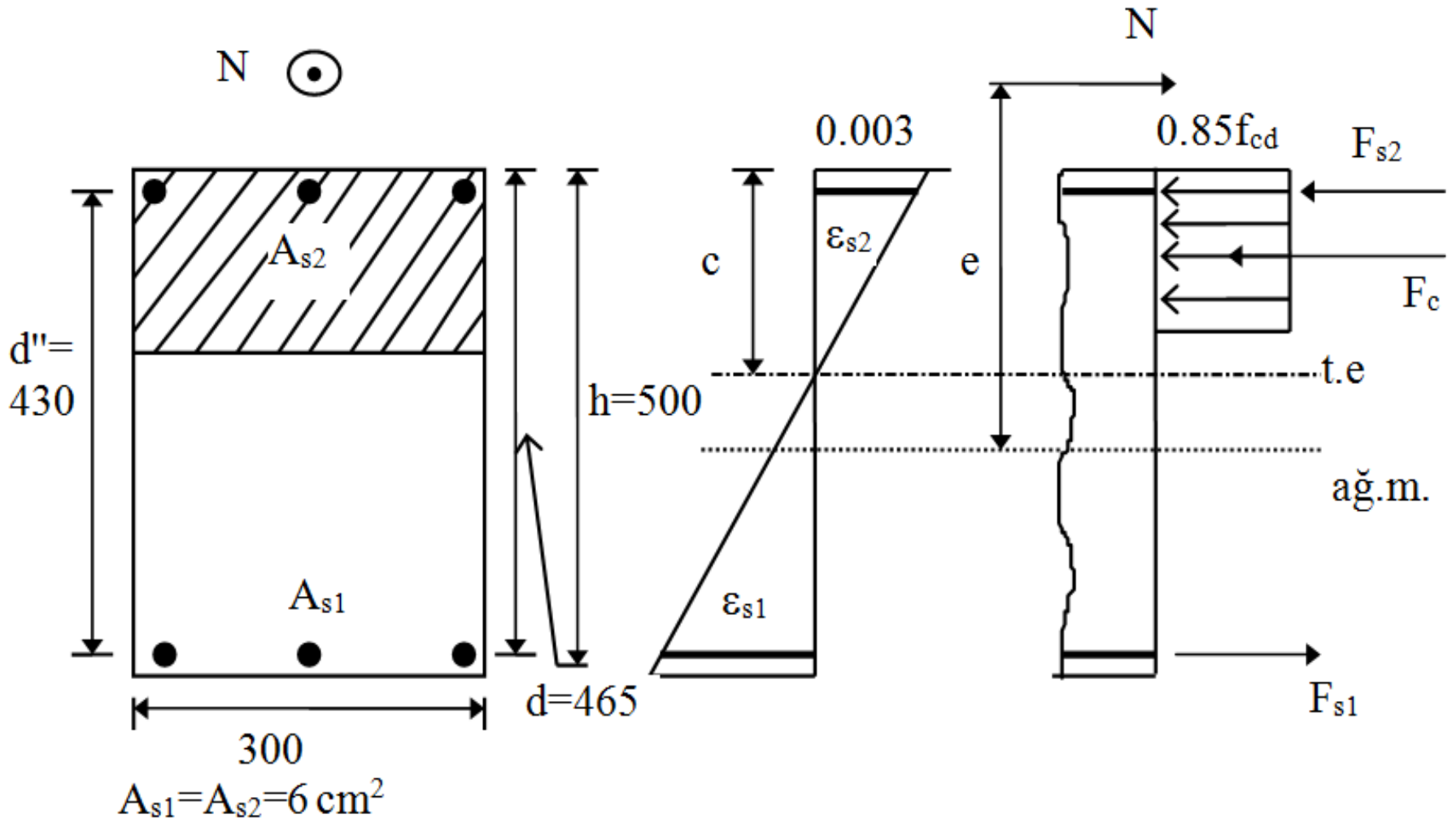
Bu denklemin kullanılabilmesi için kesitin aksenal yük kapasitesinin ( $N_o$ ) ve dengeli değerlerinin ( $e_b$  ve  $N_b$ ) bilinmesi gereklidir. Kesit geometrisi ve donatı yerleştirme düzeni ne olursa olsun geçerlidir.



## Örnek:

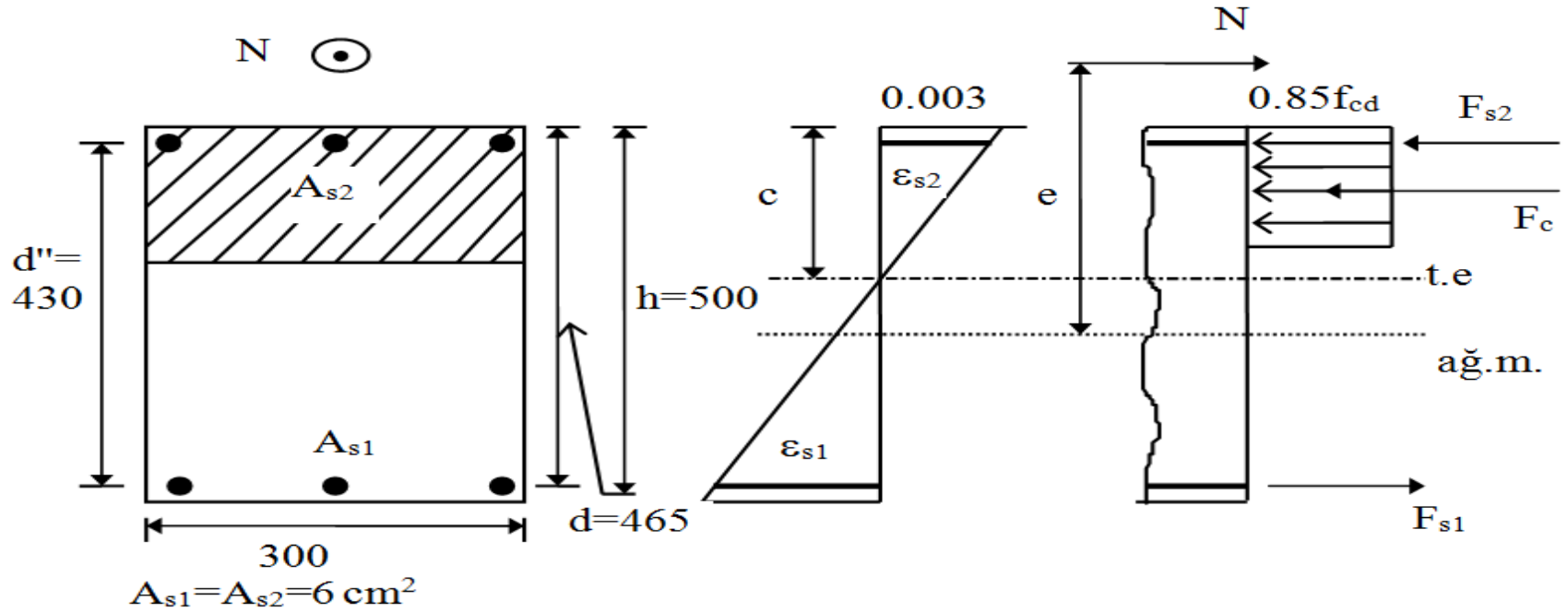
Bilinenler: Şekilde verilen kolon kesiti,  $N_d=250$  kN, Malzeme C16, S420

İstenen:  $M_r$



## Çözüm:

Önce kesitin kırılma biçimi saptanır. Eksenel yük bilindiğine göre, kırılma biçiminin saptanması, hesaplanacak dengeli eksenel yüke ( $N_b$ ) göre yapılmalıdır.



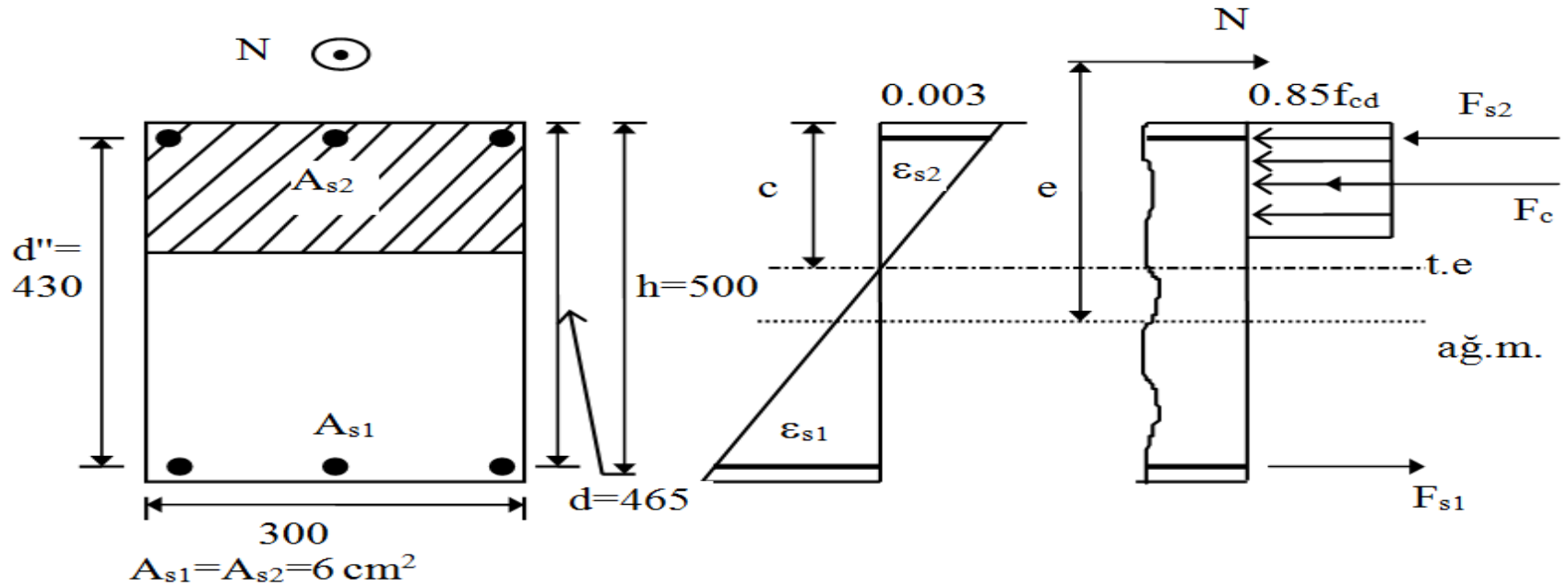
$$c_b = \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_{yd}} d = \frac{0.003 * 2 * 10^5}{0.003 * 2 * 10^5 + 365} 465 = 289 \text{ mm}$$

$$k_1 c = 246 \text{ mm}$$

$$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b = 9.35 * 246 * 300 * 10^{-3} = 686 \text{ kN}$$

$N < N_b$  olduğundan çekme kırılması oluşur. Basınç donatısının akıp akmadığı

kontrol edilmelidir.

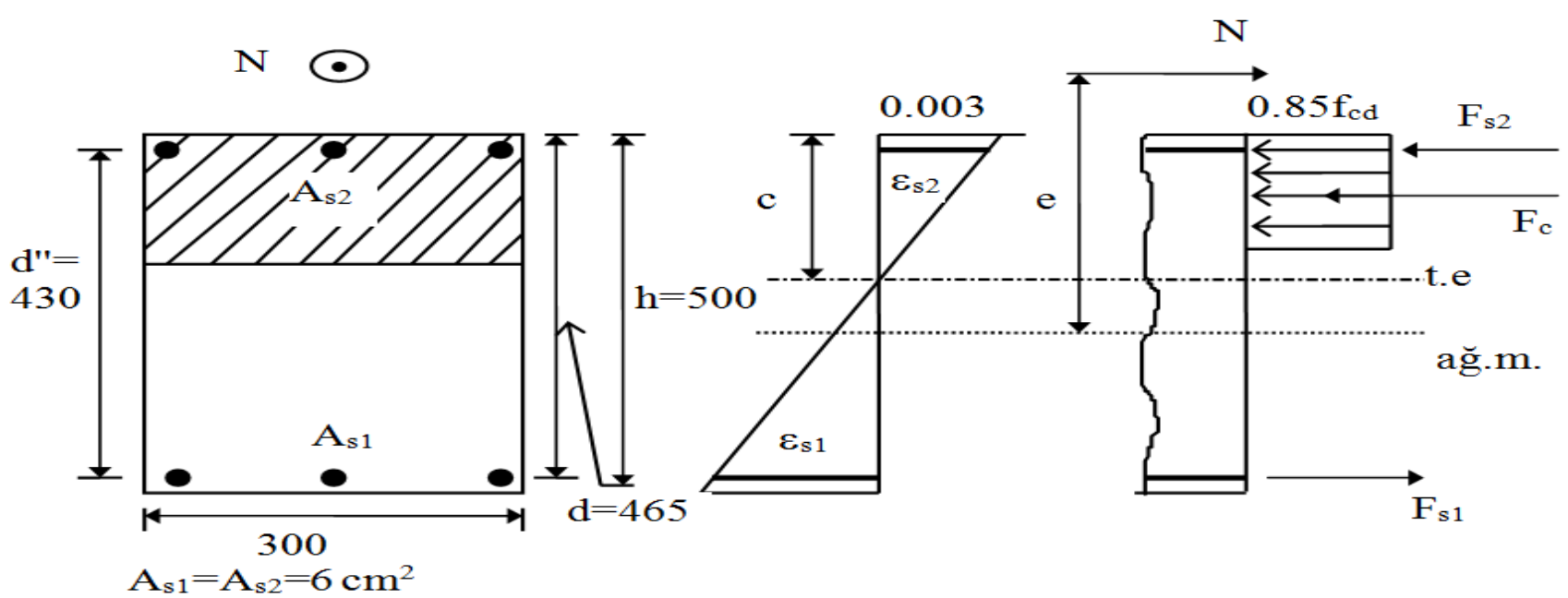


**Sınır durum:**

$$\psi_c = 0.72 \left( \frac{d'}{h} \right) \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} = 0.72 \frac{35}{500} \frac{600}{600 - 365} = 0.13$$

$$\psi = \frac{N}{b h f_{cd}} = \frac{250 \cdot 10^3}{300 \cdot 500 \cdot 11} = 0.15 > \psi_c, \text{ basınç donatısı akmıştır.}$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b$$



$$k_1 c = \frac{N}{0.85 f_{cd} b} = \frac{250 \cdot 10^3}{0.85 \cdot 11 \cdot 300} = 90 \text{ mm}$$

$$M = N \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} f_{yd} d''$$

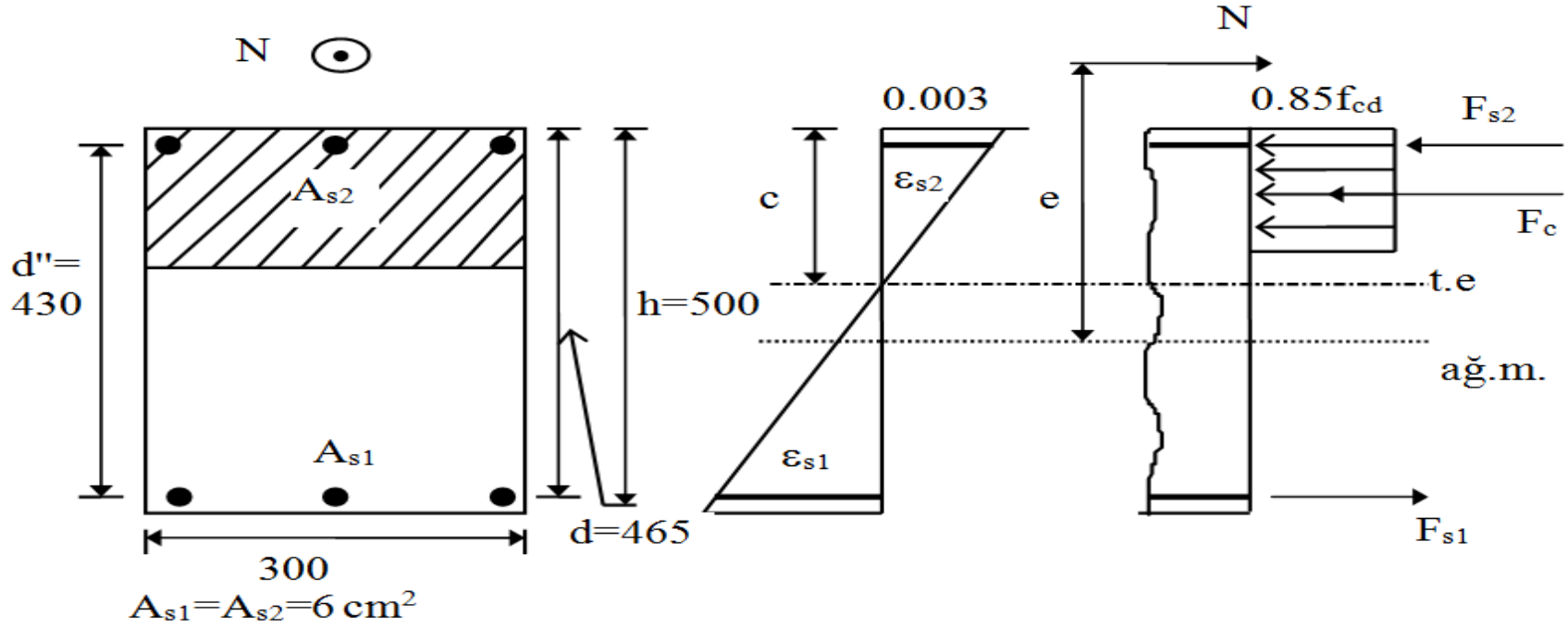
$$M = 250(250 - 45) + \frac{1200}{2} \cdot 365 \cdot 430 \cdot 10^{-3} = 145420 \text{ kN mm}$$

$$M = 145.4 \text{ kN m}$$



## Örnek:

Bilinenler: Aynı kesit,  $N_d=1200$  kN



## Çözüm:

Örnek 1 den  $N_b=686$  kN ,  $N > N_b$  basınç kırılması oluşur.

$$\sigma_{s1} = 0.003 E_s \left(1 - \frac{d}{c}\right) = 600 \left(\frac{c - 465}{c}\right)$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + \frac{A_{st}}{2} (f_{yd} + \sigma_{s1})$$



$$1200 \cdot 10^3 = 0.85 \cdot 11 \cdot 0.85 \cdot c \cdot 300 + 600 (365 + \sigma_{s1})$$

$\sigma_{s1}$  ifadesi (c) türünden denklemde yerine konursa;

$c = 427$  mm ve  $k_1 c = 360$  mm bulunur.

$$\sigma_{s1} = -53 \text{ N/mm}^2$$

$$M = N e = 0.85 f_{cd} k_1 c b \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} (f_{yd} - \sigma_{s1}) \left( \frac{d''}{2} \right)$$

$$M_r = (0.85 \cdot 11 \cdot 360 \cdot 300 (250 - 180) + 600 (365 + 53) \left( \frac{430}{2} \right)) \cdot 10^{-6} = 124.3 \text{ kN m}$$



## Ara Donatılı Dikdörtgen Kesitlerin Taşıma Gücü

Ara donatısı bulunan dikdörtgen kesitlerin taşıma gücü daha önce elde edilen genel denklemlerle bulunabilir. Uygunluk denklemi ise kesitte bulunan donatı düzeyi sayısına bağlıdır. Ara donatılı kesitlerde donatı en az üç ayrı düzeye yerleştirilmiş olduğundan bu tür kesitlerin taşıma gücü deneme yanılma yöntemi ile bulunabilir.

a) c için varsayım yapılır.

b) Benzer üçgenlerden çeşitli düzeylerdeki donatı için birim deformasyonlar hesaplanır ( $\varepsilon_{si}$ ).

c) Her düzeydeki donatı için gerilme değerleri ve bunlara karşılık gelen kuvvetler hesaplanır ( $\sigma_{si} = \varepsilon_{si} E_s \leq f_{yd}$  ve  $F_{si} = A_{si} \sigma_{si}$ ).



**d)** Beton basınç bileşkesi hesaplanır ( $F_c = 0.85 f_{cd} A_{cc}$ ).

**e)** Denge koşulu kontrol edilir

$$\left( N = F_c + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} \right).$$

**f)** Denge sağlanıyorsa devam edilir; sağlanmıyorsa **(a)** ya gidilerek c için yeni bir varsayım yapılır.

**g)** İç kuvvetlerin kesit ağırlık merkezine göre momenti alınır.



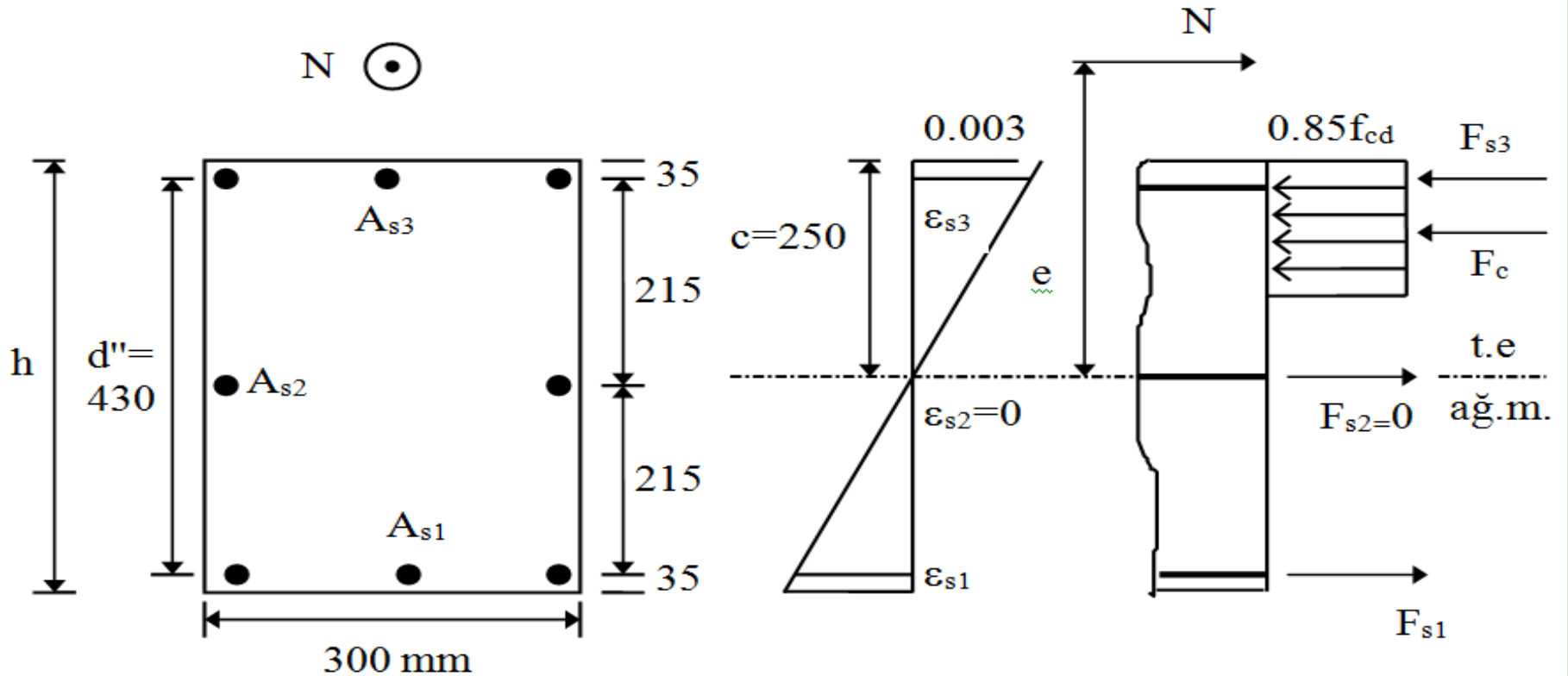
## Örnek:

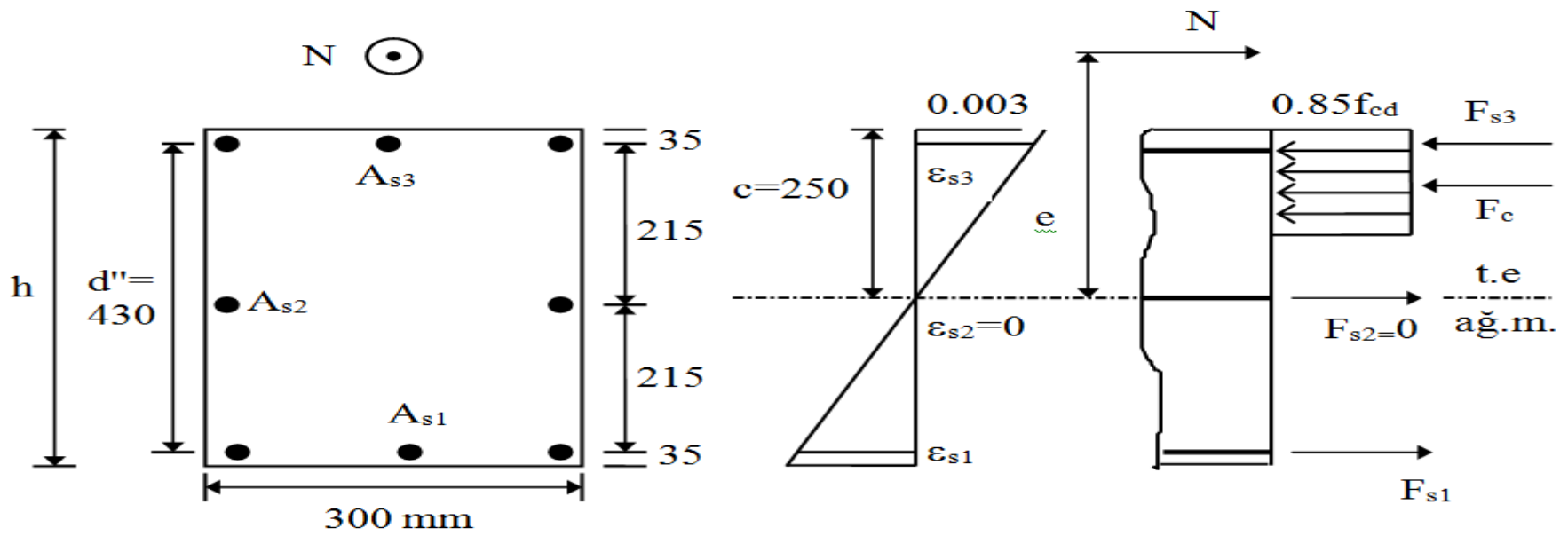
Malzeme C16, S420 ( $f_{cd}=11$  Mpa,  $f_{yd}=365$  Mpa),  $\epsilon_{sy}=0.001825$  ve  $N_d=500$  kN

$A_{s1}=A_{s3}=6$  cm<sup>2</sup>,  $A_{s2}=4$  cm<sup>2</sup>,  $h=500$  mm.

İstenen:  $M_r=?$

Çözüm:





a)  $c = 250$  mm kabul edelim.  $k_1 c = 212$  mm

b)  $\epsilon_{s3} = -\epsilon_{s1} = 0.003 \frac{215}{250} > \epsilon_{sy}$ ,  $\epsilon_{s2} = 0$

c)  $\sigma_{s3} = -\sigma_{s1} = 365 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{s2} = 0$

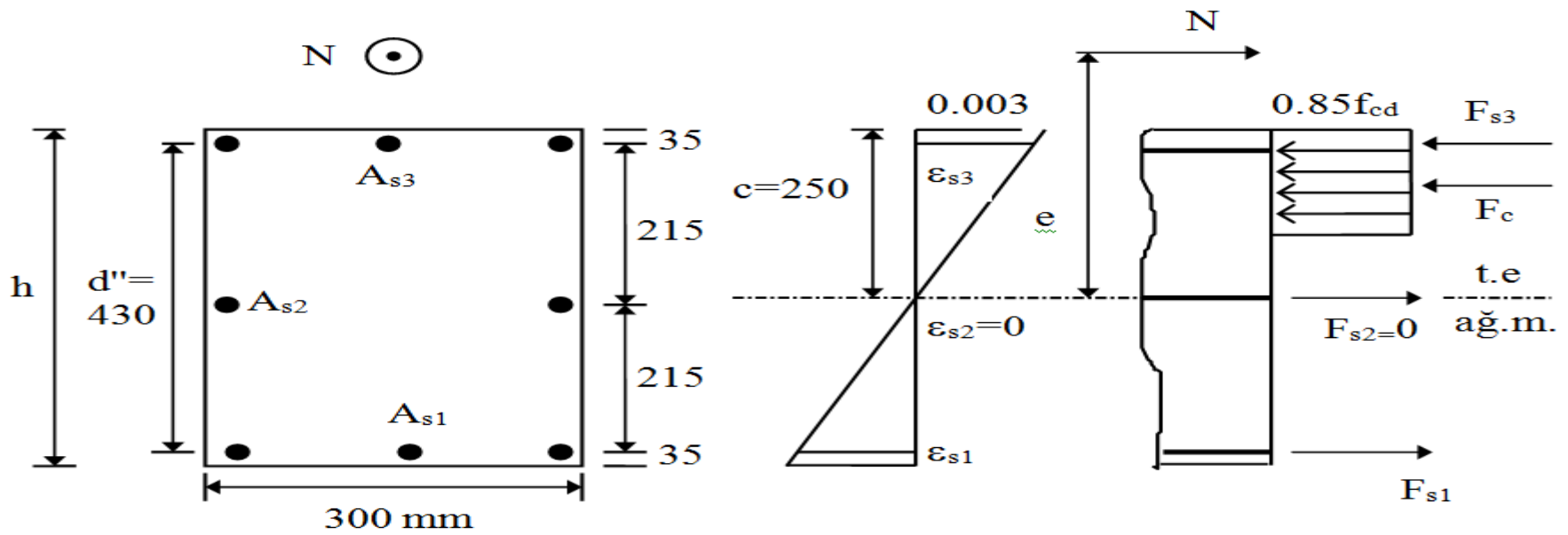
$F_{s3} = -F_{s1} = 365 * 600 * 10^{-3} = 219 \text{ kN}$ ,  $F_{s2} = 0$

d)  $F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b = 9.35 * 212 * 300 * 10^{-3} = 595 \text{ kN}$

e)  $\Sigma F = 595 + 219 - 219 - 500 = 95 \text{ kN}$

sonuç (+),  $c < 250$  mm olmalıdır.





a)  $c=220 \text{ mm}$  ,  $k_1c=187 \text{ mm}$

b)  $\epsilon_{s3} > \epsilon_{sy}$  ,  $\epsilon_{s2} = -4.1 \cdot 10^{-4}$  ,  $\epsilon_{s1} > \epsilon_{sy}$

c)  $\sigma_{s3} = -\sigma_{s1} = 365 \text{ N/mm}^2$  ,  $\sigma_{s2} = -82 \text{ N/mm}^2$

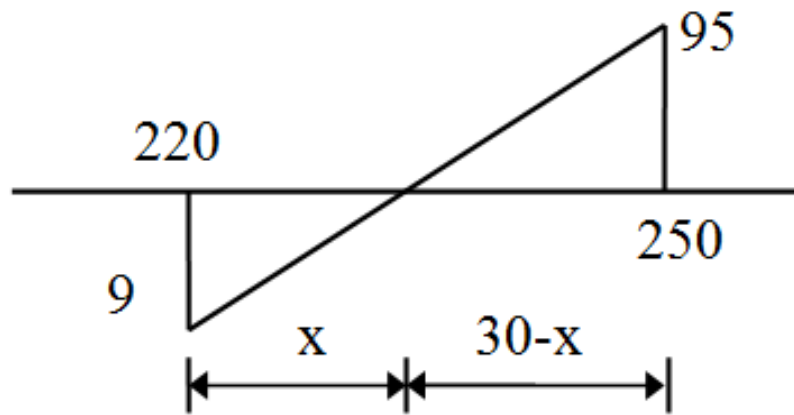
$F_{s3} = -F_{s1} = 219 \text{ kN}$  ,  $F_{s2} = -33 \text{ kN}$

d)  $F_c = 524 \text{ kN}$

e)  $\Sigma F = 524 + 219 - 219 - 33 - 500 = -9 \text{ kN}$

$c > 220 \text{ mm}$  olmalıdır. 220 ile 250 arasında doğrusal oranlama ile ;





$$\frac{9}{x} = \frac{95}{30-x} \quad x=2.5$$

$$c=220+2.5=222.5 \quad k_1c=189 \text{ mm}$$

$$F_{s3}=-F_{s1}=219 \text{ kN}, \quad F_{s2}=-30 \text{ kN}, \quad F_c=530 \text{ kN}$$

$$e) \Sigma F=530+219-219-30-500=0$$

$$M_r=530\left(250-\frac{189}{2}\right)+215(219+219)=176600 \text{ kN mm}=176.6 \text{ kN m}$$



## Dikdörtgen Olmayan Kesitler:

Taşıma gücü, dikdörtgen kesitler için izlenen yöntemle hesaplanır. Bu durumda tek fark beton basınç bileşkesinin ve bileşkenin ağırlık merkezine göre momentinin hesabında görülür.

$$F_c = 0.85 f_{cd} A_{cc}$$

$$M = F_c (x_p - \bar{x})$$

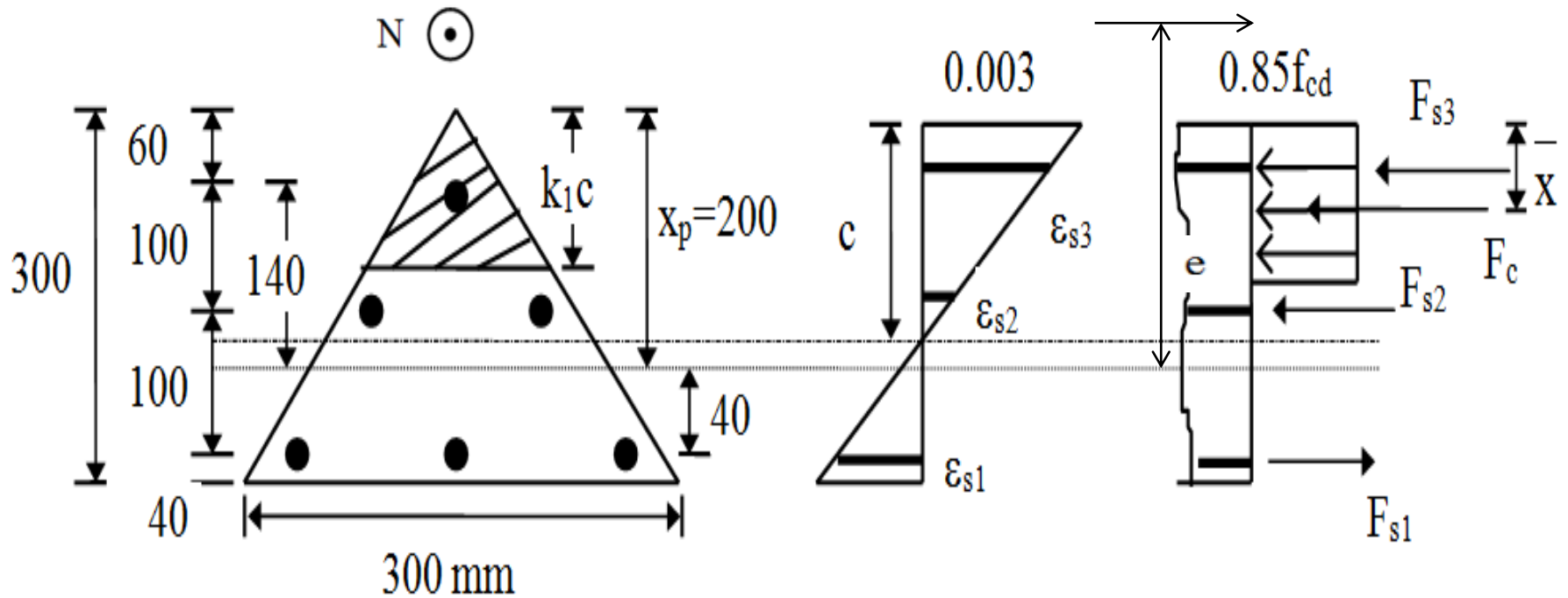


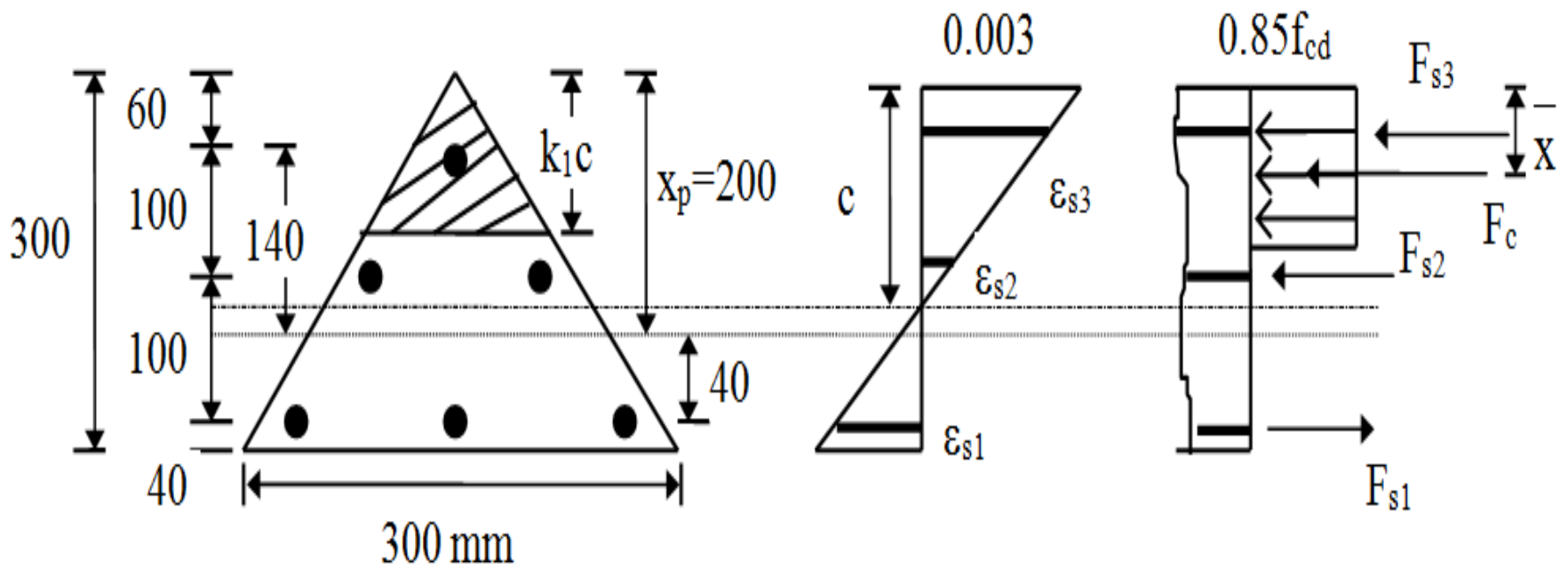
## Örnek:

Bilinenler: Üçgen kesit, malzeme C20, S420,  $N_d=100$  kN,  $A_{s1}=9.4$  cm<sup>2</sup>,

$A_{s2}=6.3$  cm<sup>2</sup>,  $A_{s3}=3.1$  cm<sup>2</sup>

İstenen:  $M_r=?$





### Çözüm:

a) Tarafsız eksen derinliği  $c = 160$  mm ,  $k_1c = 136$  mm

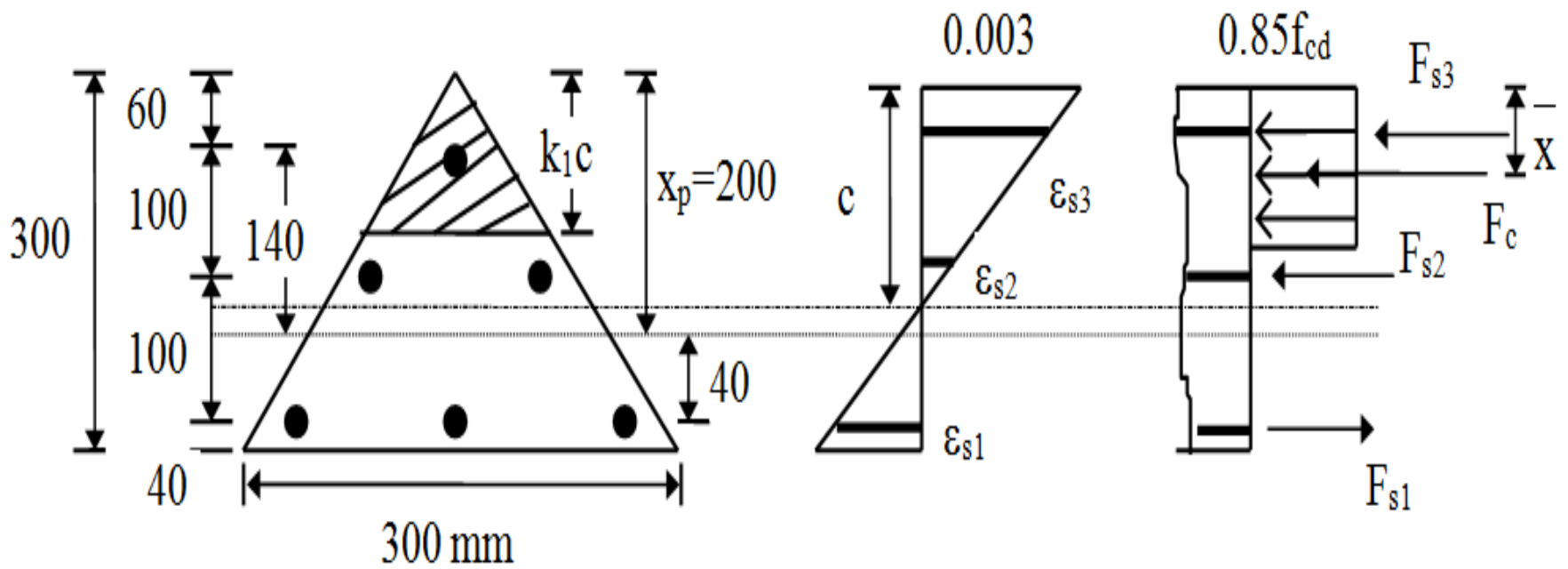
b)  $\epsilon_{sy} = 0.001825$

$$\epsilon_{s1} = -0.00187 > \epsilon_{sy} , \epsilon_{s2} = 0 , \epsilon_{s3} = 0.00187 > \epsilon_{sy}$$

c)  $\sigma_{s3} = -\sigma_{s1} = 365$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s2} = 0$

$$F_{s1} = 940 * (-365) * 10^{-3} = -343$$
 kN ,  $F_{s2} = 0$  ,  $F_{s3} = 310 * 365 * 10^{-3} = 113$  kN





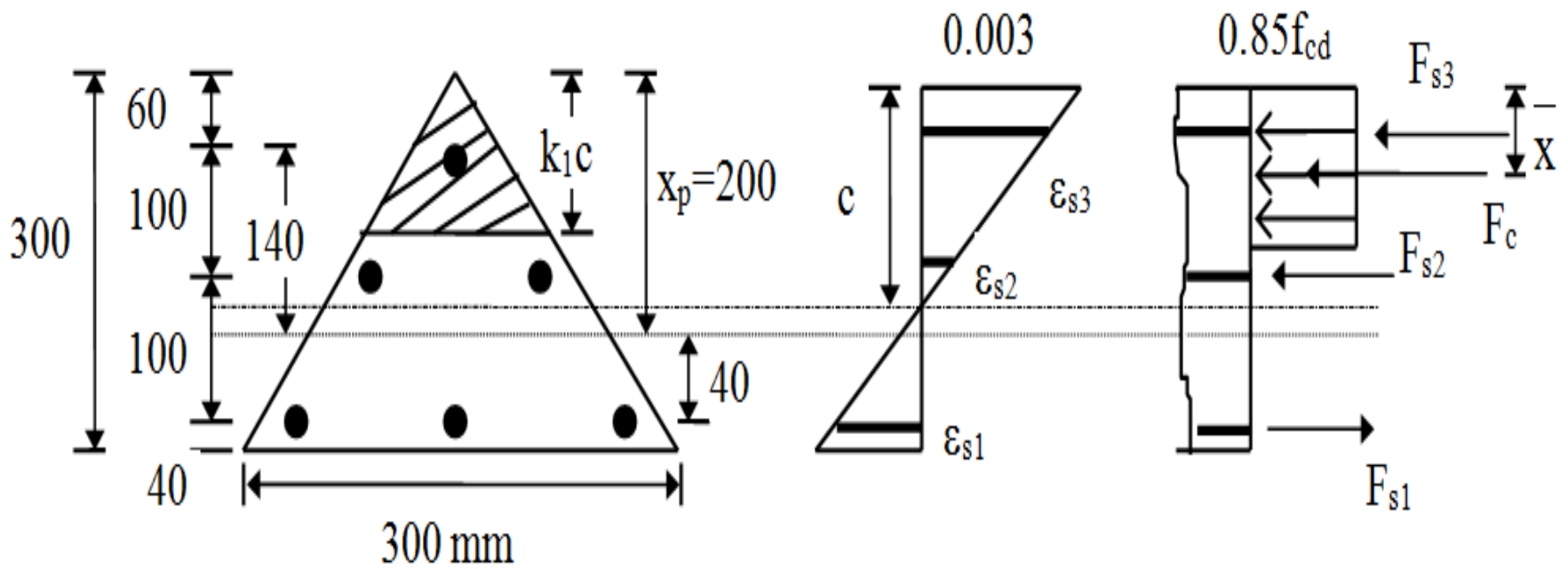
$$d) A_{cc} = \frac{1}{2} (k_1 c)^2 = \frac{136^2}{2} = 9248 \text{ mm}^2$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} A_{cc} = 11.05 \cdot 9248 \cdot 10^{-3} = 102 \text{ kN}$$

$$e) \Sigma F = 102 + 113 - 343 - 100 = -228 \text{ kN}$$

$c > 160$  mm olmalıdır.





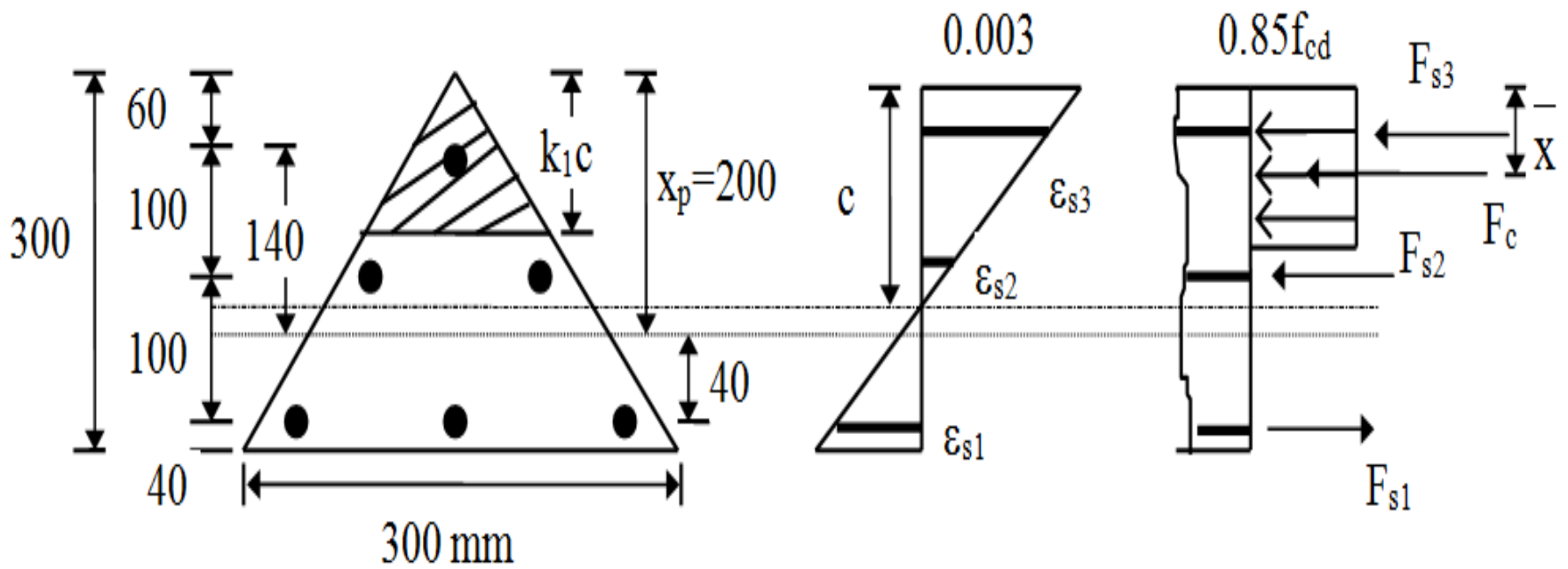
a)  $c = 200$  mm     $k_1 c = 170$  mm

b)  $\epsilon_{s1} = -9 \cdot 10^{-4}$  ,  $\epsilon_{s2} = 6 \cdot 10^{-4}$  ,  $\epsilon_{s3} > \epsilon_{sy}$

c)  $\sigma_{s1} = -180$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s2} = 120$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s3} = 365$  N/mm<sup>2</sup>

$F_{s1} = -170$  kN ,  $F_{s2} = 75$  kN ,  $F_{s3} = 115$  kN





$$d) F_c = 0.85 f_{cd} A_{cc} , \quad A_{cc} = 170^2 / 2 = 14450 \text{ mm}^2$$

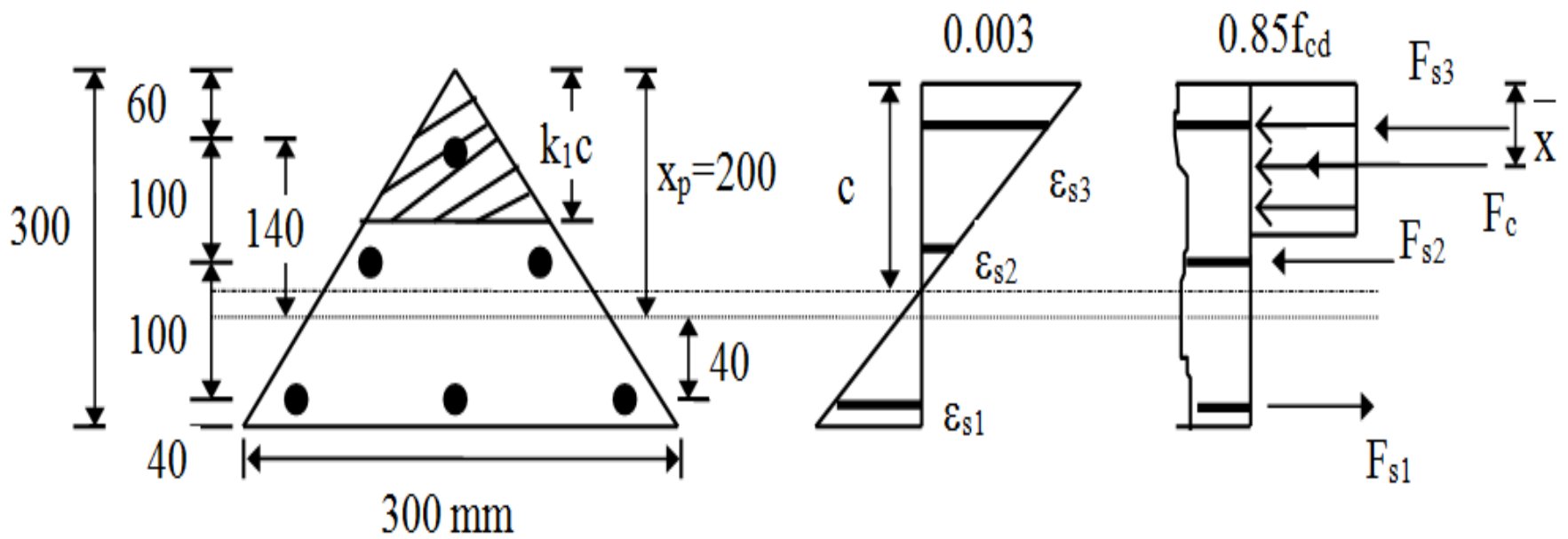
$$F_c = 159 \text{ kN}$$

$$e) \Sigma F = 159 + 115 + 75 - 170 - 100 = 79 \text{ kN}$$

Doğrusal enterpolasyon ile;

$$x = \frac{40}{79 + 228} 228 = 30 \text{ mm}$$





a)  $c = 160 + x = 190$  mm     $k_1c = 161$  mm

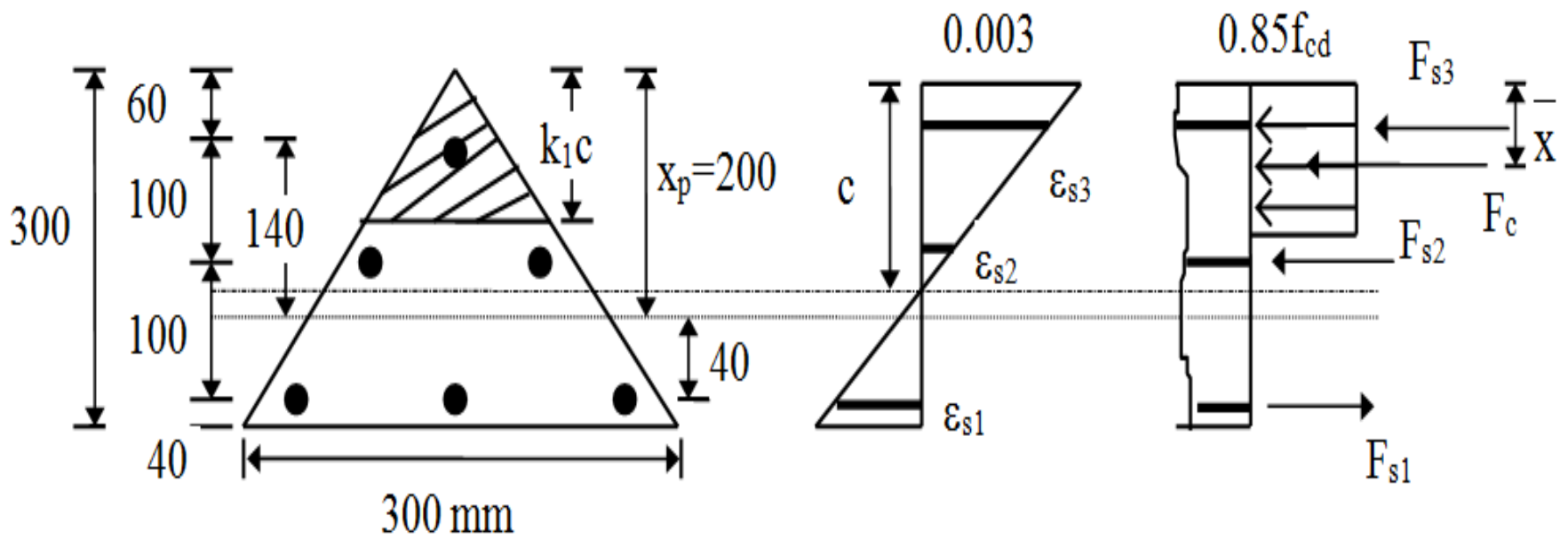
b)  $\epsilon_{s1} = -1.12 \cdot 10^{-3}$  ,  $\epsilon_{s2} = 4.6 \cdot 10^{-4}$  ,  $\epsilon_{s3} > \epsilon_{sy}$

c)  $\sigma_{s1} = -226$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s2} = 92$  N/mm<sup>2</sup> ,  $\sigma_{s3} = 365$  N/mm<sup>2</sup>

$F_{s1} = -212$  kN ,  $F_{s2} = 58$  kN ,  $F_{s3} = 115$  kN

d)  $A_{cc} = 161^2 / 2 = 12960$  mm<sup>2</sup> ,  $F_c = 11.05 \cdot 12960 \cdot 10^{-3} = 143$  kN





e)  $\Sigma F = 143 + 115 + 58 - 212 - 100 = 4 \text{ kN} \approx 0$  kabul edilir.

f)  $M_r = F_c (x_p - \bar{x}) + F_{s1} (-60) + F_{s2} (40) + F_{s3} (140)$

$$x_p = 200 \text{ mm}, \quad \bar{x} = \frac{2}{3} k_1 c = 107 \text{ mm}, \quad (x_p - \bar{x}) = 93 \text{ mm}$$

$$M_r = 143 * 93 - 212 * (-60) + 58 * 40 + 115 * 140 = 44439 \text{ kN mm} = 44.4 \text{ kN m}$$



## Örnek:

Bir önceki kesit, burada ara donatısız ( $A_{s2}=0$ ).

$M_r=?$

## Çözüm:

Ara donatı olmadığından kapalı çözüm yapılabilir.

$$A_{s1}=9.4 \text{ cm}^2, A_{s2}=0, A_{s3}=3.1 \text{ cm}^2$$

$N_d=100 \text{ kN}$  yük düzeyinin hangi tür kırılmaya neden olacağı saptanmalıdır.

Bunu belirlemek için dengeli  $N_b$  değeri hesaplanmalıdır.

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sy}} d = \frac{0.003}{0.00483} 260 = 161.5 \text{ mm}$$

$$k_1 c_b = 137 \text{ mm}$$



$$\varepsilon_{s3} = 0.003 \frac{161.5 - 60}{161.5} = 0.00188 > \varepsilon_{sy}$$

$$\sigma_{s3} = -\sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$N_b = 0.85 f_{cd} \frac{k_1 c_b^2}{2} + A_{s3} f_{yd} + A_{s1} f_{yd}$$

$$N_b = (0.85 \cdot 13 \cdot \frac{137^2}{2} + 310 \cdot 365 + 940 \cdot (-365)) \cdot 10^{-3} = -127 \text{ kN}$$

Dengeli yükün işareti (-) olduğu için çekmedir.

$N > N_b$  ( $100 \text{ kN} > -127 \text{ kN}$ ), Basınç kırılması oluşur.

Basınç kırılması:  $\varepsilon_{s3} > \varepsilon_{sy}$ ,  $\sigma_{s3} = f_{yd}$ ,  $\varepsilon_{s1} = ?$



Çözüm için genel denklemlerden yararlanır.

$$N=0.85 f_{cd} A_{cc} + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si}$$

$$M=0.85 f_{cd} A_{cc} (x_p - \bar{x}) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} x_i$$

$$\sigma_{si} = 0.003 E_s \left(1 + \frac{x_i - x_p}{c}\right) \leq f_{yd}$$

$$A_{cc} = \frac{(k_1 c)^2}{2}, x_p = \frac{2}{3} * 300 = 200 \text{ mm}, \bar{x} = \frac{2}{3} k_1 c, x_1 = -60 \text{ mm}$$

$$\sigma_{s3} = f_{yd}, \sigma_{s1} = 600 \left(1 + \frac{-60 - 200}{c}\right) = 600 \left(\frac{c - 260}{c}\right) \leq f_{yd}$$

$$N = 100 * 10^3 = 11 * \frac{(0.85 c)^2}{2} + 940 * 600 \left(\frac{c - 260}{c}\right) + 310 * 365$$



$c=199 \text{ mm}$ ,  $k_1c=169 \text{ mm}$ ,  $\sigma_{s1}=-184 \text{ N/mm}^2 < f_{yd}$  çözüm geçerlidir.

$$A_{cc}=14300 \text{ mm}^2, \bar{x}=113 \text{ mm}$$

$$M=11*14300(200-113)+940(-184)(-60)+310*365*140=40*10^6 \text{ N mm}$$

$$M=40 \text{ kN m}$$

Yaklaşık yöntemle çözüm:

$$N_b=-127 \text{ kN ve } k_1c_b=137 \text{ mm}$$

$$M_b=F_c\left(200-\frac{2}{3}k_1c_b\right)+F_{s3}*140+F_{s1}*60$$

$$M_b=103\left(200-\frac{2}{3}*137\right)+113*140+343*60=47592 \text{ kN mm}$$

$$M_b=47.6 \text{ kN m}$$



$$e_b = -375 \text{ mm}$$

$$N_o = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd}$$

$$N_o = 0.85 * 13 * (1/2) * 300^2 + 1250 * 365 = 951250 \text{ N} = 951 \text{ kN}$$

$$N = N_o - \frac{M}{M_b} (N_o - N_b), \quad 100 = 951 - \frac{M}{47.6} (951 - (-127))$$

$$M = 37.58 \text{ kN m}$$





$$N = F_c + \sum F_{si}$$

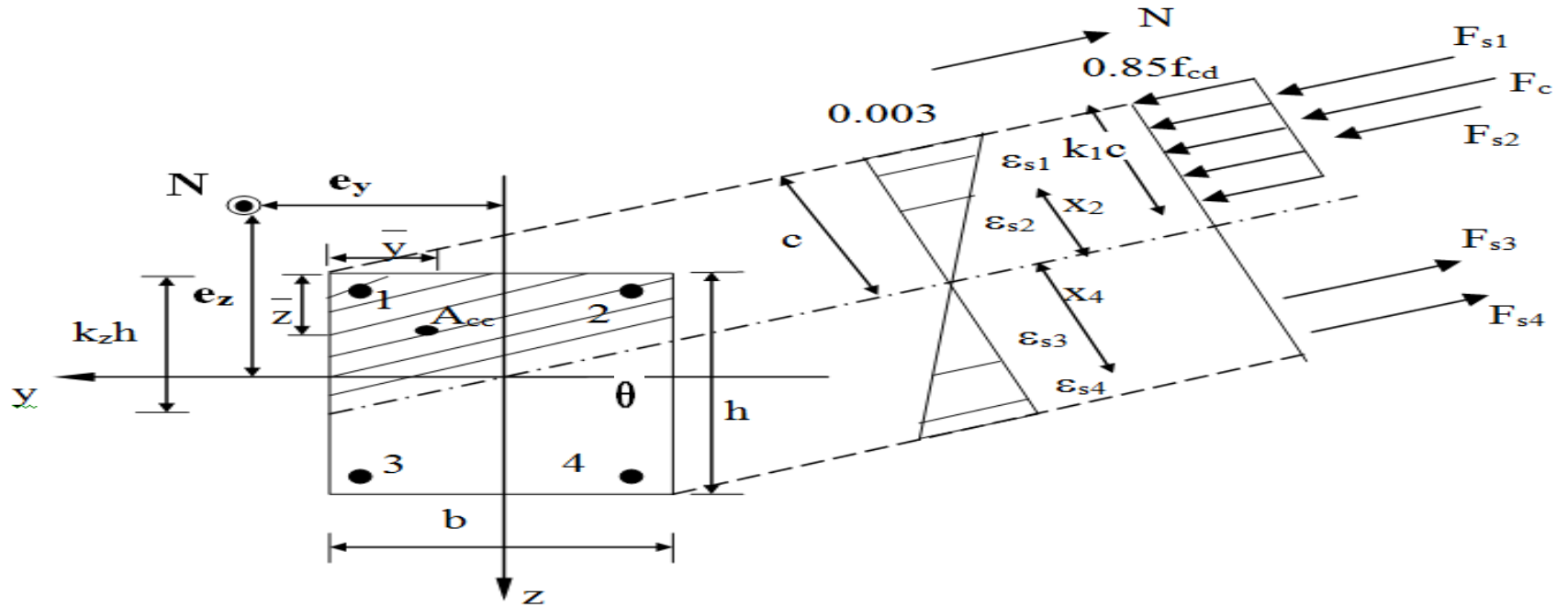
$$M_y = N e_z = F_c \left( \frac{h}{2} - \bar{z} \right) + (F_{s1} + F_{s2}) \left( \frac{h}{2} - d' \right) + (F_{s3} + F_{s4}) \left( \frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_z = N e_y = F_c \left( \frac{b}{2} - \bar{y} \right) + (F_{s1} + F_{s4}) \left( \frac{b}{2} - d' \right) - (F_{s2} + F_{s3}) \left( \frac{b}{2} - d' \right)$$

$$\varepsilon_{si} = 0.003 \frac{x_j}{c}, \quad c = (k_z h) \cos \theta$$

$x_j$  : Donatıların tarafsız eksen den mesafeleri



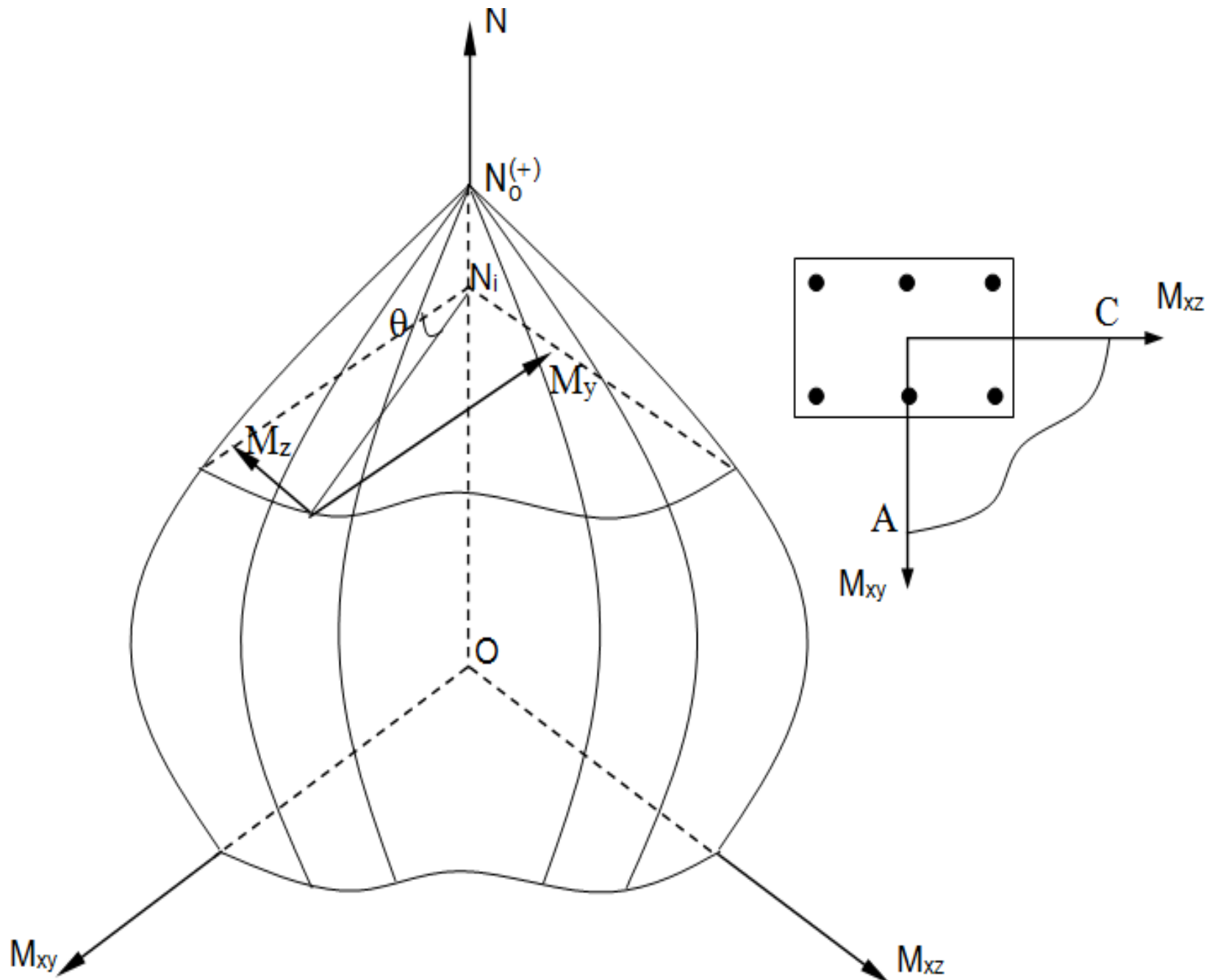


Şekilde görülen kolon kesiti, aksenal yük ve iki dik yönde eğilme momenti etkisi altındadır. Bu kolonun taşıma gücü, taşıma gücü yönteminde temel alınan varsayımlar yardımıyla bulunabilir. Yazılacak iki denge denkleminde bulunması en güç olan, beton basınç bileşkesi ve bileşkenin kesit ağırlık merkezinden olan uzaklığıdır. Tarafsız eksenin yeri  $k_z h$  ve  $\theta$  olmak üzere iki değişkene bağlıdır.



Özetlenen yöntem kullanılarak, varsayılan  $c$  değerleri için istenilen sayıda  $\mathbf{N}$ ,  $\mathbf{M}_y$  ve  $\mathbf{M}_z$  değerleri elde edilir. Bu değerler dik eksenini  $\mathbf{N}$ , yatay eksenleri  $\mathbf{M}_y$  ve  $\mathbf{M}_z$  olan eksen takımına yerleştirilirse noktaların birleştirilmesinden bir yüzey elde edilir. Bu yüzeyi oluşturan noktalar taşıma gücünü simgelediğinden, elde edilen yüzey bir dayanım zarfı olur.





Genel çözüm ancak deneme yanılma yöntemi ile mümkündür. Önce tarafsız eksenin yeri ile ilgili varsayım yapılır ve denge sağlanıncaya kadar  $c$  değiştirilir. Tarafsız eksenin yeri  $k_z$  ve  $\theta$  parametrelerine bağlı olduğundan çözüm uzun ve külfetlidir.

İki eksenli eğilme ve eksenel basınç taşıyan elemanların taşıma gücü hesabının zaman alıcı ve zahmetli olması nedeniyle bir takım yaklaşık yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden başlıcaları Bresler Yöntemi ve İngiliz Betonarme Yönetmeliği (CP110) dir.



## Bresler Yöntemi

Prof. Bresler tarafından önerilen bu yöntem oldukça basit olup,  $N_d \geq 0.1N_o$  olduğu durumlarda oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Bresler yöntemi;

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{N_{ry}} + \frac{1}{N_{rz}} - \frac{1}{N_o}$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Burada;

$N_r$ : İki yönlü eğilme altındaki kesitin aksenal yük kapasitesi.

$N_{ry}$ : Yalnızca  $e_z$  dışmerkezliğine maruz kesitin taşıma gücü ( $e_y=0$ ).

$N_{rz}$ : Yalnızca  $e_y$  dışmerkezliğine maruz kesitin taşıma gücü ( $e_z=0$ ).

$N_o$ : Aksenal basınç altındaki kesitin taşıma gücü ( $e_y= e_z=0$ ).



## İngiliz Betonarme Yönetmeliği (CP110)

İngiliz yönetmeliğinde, iki yönde eğilme momenti taşıyan kolonların taşıma gücü için önerilen denklem, Bresler tarafından verilen denklemin özel bir halidir.

$$\left( \frac{M_{xyd}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_n} + \left( \frac{M_{xzd}}{M_{oz}} \right)^{\alpha_n} \leq 1$$

$M_{xyd}$ : Kesite etkiyen ve vektörel yönü y olan moment ( $M_{xyd}=N_d e_z$ )

$M_{xzd}$ : Kesite etkiyen ve vektörel yönü z olan moment ( $M_{xzd}=N_d e_y$ )

$M_{oy}$ :  $N_d$  aksenal yükünün ve yalnızca  $M_{xyd}$  momentinin etkisindeki kesitin taşıma gücü ( $e_y=0$ ).



$M_{oz}$ :  $N_d$  aksenal yükünün ve yalnızca  $M_{xzd}$  momentinin etkisindeki kesitin taşıma gücü ( $e_z=0$ ).

$\alpha_n$ : 1.0 ile 2.0 arasında değişen katsayı olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\alpha_n = 0.67 + 1.67 \frac{N}{N_0}, \quad 0.2 \leq \frac{N_d}{N_0} \leq 0.8$$

## Boyutlandırma ve Donatı Hesabı

$M_d'$ : Hesap momenti ve hesap aksenal yükü temel alınarak dış merkezlik yönetmelikte öngörülen dış merkezlikten küçük ise, boyutlandırma ve donatı hesabı min. dış merkezliğe göre hesaplanan moment temel alınır.



$\frac{M_d'}{N_d} < e_{\min}$  ise Hesap momenti  $=N_d(e_{\min})$  alınır.

$e_{\min}=0.1h$  veya 2.5 cm (etriyeli kolonlar)

$e_{\min}=0.05h$  veya 2.5 cm (fretli kolonlar)

$h$ : Dışmerkezlik yönündeki kesit boyutu

TS500 de belirli bir rijitliği ve sünekliği sağlamak için, aksenal yük düzeyine bir üst sınır getirilmiştir.

$N \leq 0.6 f_{ck} A_c$  veya  $N \leq 0.9 f_{cd} A_c$  (TS500)

$N \leq 0.5 f_{ck} A_c$  veya  $N \leq 0.75 f_{cd} A_c$  (DBYBHY-2007)

Ön tasarım aşamasında kesit boyutları saptanırken kesit alanının min. değeri:



$$\min A_c = \frac{N_d}{0.9f_{cd}} \text{ olmalıdır.}$$

Diğer bir amprik ifade:

$$A_c = \frac{N_d}{f_{cd}} \left(1 + \alpha \frac{e}{h}\right) \quad \alpha=3 \text{ (dikdörtgen), } \alpha=5 \text{ (dairesel kesit)}$$

Bu bağıntı kullanılırken  $\frac{e}{h}$  değerinin tahmin edilmesi gerekir.



## Kolon Taşıma Gücü Abakları

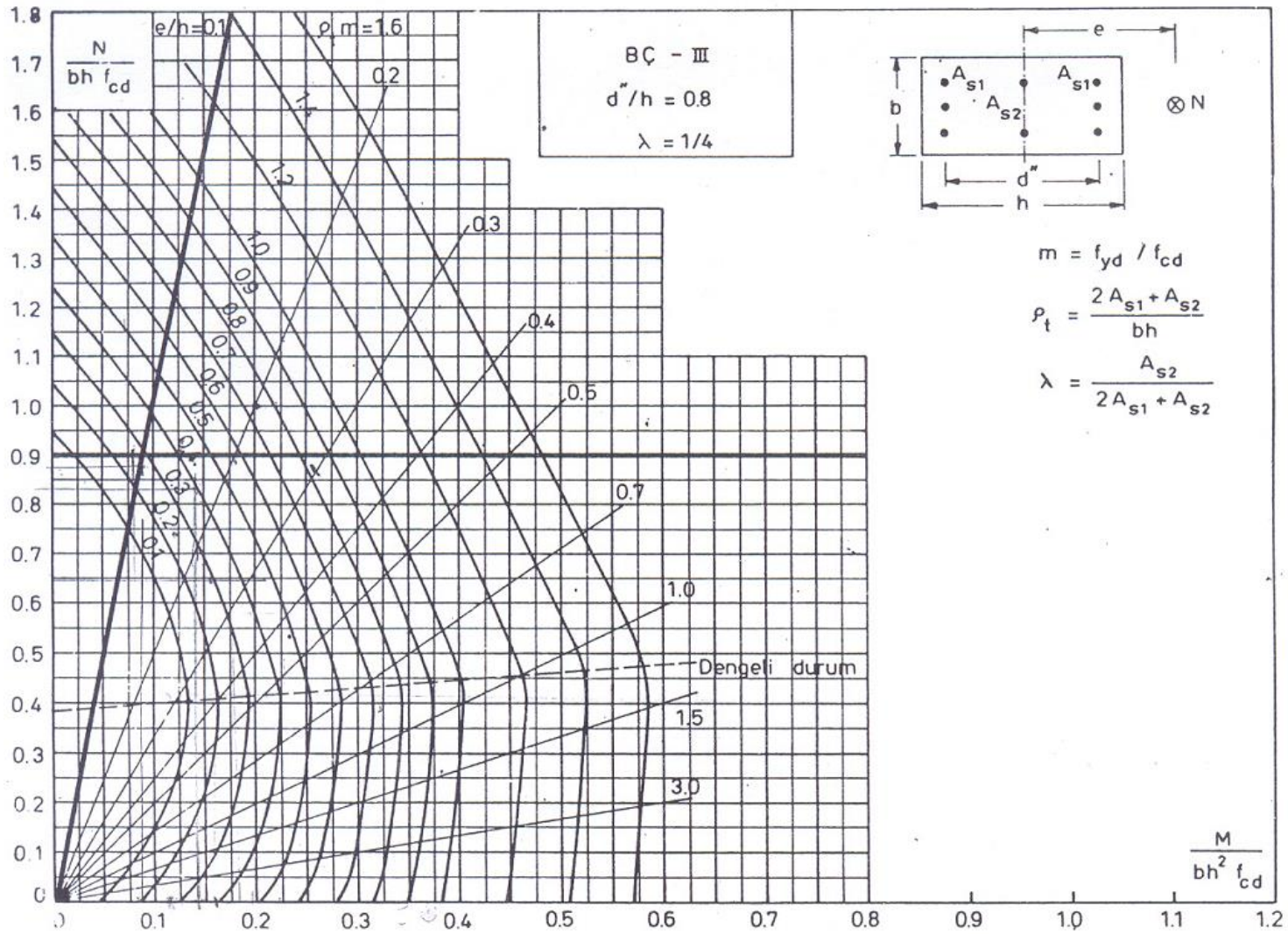
Karşılıklı etki diyagramının ordinatı  $bhf_{cd}$  , apsisi  $bh^2f_{cd}$  ye bölüldüğünde aksenal yük ve moment ifadeleri boyutsuz hale gelir,

$$\frac{N}{bhf_{cd}} \text{ ve } \frac{M}{bh^2f_{cd}} .$$

Böylece belirli bir donatı türü, belirli bir  $d''/h$  ve belirli bir donatı düzeni ve oranı için diyagram genelleştirilmiş olur.

Abaklarda donatı oranı  $\rho_t m$  olarak ifade edilmiştir. Burada  $m$ ,  $f_{yd}/f_{cd}$  olduğundan eğriler beton dayanımından bağımsız bulunmuş olmaktadır.





Dikdörtgen kesitler için verilen abaklardan hangisinin kullanılacağı kesitte kullanılan donatı sınıfına ,  $d''/h$  oranına ve  $\lambda$  katsayısına bağlıdır.

Abaklar iki ayrı  $d''/h$  oranı için hazırlanmış olup ara değerler için iki abak arasında doğrusal oranlama yapılır.

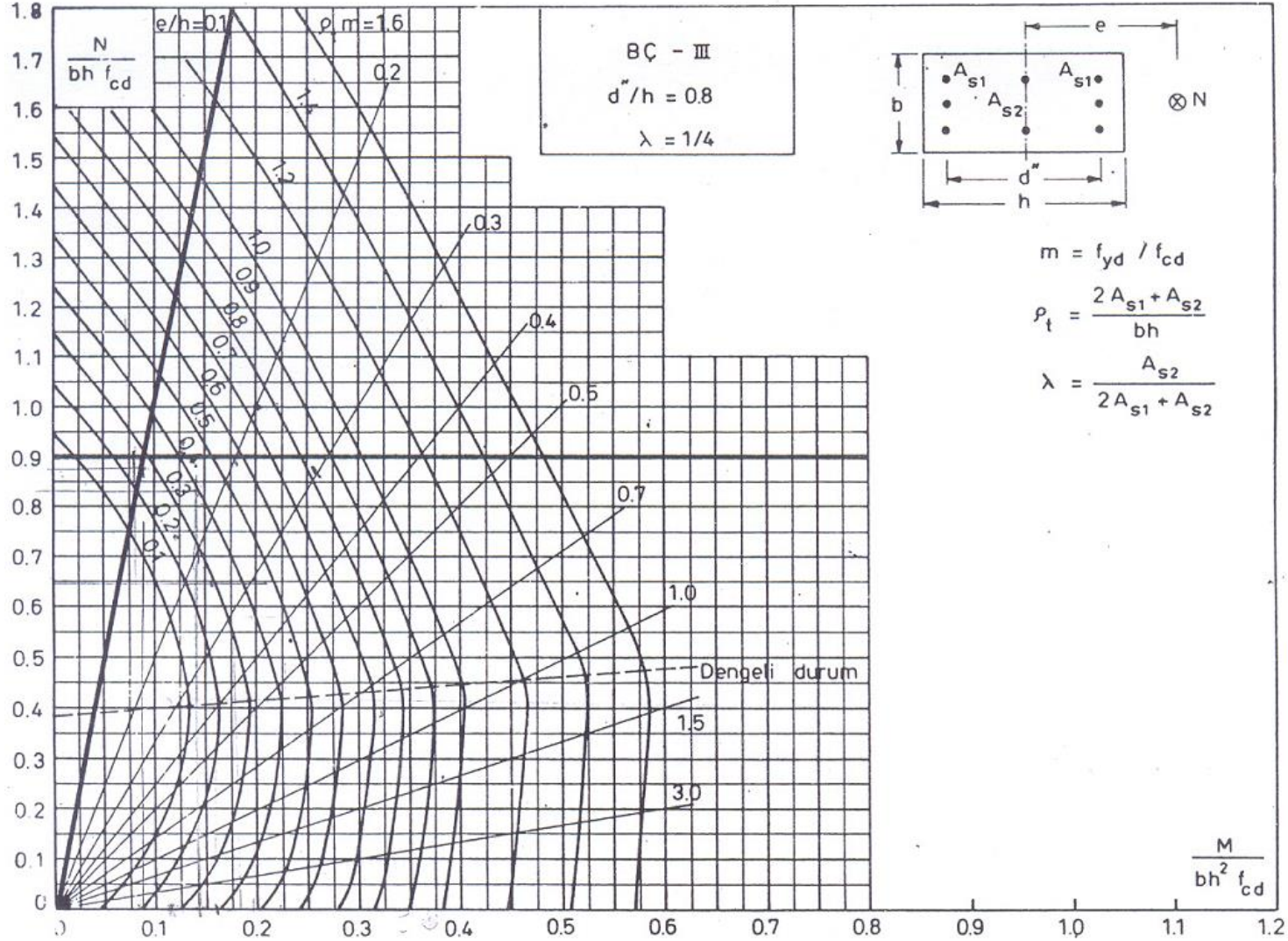
$\lambda$  katsayısı, ara donatı alanının, kesitteki tüm donatı alanına oranıdır.

Abaklarda TS500 de bulunan iki sınır, koyu çizgilerle gösterilmiştir. Bu sınırlardan ilki min. dış merkezliktir,  $e/h=0.1$ . Eğrilerin bu sınırın solunda kalan parçaları kullanılmamalıdır. İkinci sınırlama yük düzeyi ile ilgilidir,  $N \leq 0.9 f_{cd} A_c$  .



Abakta bu sınır  $\frac{N}{bh f_{cd}} = 0.9$  olarak gösterilmiştir.

Eğrilerin bu sınırın üstünde kalan kısımları kullanılmamalıdır.



## Problem 1)

Bilinenler:  $f_{cd}$ ,  $f_{yd}$ ,  $N_d$  ve  $M_d'$ , kesit boyutları,  $b$  ve  $h$

İstenen: Donatı alanı

### Çözüm:

- Donatı düzeni için bir varsayım yaparak ( $\lambda$ ) kullanılacak abak seçilir.
- $\frac{N_d}{bh f_{cd}}$  ve  $\frac{M_d'}{bh^2 f_{cd}}$ ,  $d''/h$ ,  $m=f_{yd}/f_{cd}$
- Hesaplanan  $\frac{N_d}{bh f_{cd}}$  ve  $\frac{M_d'}{bh^2 f_{cd}}$  değerlerinin kesiştiği yerde  $\rho_t m$  bulunur.
- $\rho_t = \rho_t m / m$  hesaplandıktan sonra donatı seçilir.



Hesaplanan  $\frac{N_d}{bhf_{cd}}$  ve  $\frac{M_d'}{bh^2f_{cd}}$  değerlerinin kesiştiği nokta en küçük  $\rho_m$

değerine ulaşmıyorsa, seçilen kesit gereğinden büyüktür. Bu kesit küçültülebilir, küçültülme istenmiyorsa min. donatı yeterlidir.

Eğer kesişme noktası en büyük  $\rho_m$  değerine sahip eğrinin dışında kalıyorsa

veya  $\frac{N}{bhf_{cd}} = 0.9$  ile belirlenen sınırın üstünde kalıyorsa kesit boyutları yetersizdir.



## Problem 2)

Bilinenler: Hesap yükü,  $f_{cd}$ ,  $f_{yd}$ ,  $N_d$ ,  $b$ ,  $h$   $\rho_t$

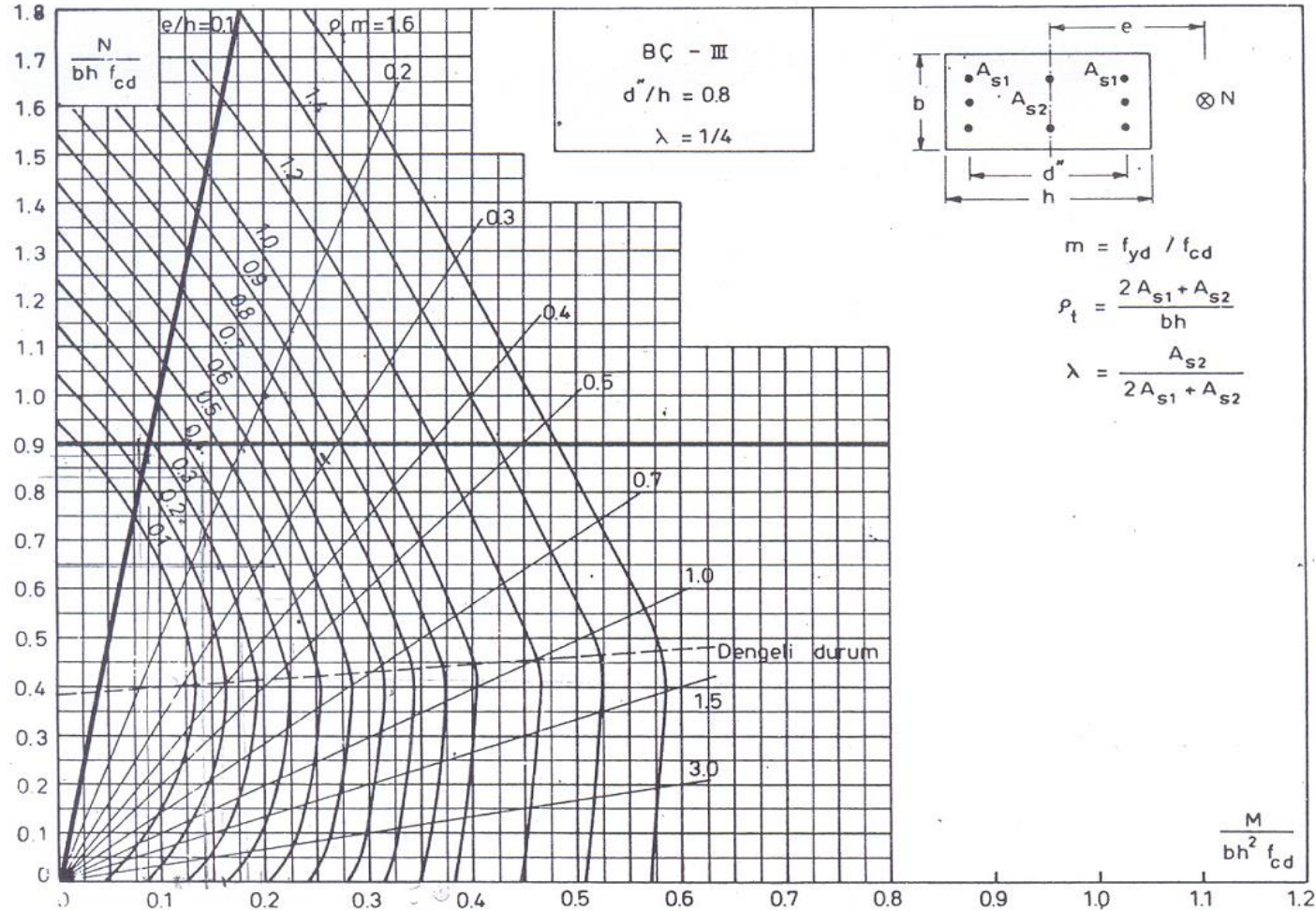
İstenen:  $M_r$

Çözüm:

- $\frac{N_d}{bhf_{cd}}$ ,  $d''/h$ ,  $m=f_{yd}/f_{cd}$
- Donatı sınıfı  $d''/h$  ve  $\lambda$  için uygun abak seçilir.
- $\rho_t m$  hesaplanır.
- Abağa  $\frac{N_d}{bhf_{cd}}$  ile girilerek,  $\rho_t m$  eğrisini kesinceye kadar devam edilir. Bu

noktadan dik olarak inilir ve  $\frac{M}{bh^2 f_{cd}}$  bulunur.

- $M_r = \frac{M}{bh^2 f_{cd}}$  ifadesinden moment bulunur.



## Örnek 1

Bilinen: C20, S420

Kestirilen aksenal yük  $N_d=1600$  kN (alan payından).

İstenen: Ön tasarım, kolon boyutları



Çözüm:

$$N_d \leq 0.9 f_{cd} A_c \quad (\text{TS 500})$$

$$\min A_c = \frac{1600 \times 10^3}{0.9 (13)} = 136752 \text{ mm}^2 \quad (\text{TS500})$$

$$A_c = \frac{1600 \times 10^3}{13} [1 + 3(0.1)] = 160000 \text{ mm}^2 \quad (e/h=0.1 \text{ olarak seçilmiştir}).$$

$$A_c \geq \frac{N_{d\max}}{0.75 f_{cd}} = \frac{1600 \times 10^3}{0.75 (13)} = 164102.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{DBYBHY 2007})$$

Kolon boyutları 400x500 mm olarak seçilmiştir.



## Örnek 2

Bilinen: C20, S420 ve kolon boyutları 40x50cm. paspayı=3 cm

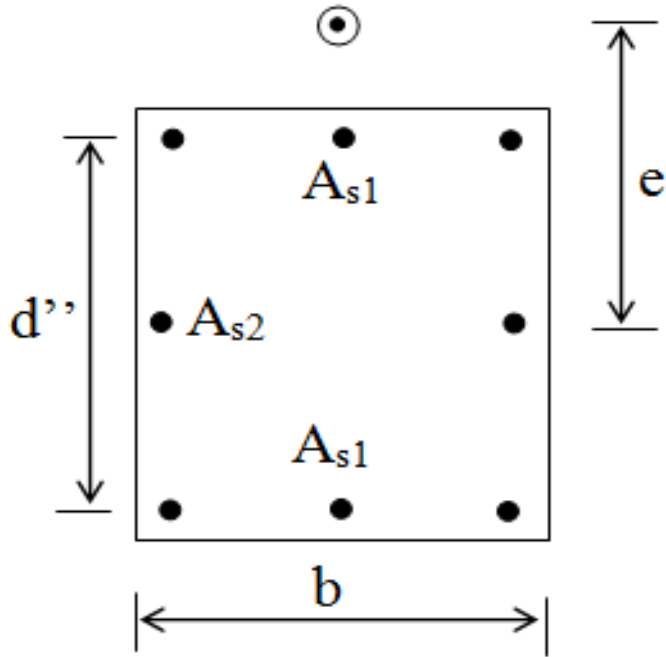
<u>Yük No</u>	<u><math>N_d</math> (kN)</u>	<u><math>M_d'</math> (kNm)</u>
1	1800	180
2	1600	230
3	1200	200

Hesap değerleri çeşitli yük kombinezonlarından elde edilmiştir.  $M_d'$  değerleri ikinci mertebe momentleri de içermektedir.

İstenen: Donatı alanı.



Seçilen donatı düzeni;



$\lambda=1/4$  , S420 ve

$$d''/h=440/500=0.88=0.9$$

$$m=\frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{365}{13} = 28.07$$

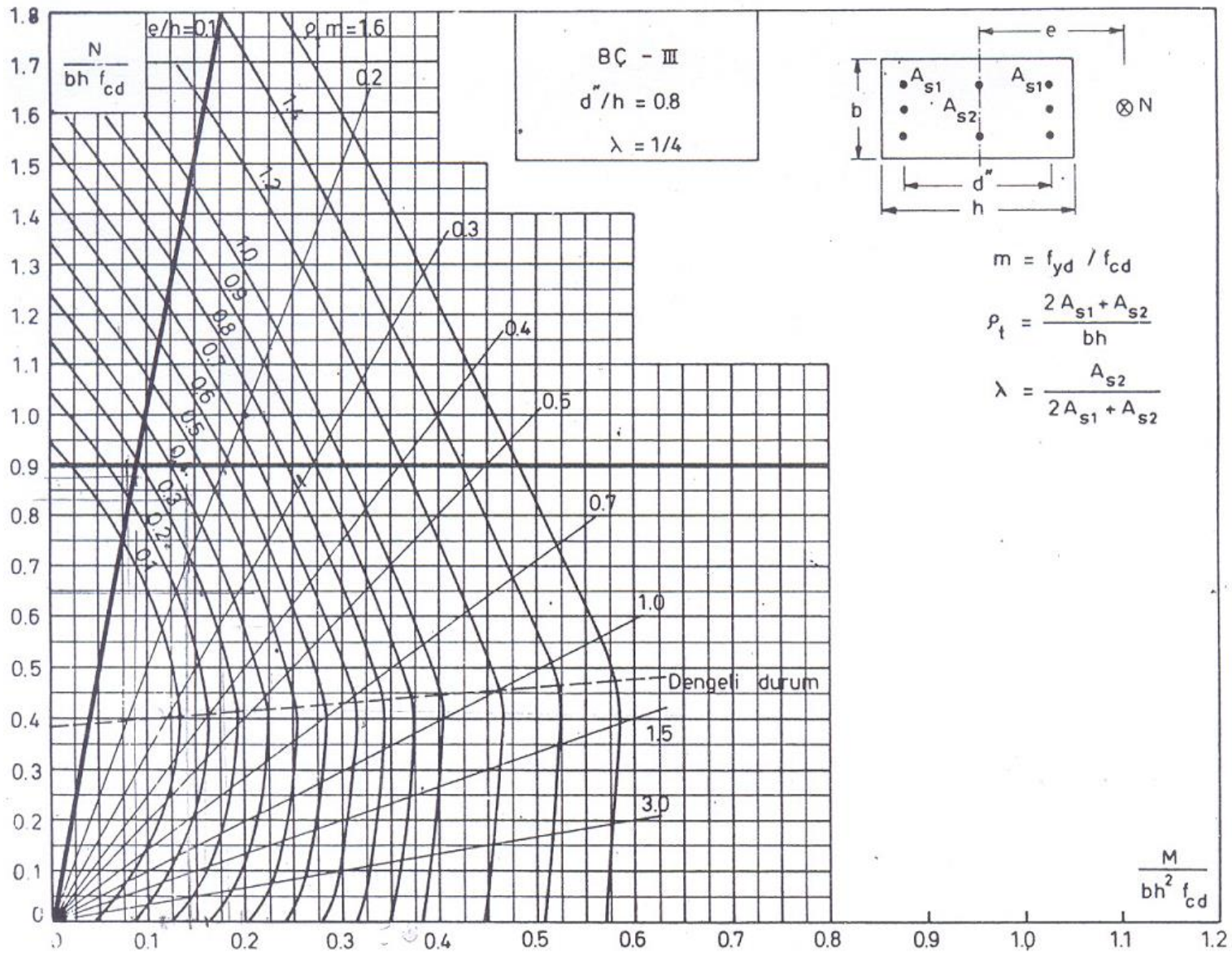
Yük No 1

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{1800 \times 10^3}{400 \times 500 \times 13} = 0.69$$

$$\frac{M_d'}{b h^2 f_{cd}} = \frac{180 \times 10^6}{400 \times 500^2 \times 13} = 0.138$$

Bu değerlerle abağa girilirse  $\rho_t m = 0.27$  bulunur.





## Yük No 2

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = 0.615 \quad \frac{M_d'}{b h^2 f_{cd}} = 0.18 \quad \text{buradan} \quad \rho_{tm}=0.3$$

## Yük No 3

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = 0.46 \quad \frac{M_d'}{b h^2 f_{cd}} = 0.15 \quad \text{buradan} \quad \rho_{tm}=0.14$$

Bu yük kombinasyonlarından kritik olan  $\rho_{tm}=0.3$

$$\rho_{t'} = \frac{0.3}{28.07} = 0.01069 > 0.01$$

$$A_{st} = 0.01069 (400) 500 = 2137 \text{ mm}^2 \quad (8\phi 20 \quad A_{st} = 2512 \text{ mm}^2)$$



### Örnek 3

Bilinen: Dikdörtgen veya kare kesit

$$M_{xzd}=100 \text{ kNm}, \quad M_{xyd}=50 \text{ kNm}, \quad N_d=1200 \text{ kN}$$

Malzeme C20, S420

İstenen: Kesit boyutları ve donatı

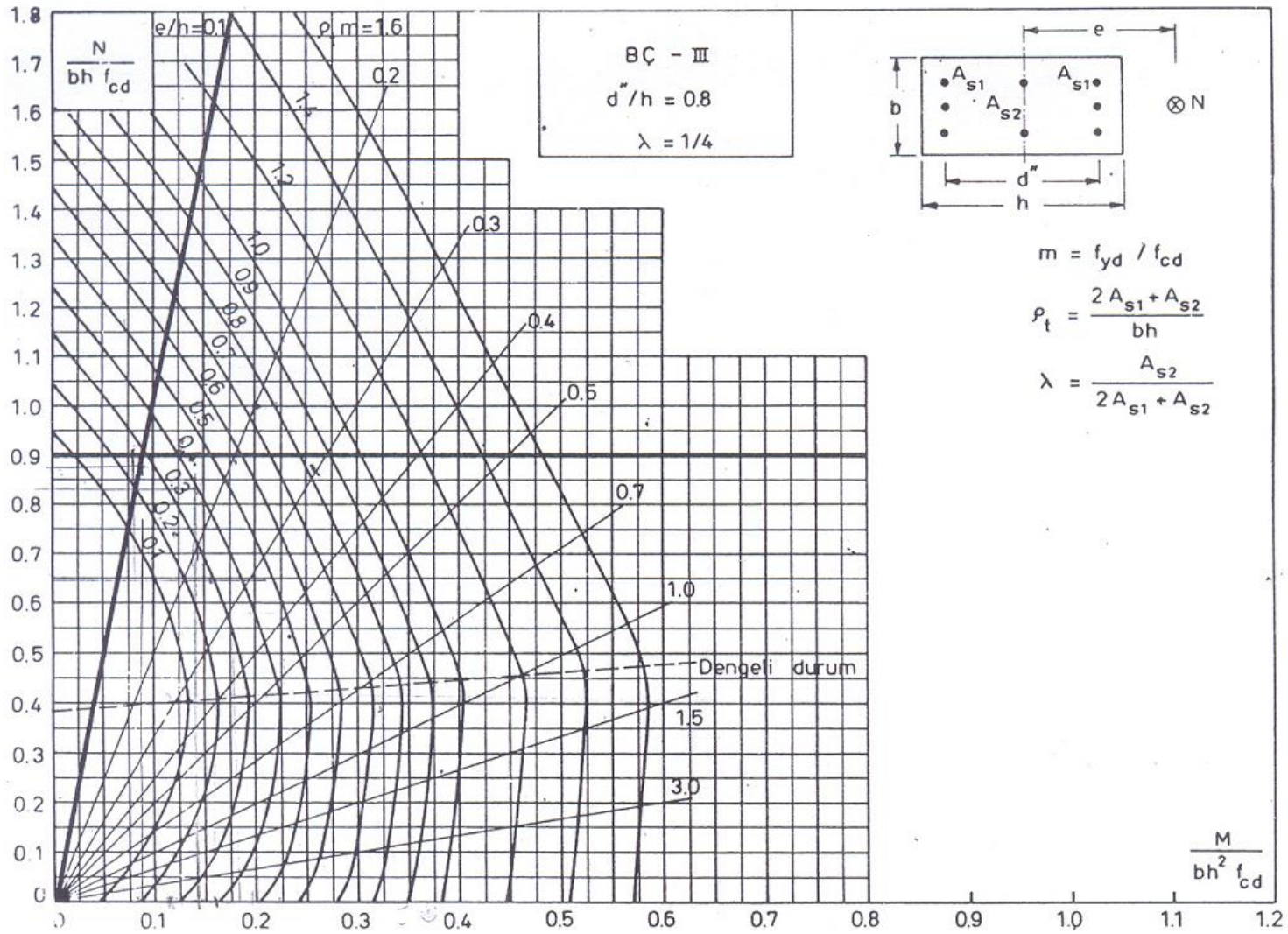
Çözüm:

Kolon boyutunun belirlenmesi;

$$A_c > \frac{N_d}{0.9 f_{cd}} \quad A_c > 1025 \text{ cm}^2 ,$$

$$A_c > \frac{N_d}{0.75 f_{cd}} \quad A_c > 1230 \text{ cm}^2 \quad \text{Boyutlar } 40 \times 40 \text{ cm olarak alınabilir.}$$





Yaklaşık yöntem (emniyetli yönde);

$$M_d = M_{xzd} + M_{xyd} = 150 \text{ kNm}, \quad N_d = 1200 \text{ kN}$$

Kesitin iki yöndeki moment kapasitesi eşit kabul edilirse  $M_{oy} = M_{oz}$  bu

durumda denklem;

$$M_o^{\alpha_n} = (M_{xyd})^{\alpha_n} + (M_{xzd})^{\alpha_n}$$

Yaklaşık yöntemde  $\alpha_n = 1.0$  alınmıştır.

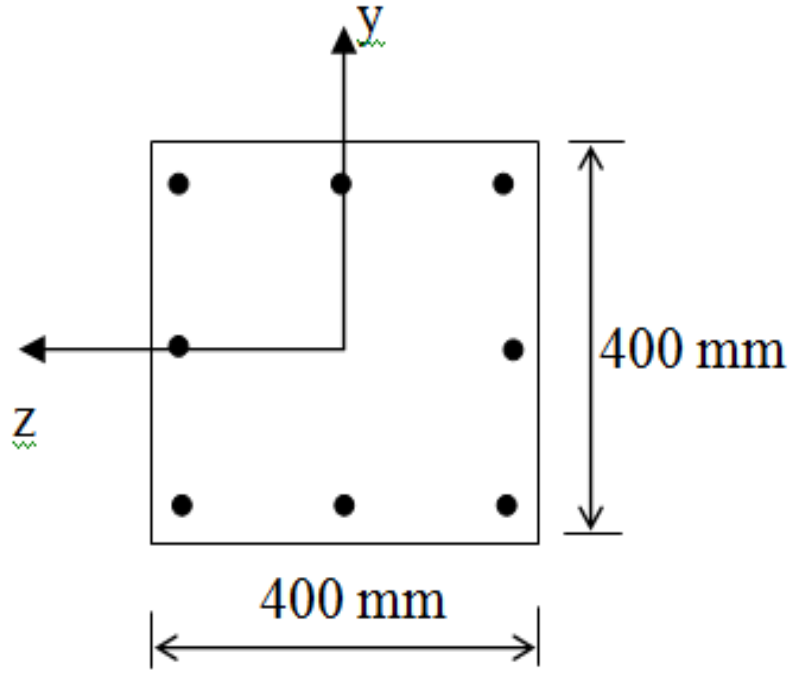
$$\frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = 0.18, \quad \frac{N_d}{b h f_{cd}} = 0.58, \quad \frac{d''}{h} = 0.8 \quad \lambda = 1/4, \quad S420$$

abaktan  $\rho_t m = 0.33$  bulunur.

$$m = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 28, \quad \rho_t = \frac{0.33}{28} = 0.0117 \quad A_{st} = \rho_t b h = 1872 \text{ mm}^2$$

$M_d = M_{xyd} + M_{xzd}$  emniyetli yönde olduğundan, donatı olarak  $8\phi 16$  ( $A_{st} = 1608 \text{ mm}^2$ )

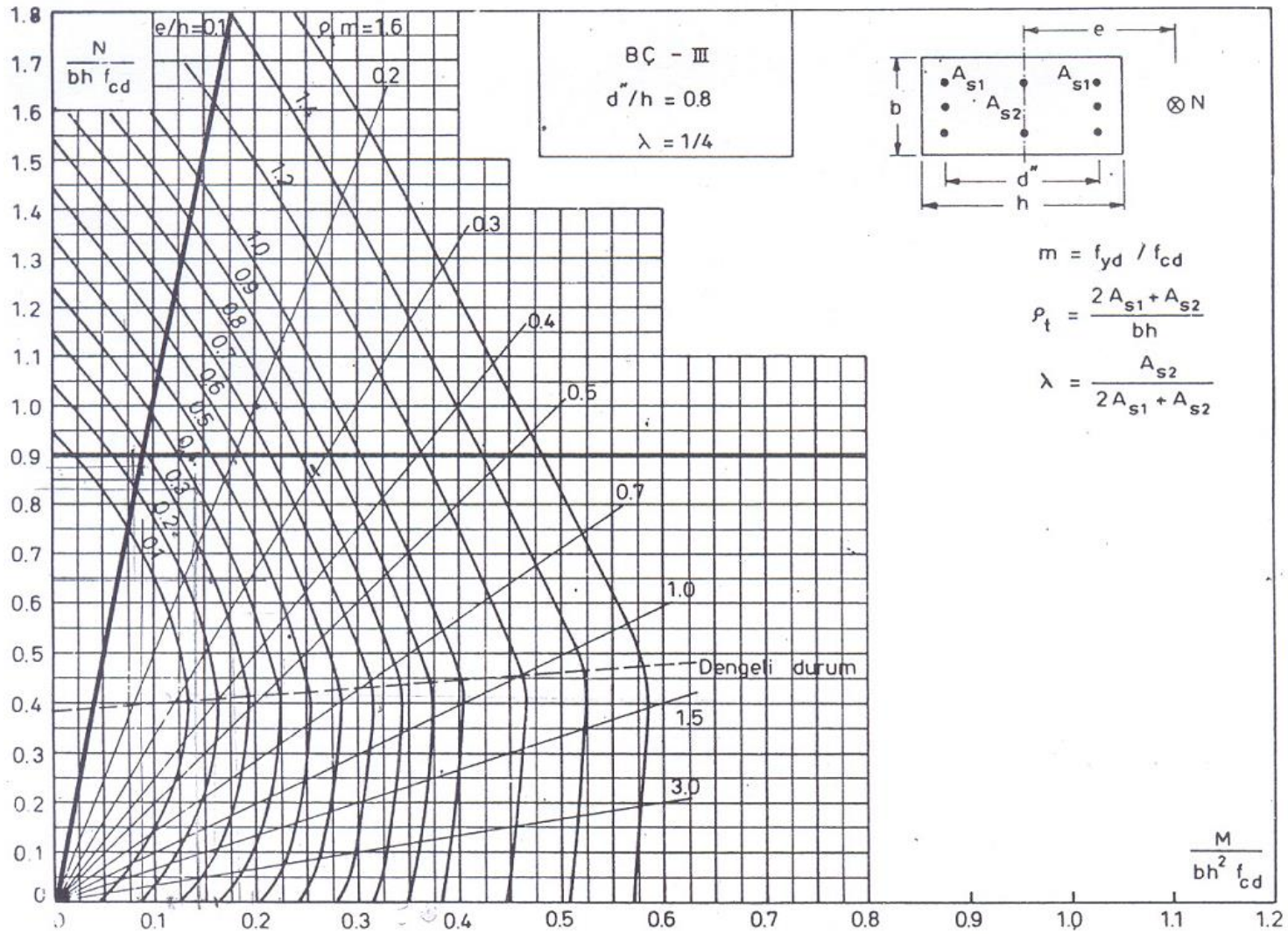
kullanılması yeterlidir.



C20, S420  
8 $\phi$ 16, d'40 mm

Şimdi yapılması gereken çift yönlü eğilme altında kesitin emniyetli olup olmadığının saptanmasıdır.





# BRESLER YÖNTEMİ

Şekilde  $\rho_t=0.01$ ,  $\rho_{tm}=0.28$   $\frac{d''}{h} = 0.8$ ,  $\lambda = 1/4$

$N_o=0.85 f_{cd} A_c+A_{st} f_{yd}=2355$  kN

Abaktan;  $\frac{M_{xzd}}{b h^2 f_{cd}} = 0.12$  ve  $\rho_{tm}=0.28$  için  $\frac{N_{ry}}{b h f_{cd}} = 0.77$

$\frac{M_{xyd}}{b h^2 f_{cd}} = 0.06$  ve  $\rho_{tm}=0.28$  için  $\frac{N_{rz}}{b h f_{cd}} = 0.9$

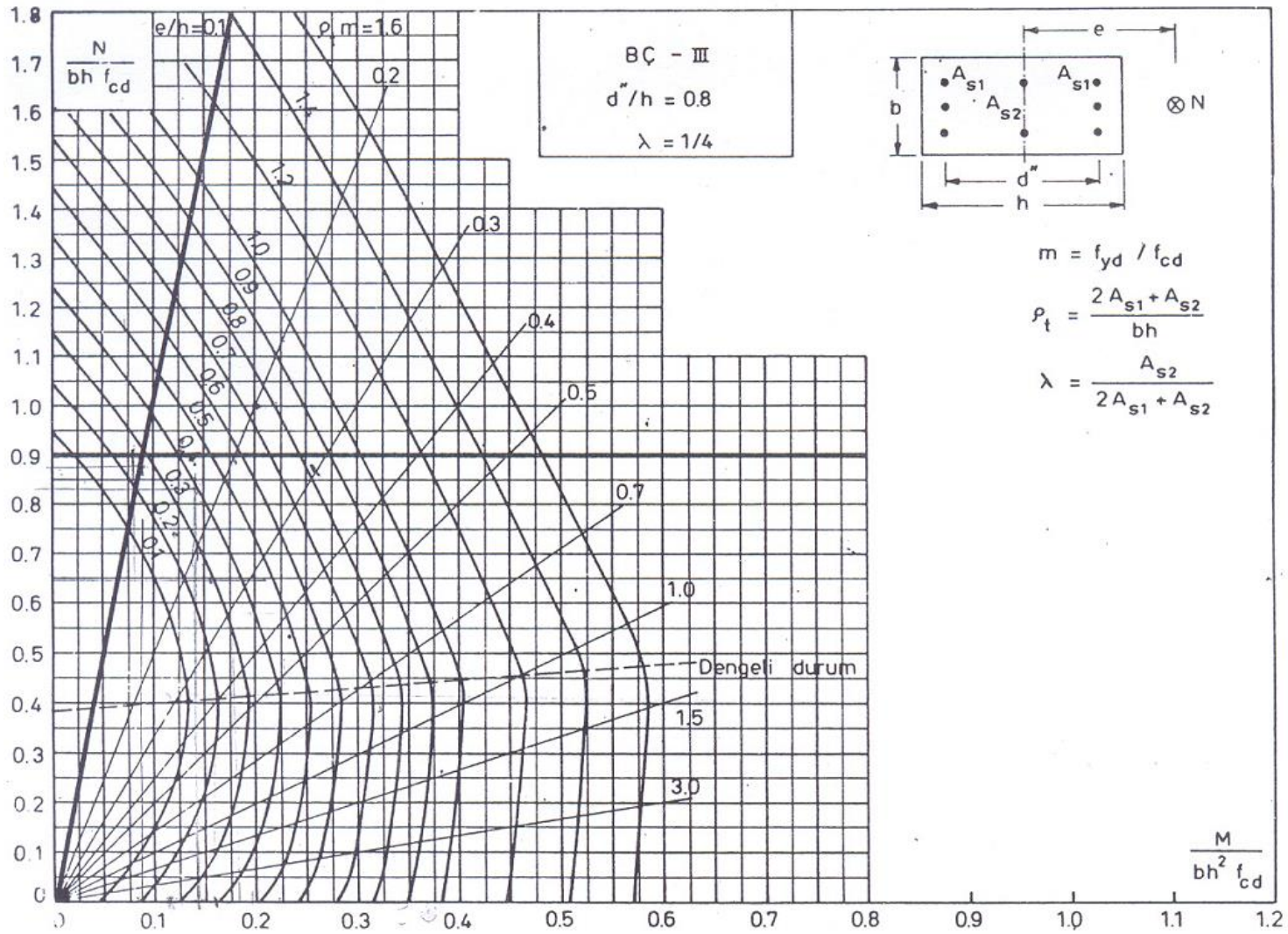
$N_{ry}=1600$  kN,  $N_{rz}=1872$  kN

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{N_{ry}} + \frac{1}{N_{rz}} - \frac{1}{N_o}$$

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{1600} + \frac{1}{1872} - \frac{1}{2355}$$

$N_r=1361.4$  kN > 1200 kN taşıyabilir.





# CP110 YÖNTEMİ

$$\alpha_n = 0.67 + 1.67 \frac{N}{N_o} = 0.67 + 1.67 \frac{1200}{2355} = 1.52$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{1200 \times 10^3}{400 \times 400 \times 13} = 0.58 \quad \rho_{tm} = 0.28 \quad \frac{d''}{h} = 0.8, \quad \lambda = 1/4 \text{ ve S420 için abaktan;}$$

$$\frac{M_{oy}}{b h^2 f_{cd}} = \frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}} = 0.17 \quad (\text{kesit kare ve donatı simetrik olduğundan iki}$$

moment eşittir).

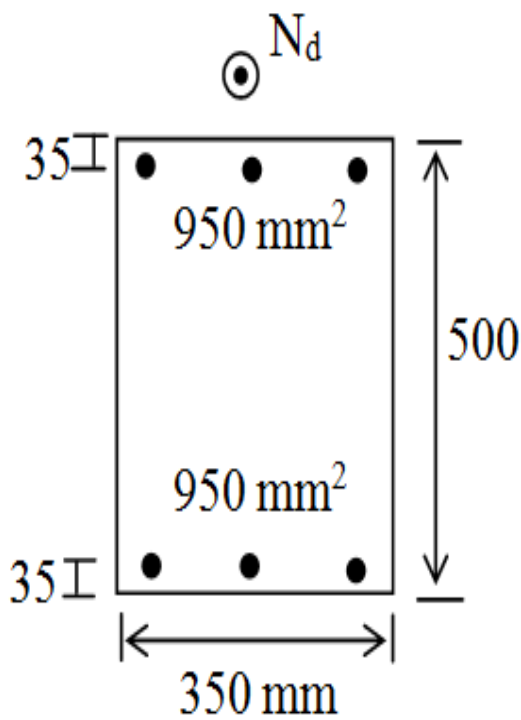
$$M_{oy} = M_{oz} = (0.17 \times 400 \times 400^2 \times 13) \times 10^{-6} = 141.44 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{xyd}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_n} + \left( \frac{M_{xzd}}{M_{oz}} \right)^{\alpha_n} \leq 1$$

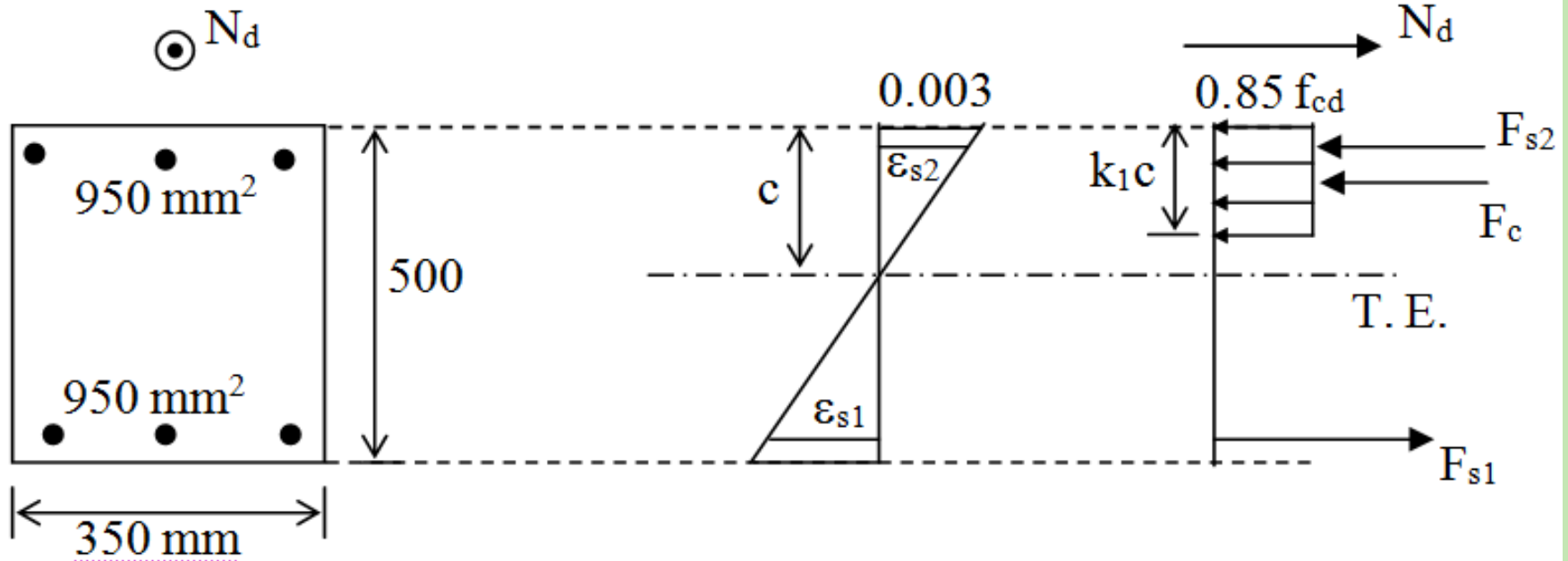
$$\left( \frac{50}{141.44} \right)^{1.52} + \left( \frac{100}{141.44} \right)^{1.52} = 0.21 + 0.59 = 0.8 < 1.0 \quad \text{taşıyabilir.}$$



## Örnek



$N_d=400$  kN olduğuna göre şekilde verilen kolon kesitinin güvenle taşıyacağı momenti hesaplayınız. Malzeme C20, S420.



Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir;

Dengeli durumda;

$$\frac{c_b}{d - c_b} = \frac{0.003}{\varepsilon_{sy}} \quad \varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{365}{2 \times 10^5} = 0.001825$$

$$\frac{c_b}{465 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 289.12 \text{ mm bulunur.}$$

Kesitteki donatı simetrik olduğundan;

$$N_b = F_c + F_{s2} - F_{s1}$$

$$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b$$

$$N_b = (0.85 \times 13 \times 0.85 \times 289.12 \times 350) \times 10^{-3}$$

$$N_b = 950.44 \text{ kN}$$

$N_d < N_b$  olduğundan çekme kırılması oluşmaktadır.



Tanım gereği;

$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{sy}$ , basınç donatısının akıp akmadığı kontrol edilmelidir.

$$\psi = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{400 \times 10^3}{350 \times 500 \times 13} = 0.176$$

$$\psi_c = 0.72 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{h} = 0.72 \times \frac{600}{(600 - 365)} \times \frac{35}{500} = 0.128$$

$\psi > \psi_c$  olduğundan basınç donatısı akma konumuna gelmiştir.  $\sigma_{s2} = f_{yd}$  alınacaktır.

Tarafsız eksen derinliği kuvvet denge denkleminde elde edilir.

$$N = F_c$$

$$400 \times 10^3 = 0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times 350$$

$c = 121.67$  mm elde edilir. Kesit ağırlık merkezine göre moment alınır;



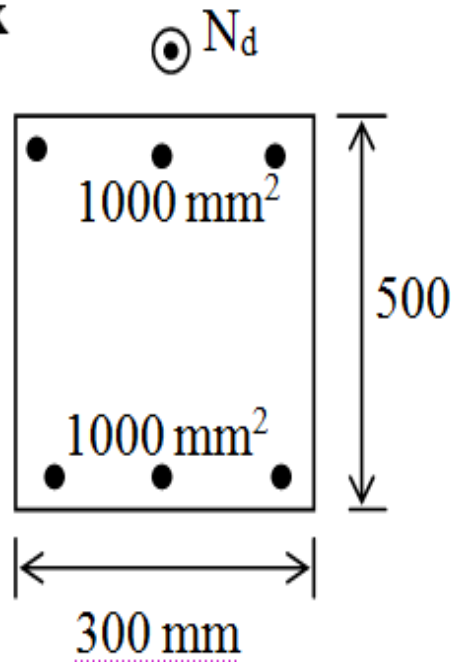
$$M_r = F_c \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_{s2} f_{yd} \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_{s1} f_{yd} \left( \frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_r = \left[ 0.85 \times 13 \times 0.85 \times 121.67 \times 350 \times \left( 250 - \frac{0.85 \times 121.67}{2} \right) + 950 \times 365 \times (250 - 35) + 950 \times 365 \times (250 - 35) \right] \times 10^{-6}$$

$M_r = 228.4$  kNm elde edilir.



## Örnek



Şekilde verilen kolona  $N_d=1250$  kN eksenel kuvvet etki etmektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği momenti hesaplayınız. Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm.

## Çözüm:

Öncelikle kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekir.

Dengeli durumda;

$$c_b = \frac{600}{600 + f_{yd}} d, \quad c_b = \frac{600}{600 + 365} \times 460 = 286 \text{ mm}$$



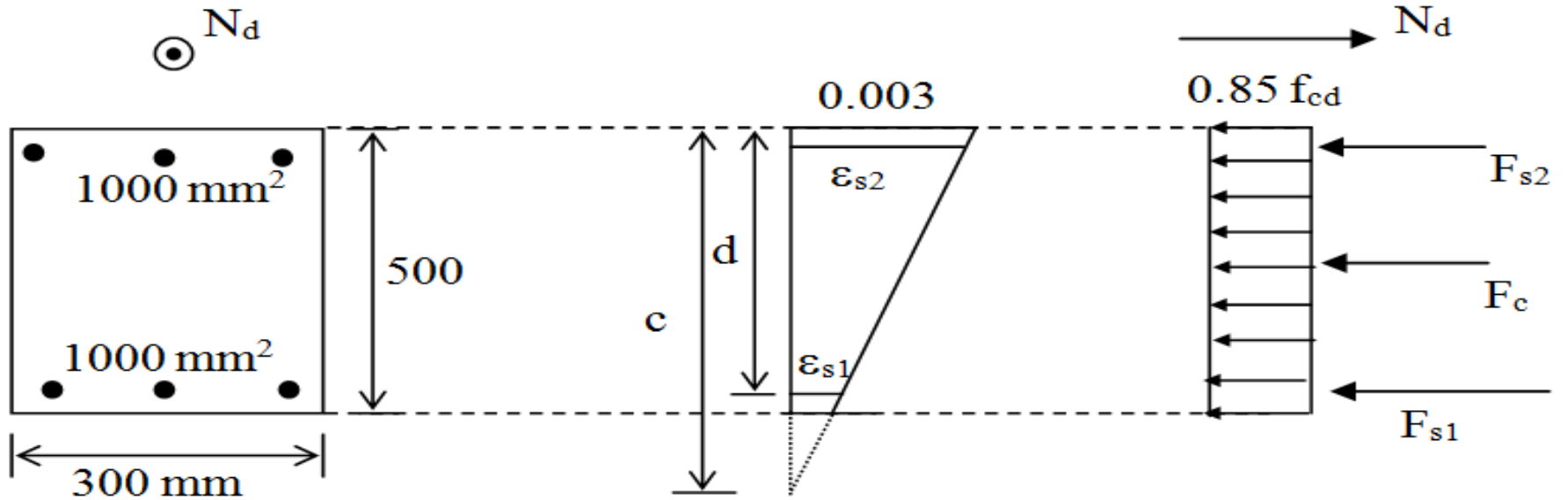
Kesit simetrik donatılı olduğundan;

$$N_b = F_{cb}$$

$$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b = 0.85 \times 13 \times 0.85 \times 286 \times 300 \times 10^{-3} = 805.87 \text{ kN}$$

$N_d > N_b$  olduğundan basınç kırılması oluşur ( $\epsilon_{s2} > \epsilon_{sy}$ ).

Basınç kırılması durumunda en genel anlamda, tarafsız eksenin kesit dışında oluştuğu varsayılırsa, birim deformasyon dağılımı ve iç kuvvetler şekilde görüldüğü gibi meydana gelir.



Uygunluk denkleminde;

$$\frac{c-d}{c} = \frac{\varepsilon_{s1}}{0.003}, \text{ buradan } \varepsilon_{s1} = 0.003\left(\frac{c-d}{c}\right) \text{ ve } \sigma_{s1} = 600\left(\frac{c-d}{c}\right) \text{ ve } \sigma_{s2} = f_{yd} \text{ olur.}$$

Kuvvet denge denkleminde;

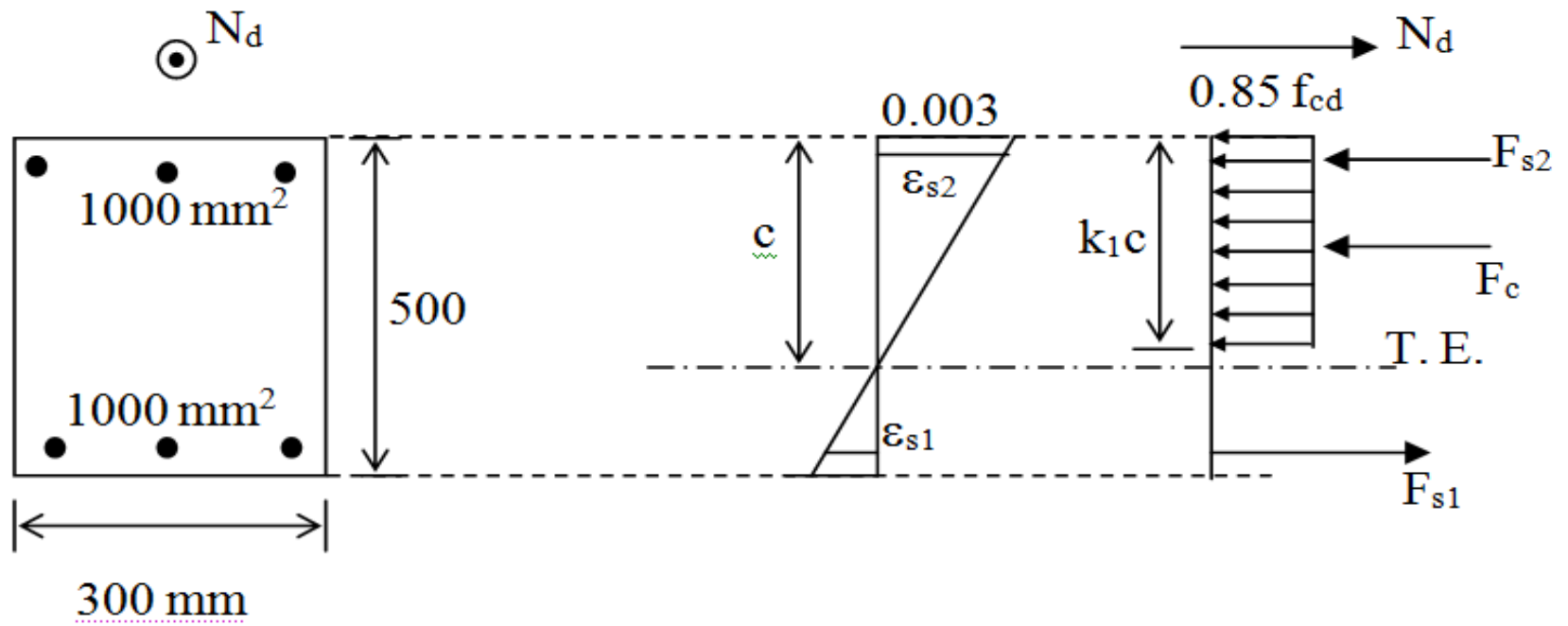
$$N = F_c + F_{s2} + F_{s1}$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} + A_{s1} \sigma_{s1}$$

$$1250 \times 10^3 = 0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times 300 + 1000 \times 365 + 1000 \times 600 \times \left(\frac{c-460}{c}\right) \quad \text{denklem}$$

düzenlendiğinde,  $c^2 - 101.144c - 97950.5 = 0$  formunu alır. İkinci derece denklemin çözümünden;  $c = 367.6$  mm bulunur. Yani tarafsız eksen kesitin içinde kalmaktadır. Bu durumda  $\sigma_{s1} = -150.82$  N/mm<sup>2</sup> elde edilir. Gerilmenin negatif çıkması, alt donatının çekme olduğunu göstermektedir. Birim deformasyon dağılımı yeniden oluşturulacak olursa;





Kesit ağırlık merkezine göre moment;

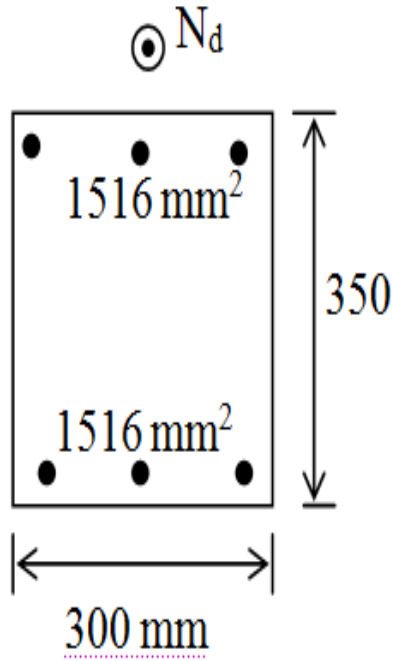
$$M_r = F_c \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_{s2} f_{yd} \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_{s1} \sigma_{s1} \left( \frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_r = \left[ 0.85 \times 13 \times 0.85 \times 367.6 \times \left( 250 - \frac{0.85 \times 367.6}{2} \right) + 1000 \times 365 \times (250 - 40) + 1000 \times 150.82 \times (250 - 40) \right] \times 10^{-6}$$

$M_r = 205.45 \text{ kNm}$  elde edilir.



## Örnek



Şekilde verilen kolonun  $e=130$  mm eksantrisite ile taşıyabileceği aksenal yükün hesap değerini

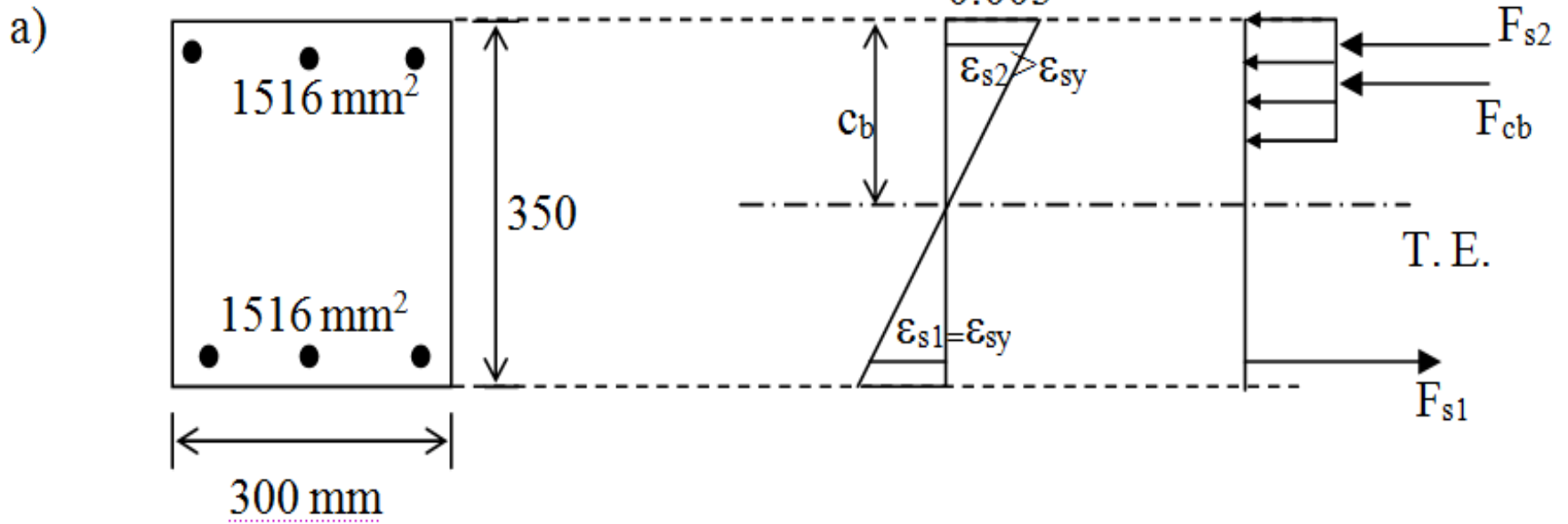
- Temel denklemleri kullanarak tarafsız eksenin yerini belirleyen denklemi bulunuz.
- Eksenal kuvvet (N) ve taşıma gücü momenti (M) değerlerini bulunuz.

c) 
$$N = \frac{N_o}{1 + \frac{e}{e_b} \left( \frac{N_o}{N_b} - 1 \right)}$$
 yaklaşık denklemini kullanarak N ve

M değerlerini bulunuz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=45 mm.



Çözüm:  $\odot N_d$



Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir; Dengeli durumda;

$$\frac{c_b}{d - c_b} = \frac{0.003}{\epsilon_{sy}} \quad \epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{365}{2 \times 10^5} = 0.001825$$

$$\frac{c_b}{305 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 189.6 \text{ mm bulunur.}$$



Kesit simetrik donatılı olduğundan;

$$N_b = F_{cb}$$

$$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b = 0.85 \times 17 \times 0.85 \times 189.6 \times 300 \times 10^{-3} = 698.63 \text{ kN}$$

İç kuvvetlerin momentinden dengeli moment değeri;

$$M_b = F_{cb} \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c_b}{2} \right) + A_{st} f_{yd} \frac{d''}{2} = \left[ 698630 \times \left( 175 - \frac{0.85 \times 189.6}{2} \right) + 2 \times 1516 \times 365 \times \left( \frac{260}{2} \right) \right] \times 10^{-6}$$

$$M_b = 209.8 \text{ kNm}$$



$$e_b = \frac{M_b}{N_b} = \frac{209.8}{698.63} = 0.3 \text{ m} \quad e < e_b \text{ olduğundan kırılma biçimi basınç}$$

kırılmasıdır.

Bu durumda  $\sigma_{s2} = f_{yd}$  ve  $\sigma_{s1} = 600 \left( \frac{c-d}{c} \right)$ , Tüm kuvvetler basınç olarak düşünülmüştür.

Tarafsız eksenin yerini belirleyen denklem iç kuvvetlerin kesit ağırlık merkezine göre momentinin ( $N e$ ) momentine eşitlenmesi ile bulunur.



Kuvvet denge denklemi yazılırsa;

$$N = F_c + F_{s2} + F_{s1}$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} + A_{s1} \sigma_{s1}$$

İç kuvvetlerin momenti yazılırsa;

$$M_r = F_c \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_{s2} f_{yd} \left( \frac{h}{2} - d' \right) - A_{s1} \sigma_{s1} \left( \frac{h}{2} - d' \right) \quad (1)$$

$$N e = (0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} + A_{s1} \sigma_{s1}) e \quad (2)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu iki denklemin eşitlenmesinden;

$$0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300 \times \left( 175 - \frac{0.85 c}{2} \right) + 1516 \times 365 \times (175 - 45) - 1516 \times 600 \times \left( \frac{c - 305}{c} \right) \times (175 -$$

45)

$$= \left[ 0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300 + 1516 \times 365 + 1500 \times 600 \times \left( \frac{c - 305}{c} \right) \right] \times 130$$



c parametresine bağlı aşağıdaki ifade elde edilir.

$$c^3 - 105.88 c^2 + 151019.16 c - 46053639.85 = 0 \quad \text{Bu denklemin çözümünden}$$

$c = 247.5 \text{ mm}$  bulunmaktadır.

$\sigma_{s1} = 600 \left( \frac{c-d}{c} \right)$  ifadesinden  $\sigma_{s1} = -139.4 \text{ N/mm}^2$  (Çekme) olarak bulunmaktadır.

b)

$c = 247.5 \text{ mm}$  için

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} + A_{s1} \sigma_{s1}$$

$$N = [0.85 \times 17 \times 0.85 \times 247.5 \times 300 + 1516 \times 365 + 1516 \times (-139.4)] \times 10^3 = 1254 \text{ kN}$$

$$M = N e = 1254 \times 0.13 = 163.02 \text{ kNm} \text{ olarak elde edilmektedir.}$$



c)  $N_o = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd}$

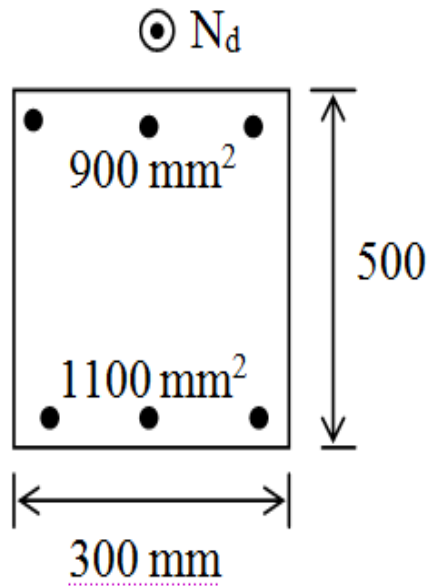
$$N_o = (0.85 \times 17 \times 300 \times 350 + 2 \times 1516 \times 365) \times 10^{-3} = 2623.93 \text{ kN}$$

$$N = \frac{N_o}{1 + \frac{e}{e_b} \left( \frac{N_o}{N_b} - 1 \right)} = \frac{2623.93}{1 + \frac{130}{300} \times \left( \frac{2623.93}{698.63} - 1 \right)} = 1195.8 \text{ kN}$$

$M = N e = 155.46 \text{ kNm}$  olarak bulunmaktadır.

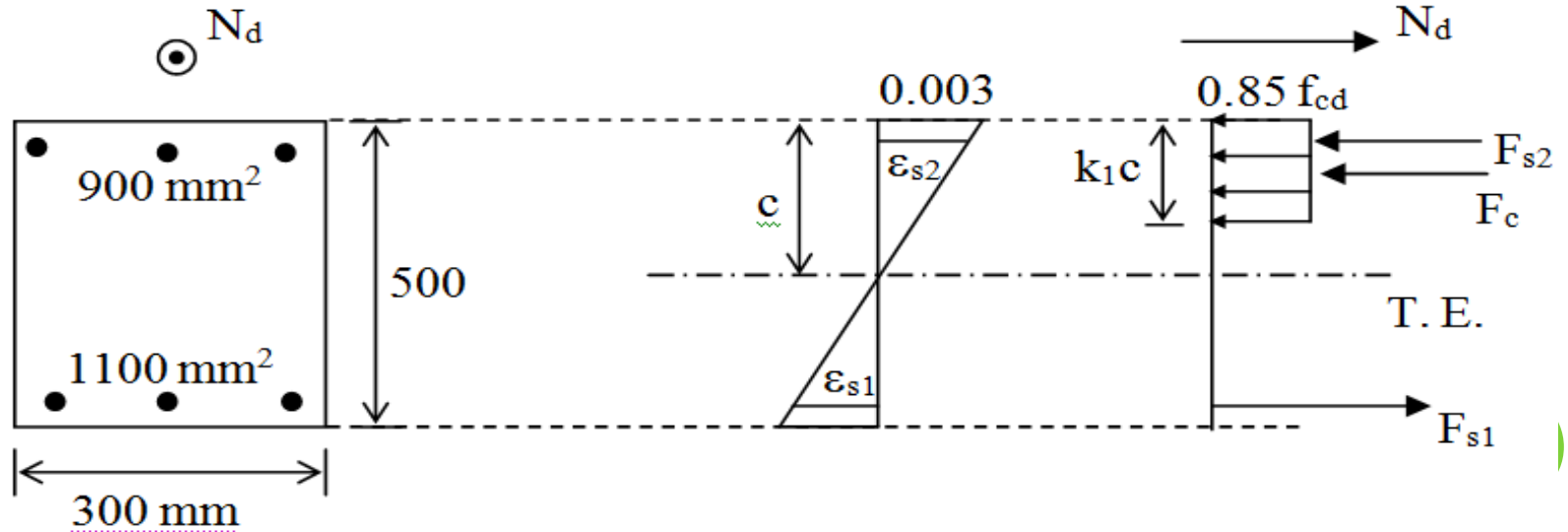


## Örnek



Şekilde verilen kolon  $N_d=825 \text{ kN}$  aksenal yüke maruz kaldığına göre kolon kesitinin taşıma gücü momentini bulunuz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

## Çözüm:



Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir; Dengeli durumda;

$$\frac{c_b}{d - c_b} = \frac{0.003}{\varepsilon_{sy}} \quad \varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{365}{2 \times 10^5} = 0.001825$$

$$\frac{c_b}{450 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 279.5 \text{ mm bulunur.}$$

$$N_b = F_c + F_{s2} - F_{s1}$$

$$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b + A_{s2} f_{yd} - A_{s1} f_{yd}$$

$$N_b = (0.85 \times 17 \times 0.85 \times 279.5 \times 300 + 900 \times 365 - 1100 \times 365) \times 10^{-3}$$

$$N_b = 956.8 \text{ kN}$$

$N_d < N_b$  olduğundan çekme kırılması oluşmaktadır (Şekil 4.13). Tanım gereği;

$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{sy}$ , basınç donatısının akıp akmadığı kontrol edilmelidir.



$$\psi = \frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{825 \times 10^3}{300 \times 500 \times 17} = 0.32$$

$$\psi_c = 0.72 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{h} = 0.72 \times \frac{600}{(600 - 365)} \times \frac{50}{500} = 0.18$$

$\psi > \psi_c$  olduğundan basınç donatısı akma konumuna gelmiştir.  $\epsilon_{s2} > \epsilon_{sy}$ ,  $\sigma_{s2} = f_{yd}$  alınacaktır. Tarafsız eksen derinliği kuvvet denge denkleminde elde edilir.

$$N = F_c + F_{s2} - F_{s1}$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} - A_{s1} f_{yd}$$

$$825 \times 10^3 = 0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300 + 900 \times 365 - 1100 \times 365$$

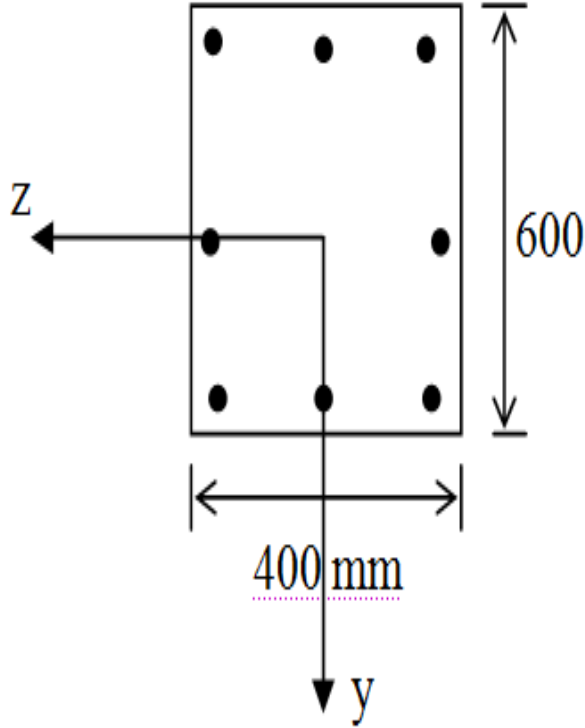
$c = 243.7$  mm elde edilir.

$$M_r = F_c \left( \frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_{s2} f_{yd} \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_{s1} f_{yd} \left( \frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_r = \left[ 0.85 \times 17 \times 0.85 \times 243.7 \times 300 \times \left( 250 - \frac{0.85 \times 243.7}{2} \right) + 900 \times 365 \times (250 - 50) + 1100 \times 365 \times (250 - 50) \right] \times 10^{-6}$$

$M_r = 277.5$  kNm elde edilir.

## Örnek



$$N_d = 2500 \text{ kN}$$

$$M_{xyd} = 105 \text{ kNm}$$

$$M_{xzd} = 180 \text{ kNm}$$

$$A_{st} = 8\phi 20 (2513 \text{ mm}^2)$$

Paspayı=35 mm ve malzeme C20, S420 olduğuna göre verilen kesitin Bresler ve CPIIO yöntemlerine göre güvenlik kontrolünü yapınız.



## Çözüm:

- Bresler kontrolü:

$$N_o = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd} = (0.85 \times 13 \times 400 \times 600 + 2513 \times 365) \times 10^{-3} = 3569.3 \text{ kN}$$

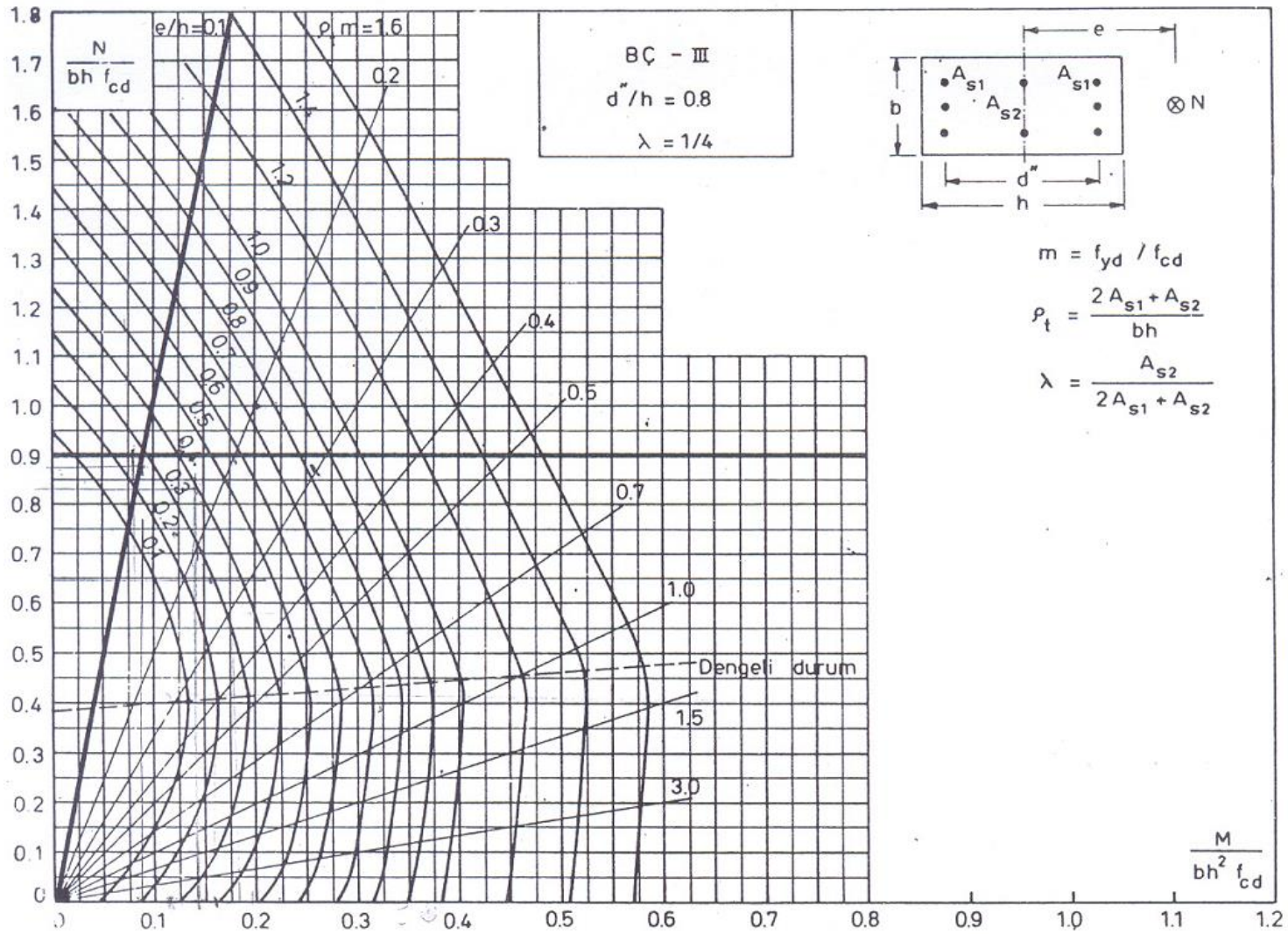
Taşıma gücü:

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{N_{ry}} + \frac{1}{N_{rz}} - \frac{1}{N_o}$$

$$\frac{M_{xyd}}{b h^2 f_{cd}} = \frac{105 \times 10^6}{600 \times 400^2 \times 13} = 0.084, \quad \frac{d''}{h} = \frac{400 - 2 \times 35}{400} = 0.82 = 0.8$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{b h} = \frac{2513}{600 \times 400} = 0.01, \quad \rho_t m = 0.01 \times \frac{365}{13} = 0.28, \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII}$$





Uygun abaktan;

$$\frac{N_{ry}}{b h f_{cd}} = 0.88 \text{ okunmaktadır. } N_{ry} = (0.88 \times 600 \times 400 \times 13) \times 10^{-3} = 2745 \text{ kN bulunur.}$$

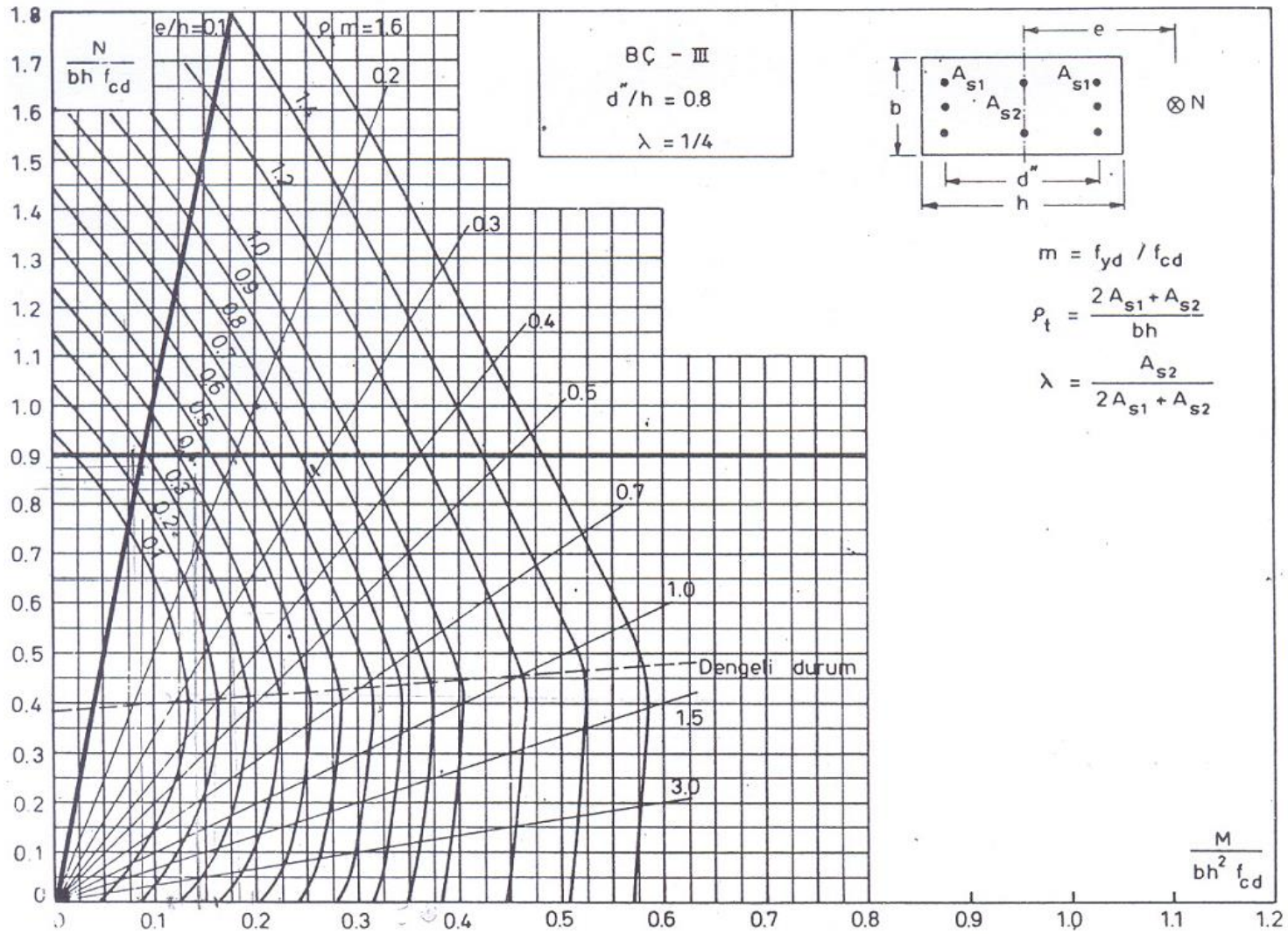
$$\frac{M_{xzd}}{b h^2 f_{cd}} = \frac{180 \times 10^6}{400 \times 600^2 \times 13} = 0.096, \quad \frac{d''}{h} = \frac{600 - 2 \times 35}{600} = 0.88 = 0.9$$

$$\rho_t m = 0.28, \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII}$$

$$\frac{N_{rz}}{b h f_{cd}} = 0.87 \text{ okunmaktadır. Buradan } N_{rz} = (0.87 \times 400 \times 600 \times 13) \times 10^{-3} = 2714.4 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{2745} + \frac{1}{2714.4} - \frac{1}{3569.3} \quad \text{bu ifadeden } N_r = 2209 \text{ kN} < 2500 \text{ Kesit bu yükleri}$$

taşıyamaz.



- CP110:

$$\alpha_n = 0.67 + 1.67 \frac{N}{N_o} = 0.67 + 1.67 \times \frac{2500}{3569.3} = 1.84$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{2500 \times 10^3}{600 \times 400 \times 13} = 0.8$$

$$\frac{M_{oy}}{b h^2 f_{cd}} \text{ abaktan okunmalıdır. } \frac{d''}{h} = 0.8, \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII}, \quad \rho_t m = 0.28$$

$$\frac{M_{oy}}{b h^2 f_{cd}} = 0.118 \text{ okunur. } M_{oy} = (0.118 \times 600 \times 400^2 \times 13) \times 10^{-6} = 147.26 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}} \text{ abaktan okunmalıdır. } \frac{d''}{h} = 0.9, \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII}, \quad \rho_t m = 0.28$$



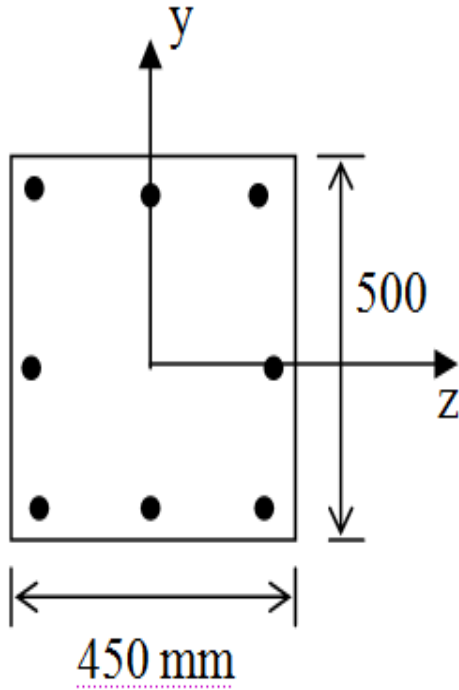
$$\frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}} = 0.125 \text{ okunur. } M_{oz} = (0.125 \times 400 \times 600^2 \times 13) \times 10^{-6} = 234 \text{ kNm bulunur.}$$

$$\left( \frac{M_{xyd}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_n} + \left( \frac{M_{xzd}}{M_{oz}} \right)^{\alpha_n} \leq 1 \text{ olmalıdır.}$$

$$\left( \frac{105}{147.26} \right)^{1.84} + \left( \frac{180}{234} \right)^{1.84} = 0.54 + 0.62 = 1.16 > 1 \text{ olduğundan kesit yükleri güvenle taşıyamaz.}$$



## Örnek



$$N_d = 2200 \text{ kN}$$

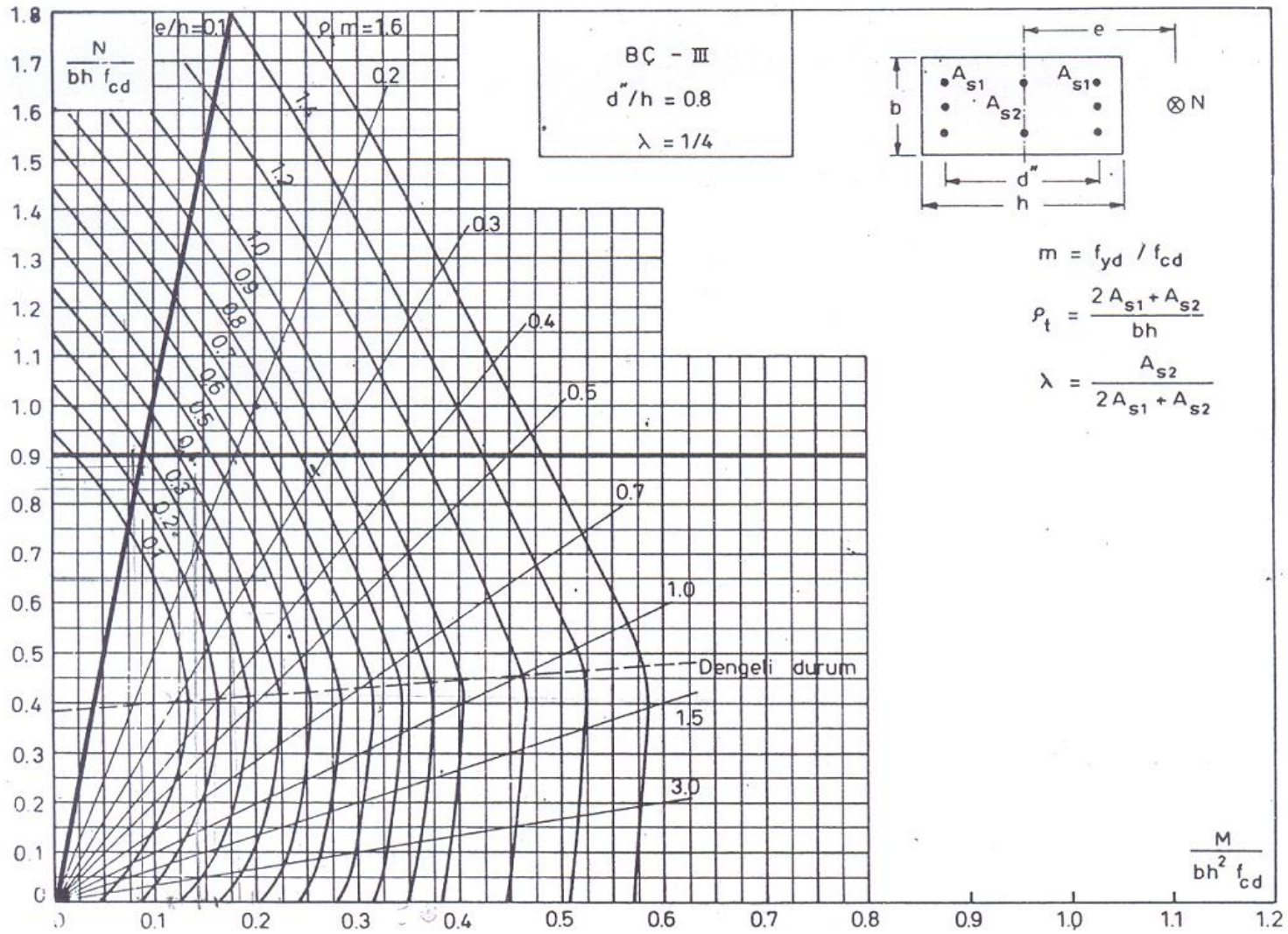
$$M_{xyd} = 190 \text{ kNm}$$

$$M_{xzd} = 210 \text{ kNm}$$

$$A_{st} = 8\phi 20 \text{ mm}^2$$

Paspayı=40 mm ve malzeme C20, S420 olduğuna göre verilen kesitin Bresler ve CP110 yöntemlerine göre güvenlik kontrolünü yapınız.





## Çözüm:

- Bresler kontrolü:

$$N_o = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd} = (0.85 \times 13 \times 450 \times 500 + 2512 \times 365) \times 10^{-3} = 3403.1 \text{ kN}$$

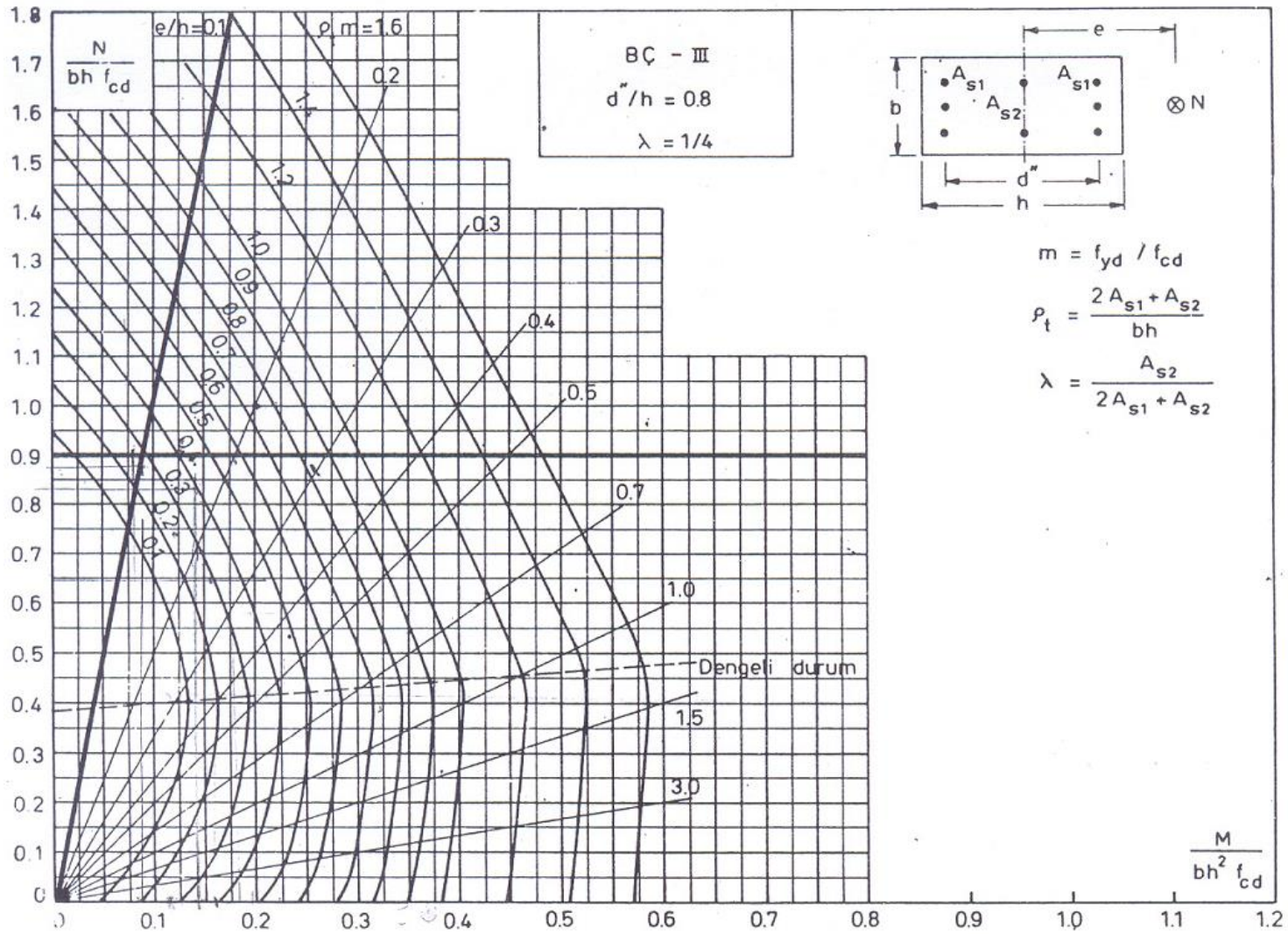
Taşıma gücü: 
$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{N_{ry}} + \frac{1}{N_{rz}} - \frac{1}{N_o}$$

$$\frac{M_{xyd}}{b h^2 f_{cd}} = \frac{190 \times 10^6}{500 \times 450^2 \times 13} = 0.144, \quad \frac{d''}{h} = \frac{400 - 2 \times 40}{450} = 0.8,$$

$$\rho_{tm} = \frac{A_{st} f_{yd}}{b h f_{cd}} = \frac{2512}{450 \times 500} \times \frac{365}{13} = 0.313, \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII}$$

Uygun abaktan;

$$\frac{N_{ry}}{b h f_{cd}} = 0.74 \text{ okunmaktadır. Buradan } N_{ry} = (0.74 \times 450 \times 500 \times 13) \times 10^{-3} = 2164 \text{ kN}$$



$$\frac{M_{xzd}}{b h^2 f_{cd}} = \frac{210 \times 10^6}{450 \times 500^2 \times 13} = 0.143, \quad \frac{d''}{h} = \frac{500 - 2 \times 40}{500} = 0.84 = 0.8,$$

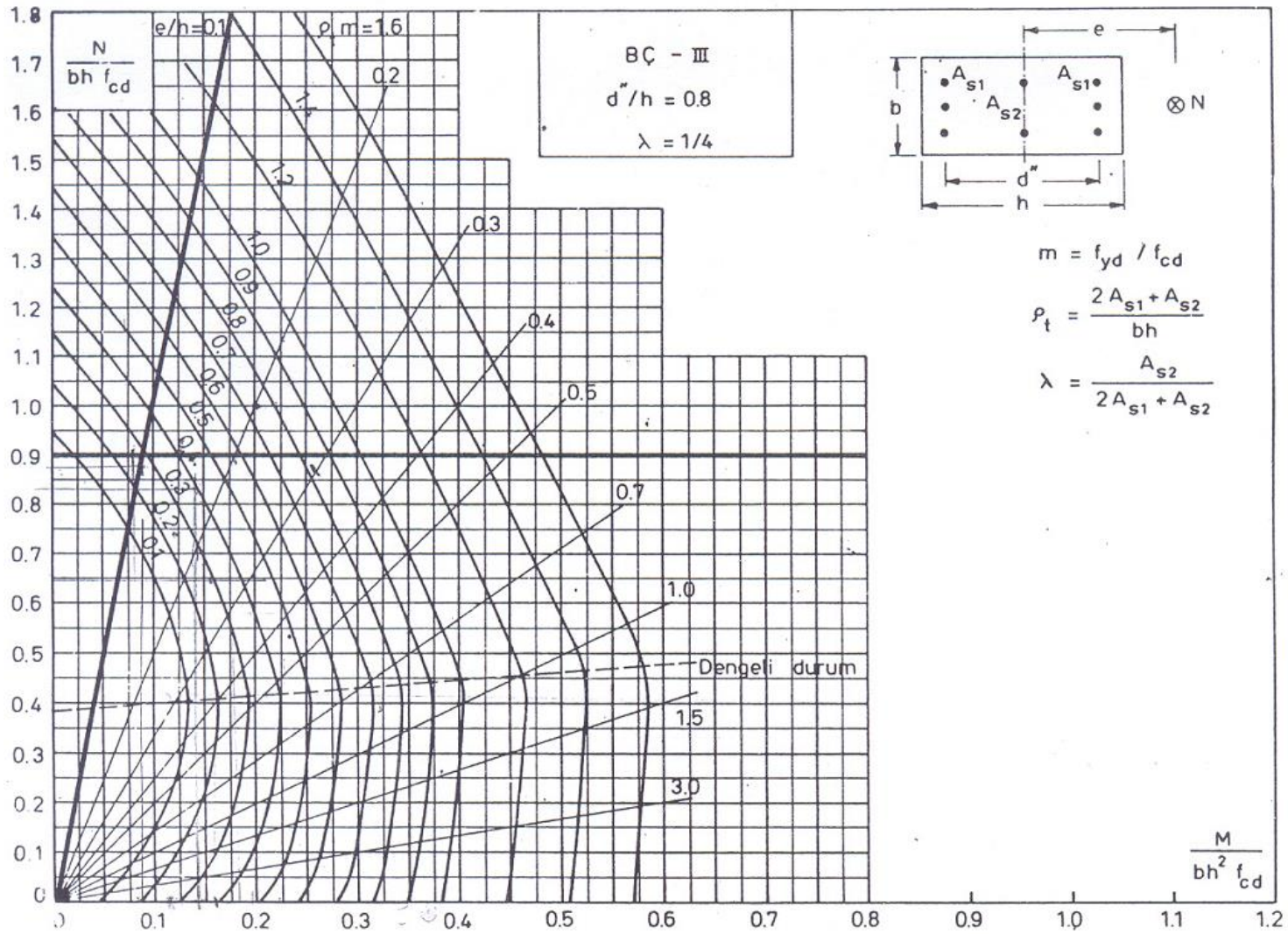
$$\rho_t m = 0.313, \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII}$$

$$\frac{N_{rz}}{b h f_{cd}} = 0.74 \text{ okunmaktadır. Buradan } N_{rz} = (0.74 \times 450 \times 500 \times 13) \times 10^{-3} = 2164 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{2164} + \frac{1}{2164} - \frac{1}{3403.1} \quad \text{bu ifadeden } N_r = 1586.4 \text{ kN} < 2200 \text{ olarak bulunur.}$$

Kesit bu yükleri güvenle taşıyamaz.





- CP110:

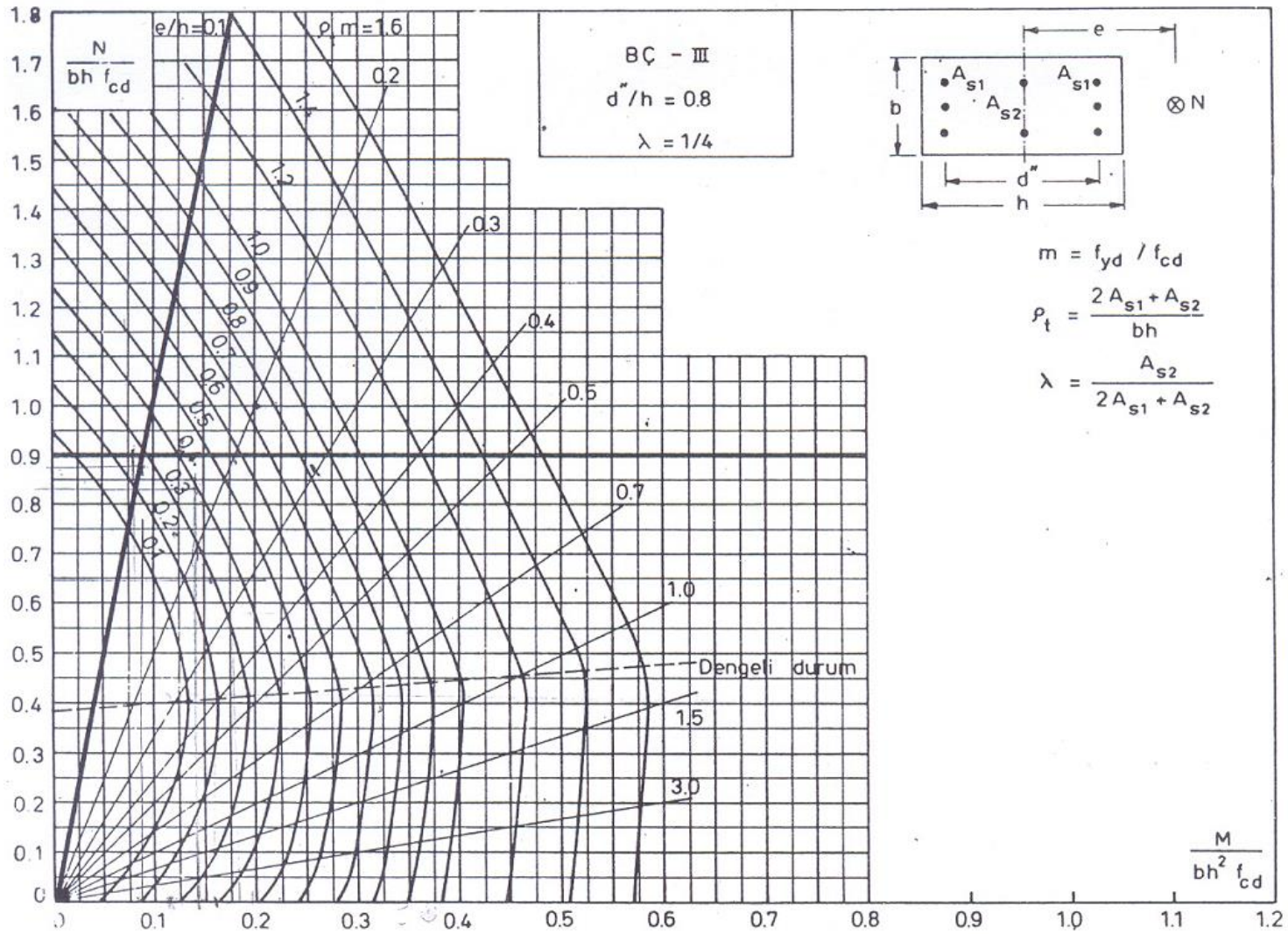
$$\alpha_n = 0.67 + 1.67 \frac{N}{N_o} = 0.67 + 1.67 \times \frac{2200}{3403.1} = 1.75$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{2200 \times 10^3}{450 \times 500 \times 13} = 0.75$$

$$\frac{M_{oy}}{b h^2 f_{cd}} \text{ abaktan okunmalıdır. } \frac{d''}{h} = 0.8 \quad \lambda = \frac{1}{4}, \quad \text{BÇIII} \quad \rho_t m = 0.313$$

$$\frac{M_{oy}}{b h^2 f_{cd}} = 0.14 \text{ okunur. } M_{oy} = (0.14 \times 500 \times 450^2 \times 13) \times 10^{-6} = 184.27 \text{ kNm}$$





$\frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}}$  abaktan okunmalıdır.  $\frac{d''}{h} = 0.8$  ,  $\lambda = \frac{1}{4}$  , BÇIII ,  $\rho_t m = 0.313$

$\frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}} = 0.14$  okunur.  $M_{oz} = (0.14 \times 450 \times 500^2 \times 13) \times 10^{-6} = 204.75 \text{ kNm}$  bulunur.

$\left( \frac{M_{xyd}}{M_{oy}} \right)^{\alpha_n} + \left( \frac{M_{xzd}}{M_{oz}} \right)^{\alpha_n} \leq 1$  olmalıdır.

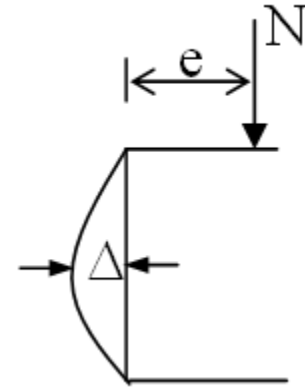
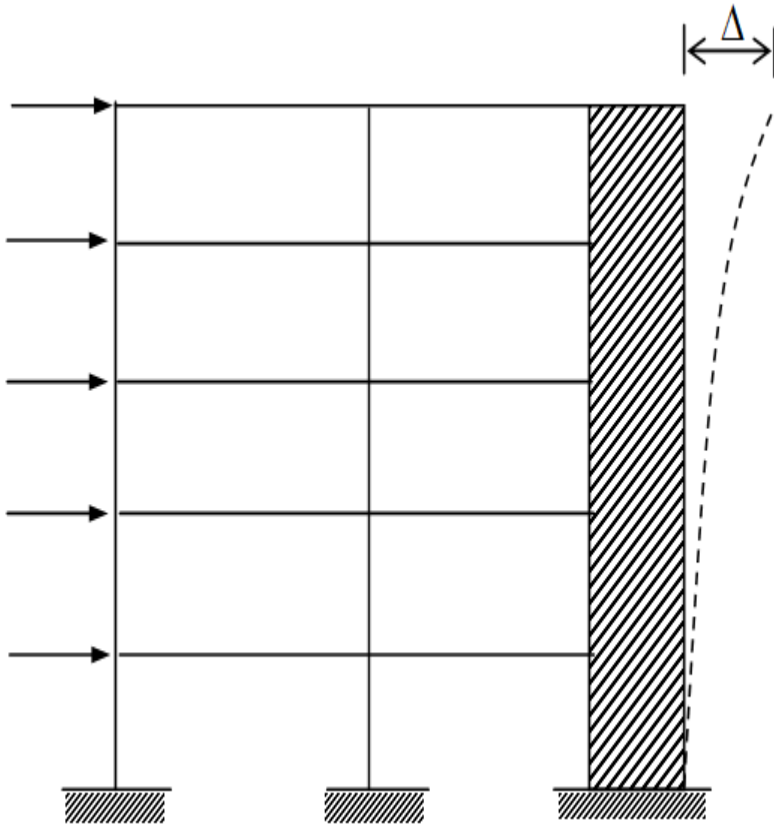
$\left( \frac{190}{184.27} \right)^{1.75} + \left( \frac{210}{204.75} \right)^{1.75} = 1.05 + 1.04 = 2.09 > 1$  Kesit yükleri güvenle taşıyamaz.



## NARİNLİK ETKİSİ

Yapılarda tüm kolonlar eğilme momenti taşırlar ve bu momentler kolonda eğrilik oluşturur. Eğrilik kolonun iki ucu arasında deplasman yapmasına neden olur. Bazen bu deplasmanlar yanıl ötelenmeye bağlı olarak da (görelil olarak) meydana gelebilirler. Bu deplasmanlar sonuç olarak eksantrisiteyi arttırır ve momenti büyötmüş olur.





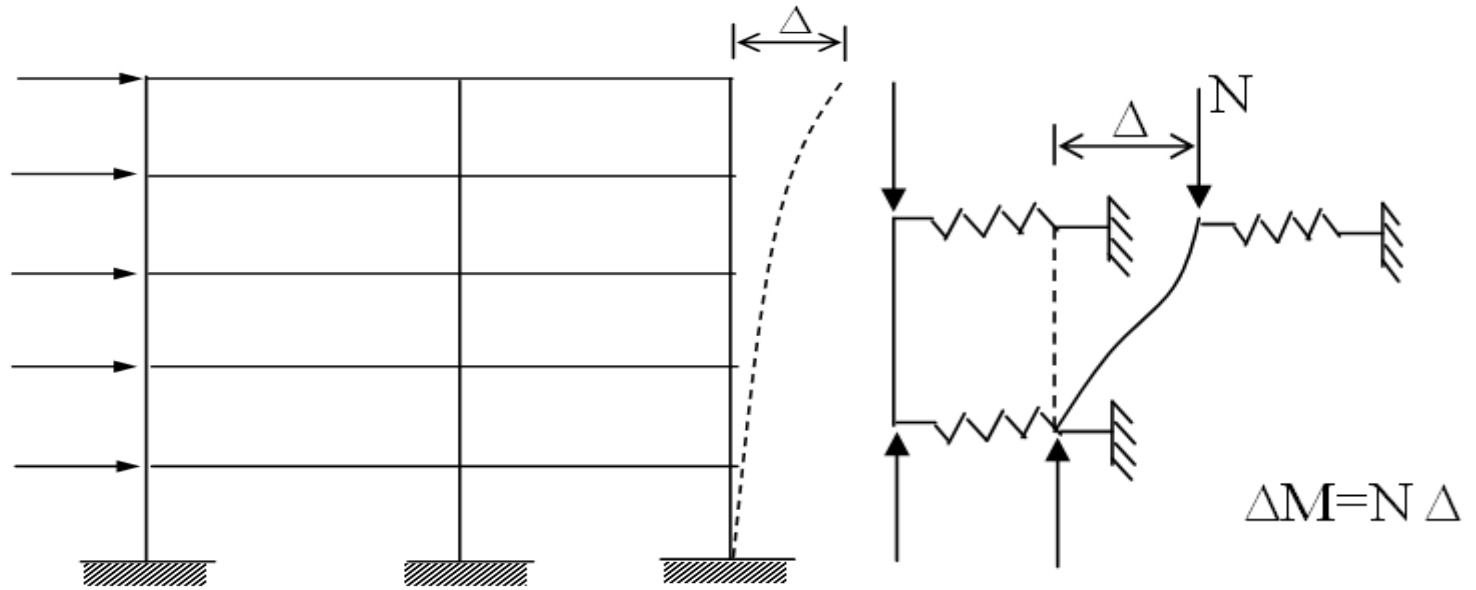
$$\Delta M = N \Delta$$

$$M = N(e) + N(\Delta)$$

$$M = N e (1 + \Delta/e)$$

$$M = M_2 \beta$$





## Genel Yöntem:

Eksenel basınç ile birlikte eğilme de taşıyan betonarme elemanların boyutlandırıp donatılandırılması, elverişsiz yük bileşenleri altında, doğrusal olmayan malzeme davranışını, çatlamayı, betonun sünme ve büzülmesini göz önünde bulunduran ikinci mertebe yapısal çözümlemelerden elde edilen eksenel kuvvet ve moment değerlerine göre yapılır. Ancak narinlik sınırının aşağıdaki sınırı aşmadığı elemanların hesabında aşağıda verilen yaklaşık yöntem kullanılabilir;

$$(l_k/i) \leq 100$$



## **Yaklaşık Yöntem (Moment Büyütme Yöntemi):**

Kesiti ve aksenal kuvveti yükseklik boyunca değişmeyen kolonlara uygulanan bu yaklaşık yöntemde tasarımda kullanılacak tasarım momenti, doğrusal elastik varsayımlarına dayalı çözümden elde edilen ve minimum eksantrisite koşulunu sağlamak zorunda olan en büyük uç momentinin bir çarpan ile büyütülmesi ile bulunur.



### ***(a) Yanal Öteleme Ölçütü:***

Yapı sistemi içinde yatay kuvvetlere karşı yeterli rijitlik taşıyan perde, duvar ya da benzeri elemanlar varsa yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu varsayılabilir.



Doğrusal malzeme davranışı varsayımı ile yatay ve düşey yükler altında yapılan ikinci mertebe yapısal çözümlemeden elde edilen kolon uç momentlerinin aynı varsayımlar ve yükler altında yapılan birinci mertebe çözümlemesinden elde edilen kolon uç momentlerinden en çok %5 kadar farklı olduğu durumlarda yanıl ötelenmenin önlenmiş olduğu kabul edilebilir.



İkinci mertebe çözümlenmesi yapılmıyorsa, yapının herhangi bir katı için taşıyıcı sistemin tümü göz önünde tutularak hesaplanan duraylılık (stabilite) endeksi( $\phi$ ) aşağıda belirtilen sınırı aşmadığı durumlarda da o katta yeterli rijitlik bulunduğu ve yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu kabul edilebilir.



$$\varphi = 1.5 \Delta_i \frac{\sum N_d / l_i}{V_{fi}} \leq 0.05$$

Bu hesaplarda çatlamamış kesit varsayımı ve

$$F_d = 1.0G + 1.0Q + 1.0E \quad \text{ve}$$

$$F_d = 1.0G + 1.3Q + 1.3W$$

$V_{fi}$ : i. kattaki taban kesme kuvveti toplamı

$\Delta_i$ : i. kattaki görelî kat ötelemesi

yük bileşimlerinden bulunan değerlerden elverişsiz olanı temel alınır.



## ***(b) Kolon Etkili Boyu:***

Kolon serbest boyu, döşemeler, kirişler veya kolona yanal destek sağlayan diğer elemanlar arasındaki uzaklıktır. Kolon başlığı veya guse bulunan durumlarda, kolon serbest boyu, başlık veya guse alt yüzünden ölçülür. Daha güvenilir bir çözümlenme yönteminin kullanılmadığı durumlarda, kolon etkili boyu, kolon serbest boyu, kolon uçlarındaki dönmenin engellenmesi ile ilişkili olan ve aşağıda tanımlanan “k” katsayısı ile çarpılarak elde edilebilir.

$$l_k = k l_n \quad (l_n: \text{kolonun serbest boyu})$$



Kolon etkili boyu katsayısı “k” yanal ötelenmesi önlenmiş ve önlenmemiş kat kolonları için aşağıda tanımlanmıştır.

•**Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonları**

**için:**

$$k = 0.7 + 0.05 (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Ancak,  $k \leq (0.85 + 0.05 \alpha_1)$

$$k \leq 1.0$$

Hesap yapılmamışsa, yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında,  $k=1.0$  alınır.



•Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonları için:

$$\alpha_m < 2 \text{ ise , } k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m}$$

$$\alpha_m \geq 2 \text{ ise , } k = 0.9 \sqrt{1 + \alpha_m}$$

Bir ucu mafsallı olan yanal ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda,

$k = 2 + 0.3 \alpha_2$  alınır.

$$\alpha_{1,2} = \frac{\sum (I/l)_{\text{kolon}}}{\sum (I/l)_{\text{kiriş}}} ; \quad \alpha_m = 0.5 (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Ankastre kolonlarda  $\alpha = 0$  ve mafsallı kolonlarda  $\alpha = \infty$  alınır.

$\frac{I}{L}$  (kiriş) sadece eğilme doğrultusu yönü için hesaba alınır.



Kolon atalet momenti gross kesit atalet momenti olarak hesaplanır. Kiriş atalet momentleri ise pratikte daima kirişlerde kılcal çatlamlar oluşabileceğinden çatlamış kesit atalet momenti hesaba katılır.

Çatlamış kesit atalet momenti, yaklaşık olarak kesit atalet momentinin yarısı olarak kabul edilir.



TS500 e göre řu koşulların sağlandığı durumlarda ikinci merteye momentleri ihmal edilebilir;

*(c) Narinlik Etkisinin İhmal Edilebileceği Durumlar:*

Yanal öteleme önlenmiş kat kolonlarında:

$M_2$ : Kolondaki büyük moment

$M_1$ : Kolondaki küçük moment

$i=0.3 h$  (Dikdörtgen)

$i=0.25 d$  (Dairesel)

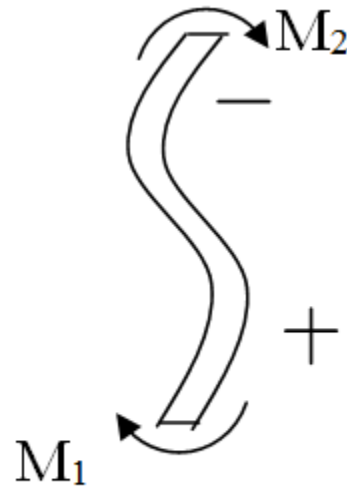
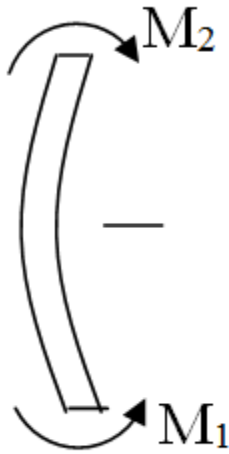


$$l_k/i \leq 34-12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40$$

koşulu sağlanıyorsa narinlik etkisi ihmal edilebilir.

$M_1$  ve  $M_2$  kolonun aynı yüzünde basınç oluşturuyorsa (tek eğrilikli kolon),  $(M_1/M_2)$  oranı pozitif (a), tersi durumlarda (çift eğrilikli kolon) bu oran negatif alınır (b).

$$M_2 > M_1$$



(a)

(b)



Yanal öteleme önlenmemiş kat kolonlarında:

$l_k/i \leq 22$  koşulu sağlanıyorsa narinlik etkisi ihmal edilebilir.



### (d) Burkulma Yüğü Hesabı:

Kolon burkulma yüğü Euler denklemiyle hesaplanır.

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{(l_k)^2}$$

Kolon etkili eğilme rijitliğı (EI), daha güvenilir bir hesap yapılmayan durumlarda, aşağıda verilen denklemlerle elde edilebilir.

$$EI = \frac{0.2 E_c I_c + E_s I_s}{1 + R_m} \quad \text{veya} \quad EI = \frac{0.4 E_c I_c}{1 + R_m}$$

Burada  $E_c I_c$  tüm beton kesitinin eğilme rijitliğı,  $E_s I_s$  de boyuna donatı kesitinin, eleman kesiti ağırlık merkezine göre oluşturduğu eğilme rijitliğidir.



Sünme oranı  $R_m$ , yanal ötelenmesi önlenmiş sistemlerde, düşey yüklerden elde edilen kolon hesap eksenel kuvvetindeki kalıcı yük katkısının, toplam değere oranıdır.

$$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d}$$

Sünme oranı  $R_m$ , yanal ötelenmesi önlenmemiş sistemlerde ise, tüm kat kolonları hesap kesme kuvvetlerindeki ( $V_d$ ) kalıcı yük katkısı toplamının, hesap kesme kuvvetleri toplamına oranıdır.

$$R_m = \frac{\sum V_{gd}}{\sum V_d} \quad (\text{Tüm kat için}).$$



## Narin Kolon Hesap Yöntemi:

### (e) Moment Büyütme Katsayısı:

- Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında:

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} \geq 1.0 \quad \text{Burada,}$$
$$C_m = \left(0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2}\right) \geq 0.4 ; M_1 \leq M_2$$

denklemlerle hesaplanırken  $(M_1/M_2)$  oranı tek eğrilikli kolonlarda pozitif, çift eğrilikli kolonlarda negatif alınır. Kolon uçları arasında etkiyen herhangi bir yatay yük varsa,  $C_m=1.0$  alınır. Tasarımda kullanılacak tasarım momenti;

$$M_d' = \beta M_2$$



## •Yanal ötelenme önlenmemiş kat kolonlarında:

Tüm kat kolonları için;

$$\beta_s = \frac{1}{1 - 1.3 \frac{\sum N_d}{\sum N_k}} \geq 1.0$$

Burada,  $\sum N_d$  ve  $\sum N_k$ , o kattaki basınç elemanlarının taşıdıkları aksenal tasarım yüklerinin toplamı ve kolon kritik yüklerinin toplamıdır. Bu değerler aşağıdaki koşulu sağlamalıdır, sağlamıyorsa kolon boyutları büyütülmelidir.

$$\sum N_d \leq 0.45 \sum N_k$$



Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonlarının her biri için ayrıca bireysel  $\beta$  değerleri de hesaplanmalıdır. Bu hesaplarda  $C_m=1.0$  alınmalıdır. Hesap momentinin bulunmasında,  $\beta$  ve  $\beta_s$  değerlerinden büyük olanı kullanılır ( $M_d'=\beta M_2$  ve  $M_d'=\beta_s M_2$  den büyük olanı).

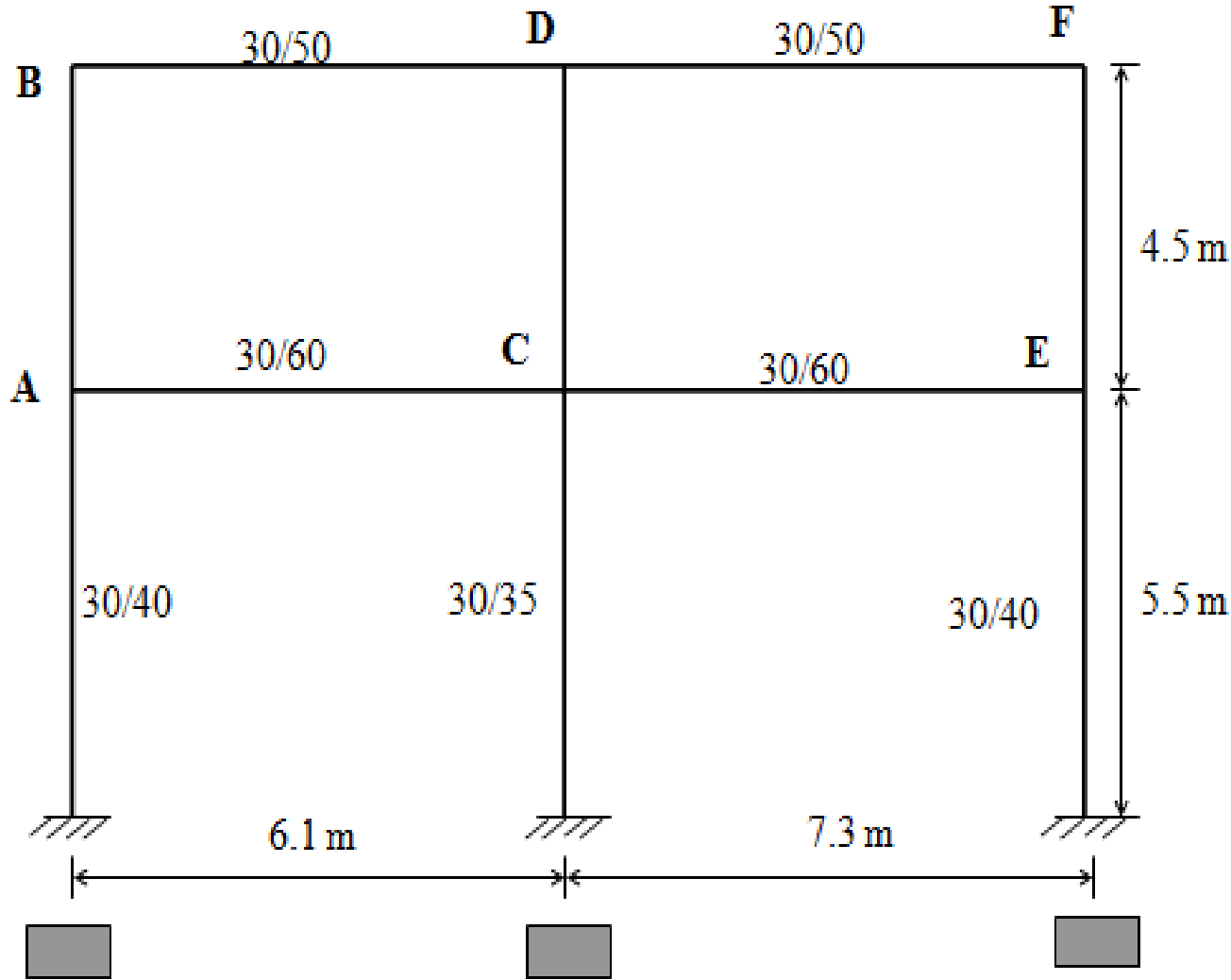
Ancak, serbest boy ile bulunan narinlik oranı,

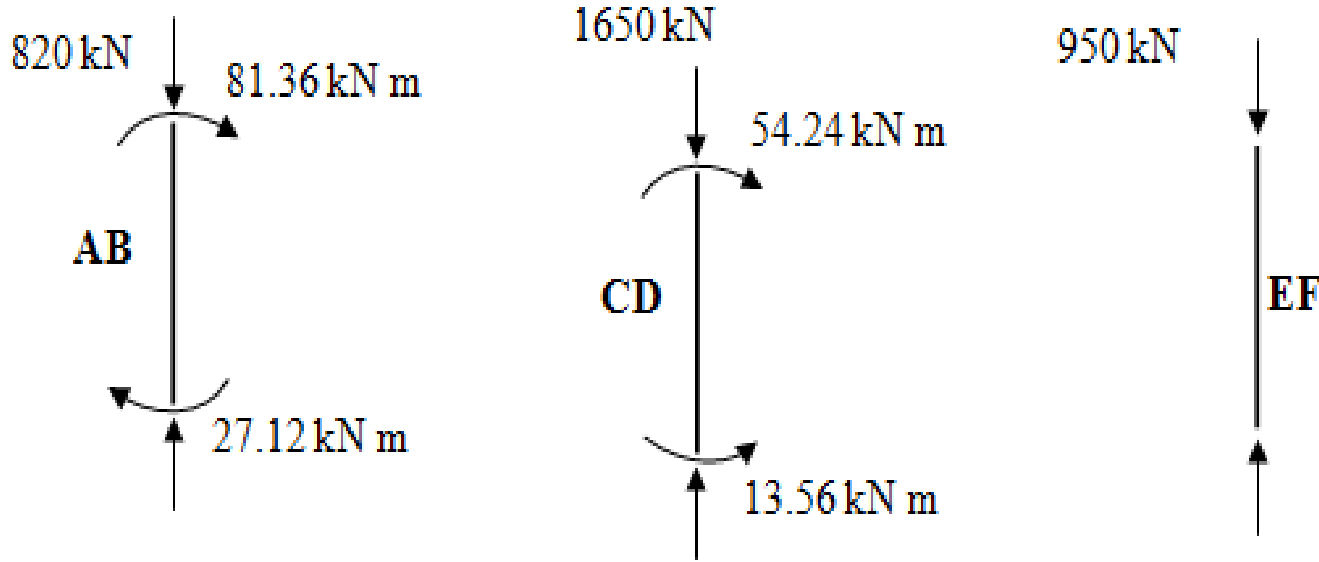
$$\left(\frac{L}{i}\right) > \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}}$$

olan kolonların hesap momentinin bulunmasında,  $\beta$  ve  $\beta_s$  değerlerinin çarpımı kullanılır ( $M_d'=\beta\beta_s M_2$ ).



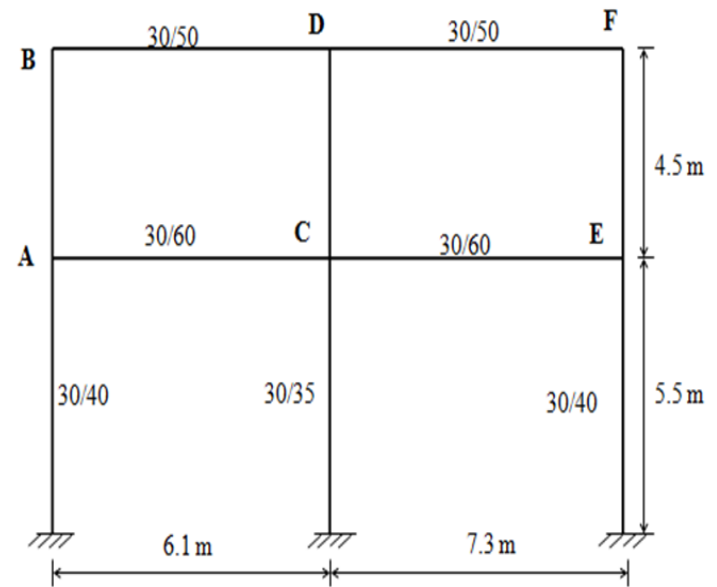
## Örnek:





Şekildeki çerçeve kendi düzlemi içerisinde. A-B, C-D, E-F kolonlarının kısa veya narin kolon olup olmadığını belirleyiniz. A-B ve C-D kolonlarının tasarımını yapınız.  $R_m=0.4$ ,  $E_c=30000$  Mpa,  $f_{cd}=17$  Mpa,  $f_{yd}=365$  Mpa, paspayı=25mm, yanal deplasman önlenmemiştir.





### A-B Kolonu:

$$I_c = 0.3 * 0.4^3 / 12 = 0.0016 \text{ m}^4$$

$$I_{B(A-C)} = 0.3 * 0.6^3 / 12 = 0.0054 \text{ m}^4, \quad I_{B,cr} = 0.5 * 0.0054 = 0.0027 \text{ m}^4$$

$$I_{B(B-D)} = 0.3 * 0.5^3 / 12 = 0.0031 \text{ m}^4, \quad I_{B,cr} = 0.00155 \text{ m}^4$$

$$\alpha = \frac{\sum (I/L)_{\text{kolon}}}{\sum (I/L)_{\text{kiriş}}}$$

$$\alpha_A = \frac{\frac{0.0016}{4.5} + \frac{0.0016}{5.5}}{0.0027} = 1.46, \quad \alpha_B = \frac{0.0016}{0.00155} = 1.4$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5(1.46 + 1.4) = 1.43 < 2$$



$$\underline{k} = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.45$$

$$L_{AB} = 1.45 * 4.5 = 6.5 \text{ m}$$

$$\frac{kL}{i} = \frac{6.5}{0.3 * 0.4} = 54.16 > 22 \text{ (Narin kolon)}$$

$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 * (1 + R_m)} = \frac{30 * 10^6 * 0.0016}{2.5 * (1 + 0.4)} = 13714.3 \text{ kN m}^2$$

$$\text{Kritik yük, } N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 * 13714.3}{6.5^2} = 3203.7 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{i} = \frac{4.5}{0.3 * 0.4} = 37.5, \quad \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = \frac{35}{\sqrt{\frac{820 * 10^3}{25 * 300 * 400}}} = 66.94$$



$\frac{l}{i} < \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}}$  olduğundan  $\beta$  ve  $\beta_s$  çarpımı kullanılmayacaktır.

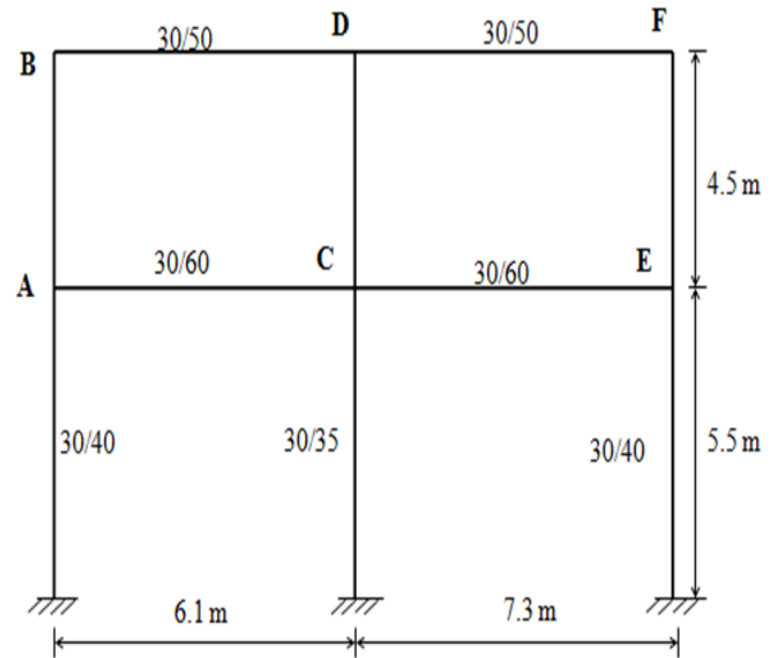
### C-D Kolonu:

$$I_c = 0.3 * 0.35^3 / 12 = 0.0011 \text{ m}^4$$

$$\alpha_C = \frac{\frac{0.0011}{4.5} + \frac{0.0011}{5.5}}{\frac{0.0027}{6.1} + \frac{0.0027}{7.3}} = 0.547 \text{ (alt)}$$

$$\alpha_D = \frac{\frac{0.0011}{4.5}}{\frac{0.00155}{6.1} + \frac{0.00155}{7.3}} = 0.524 \text{ (üst),}$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5(0.5 + 0.547) = 0.535 < 2$$



$$k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.2$$

$$\frac{kL}{i} = \frac{1.2 * 4.5}{0.3 * 0.35} = 51.43 > 22 \text{ (Narin kolon)}$$

$$EI = \frac{30 * 10^6 * 0.0011}{2.5 * (1 + 0.4)} = 9428.6 \text{ kN m}^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 * 9428.6}{(5.4)^2} = 3191.2 \text{ kN}$$

$$\frac{l}{i} = 42.86 < \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = 44.14 \text{ olduğundan } \beta \text{ ve } \beta_s \text{ çarpımı}$$

kullanılmayacaktır.



### EF Kolonu:

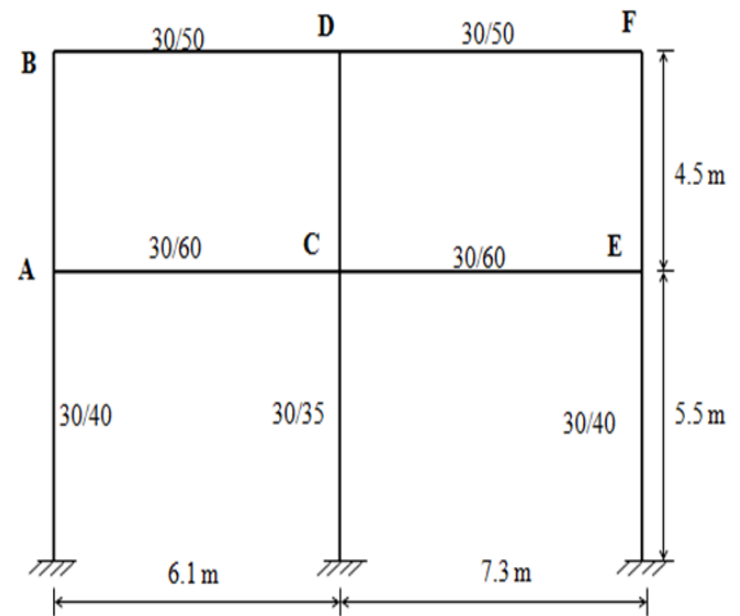
$$\alpha_E = \frac{\frac{0.0016}{4.5} + \frac{0.0016}{5.5}}{\frac{0.0027}{7.3}} = 1.75, \quad \alpha_F = \frac{\frac{0.0016}{4.5}}{\frac{0.00155}{7.3}} = 1.67,$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5(1.75 + 1.67) = 1.71 < 2$$

$$\underline{k} = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.505$$

$$\frac{kL}{i} = \frac{1.505 * 4.5}{0.3 * 0.4} = 56.43 > 22 \text{ (Narin kolon)}$$

$$EI = \frac{30 * 10^6 * 0.0016}{2.5 * (1 + 0.4)} = 13714.3 \text{ kN m}^2$$



$$N_k = \frac{\pi^2 * 13714.3}{(6.77)^2} = 2953.2 \text{ kN}$$

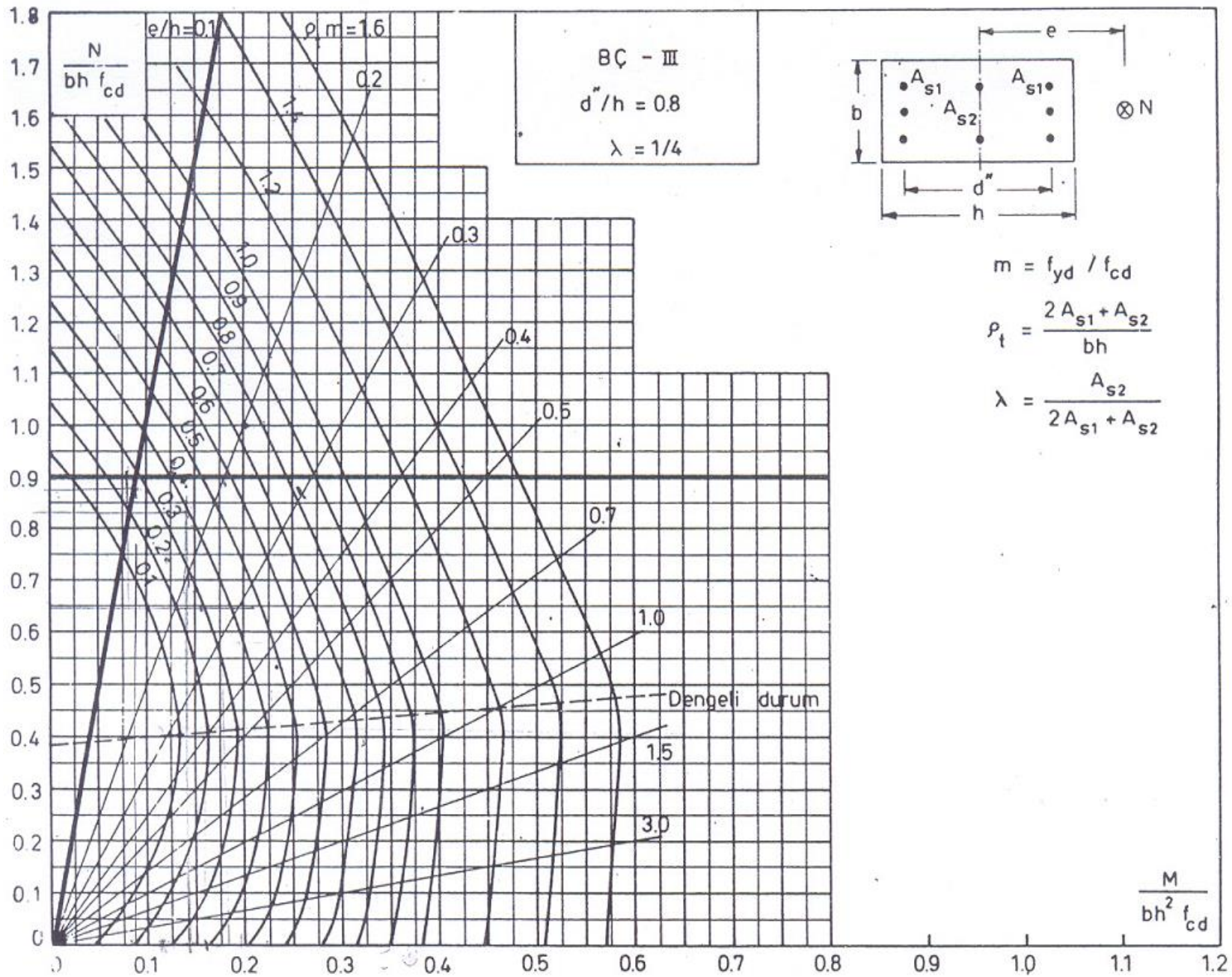
$$\frac{l}{i} = 37.5 < \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = 62.2 \quad \text{olduğundan } \beta \text{ ve } \beta_s \text{ çarpımı}$$

kullanılmayacaktır.

$$\Sigma N_d = 3420 \text{ kN}, \quad \Sigma N_k = 9348.1 \text{ kN} \quad \Sigma N_d < 0.45 \Sigma N_k = 4206.6 \text{ uygun.}$$

$$\beta_s = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{\Sigma N_d}{\Sigma N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \frac{3420}{9348.1}} = 1.91$$





## KESİT HESABI:

$$\beta=1.50 < \beta_s=1.91$$

### A-B Kolonu:

$$M_d' = \beta M_d = 1.91 * 81.36 = 155.4 \text{ kN m}, N_d = 820 \text{ kN},$$

$$d' = 2.5 \text{ cm}, d'' = 35 \text{ cm} \quad \frac{d''}{h} = \frac{35}{40} = 0.9, \lambda = 0, S420, BÇIII$$

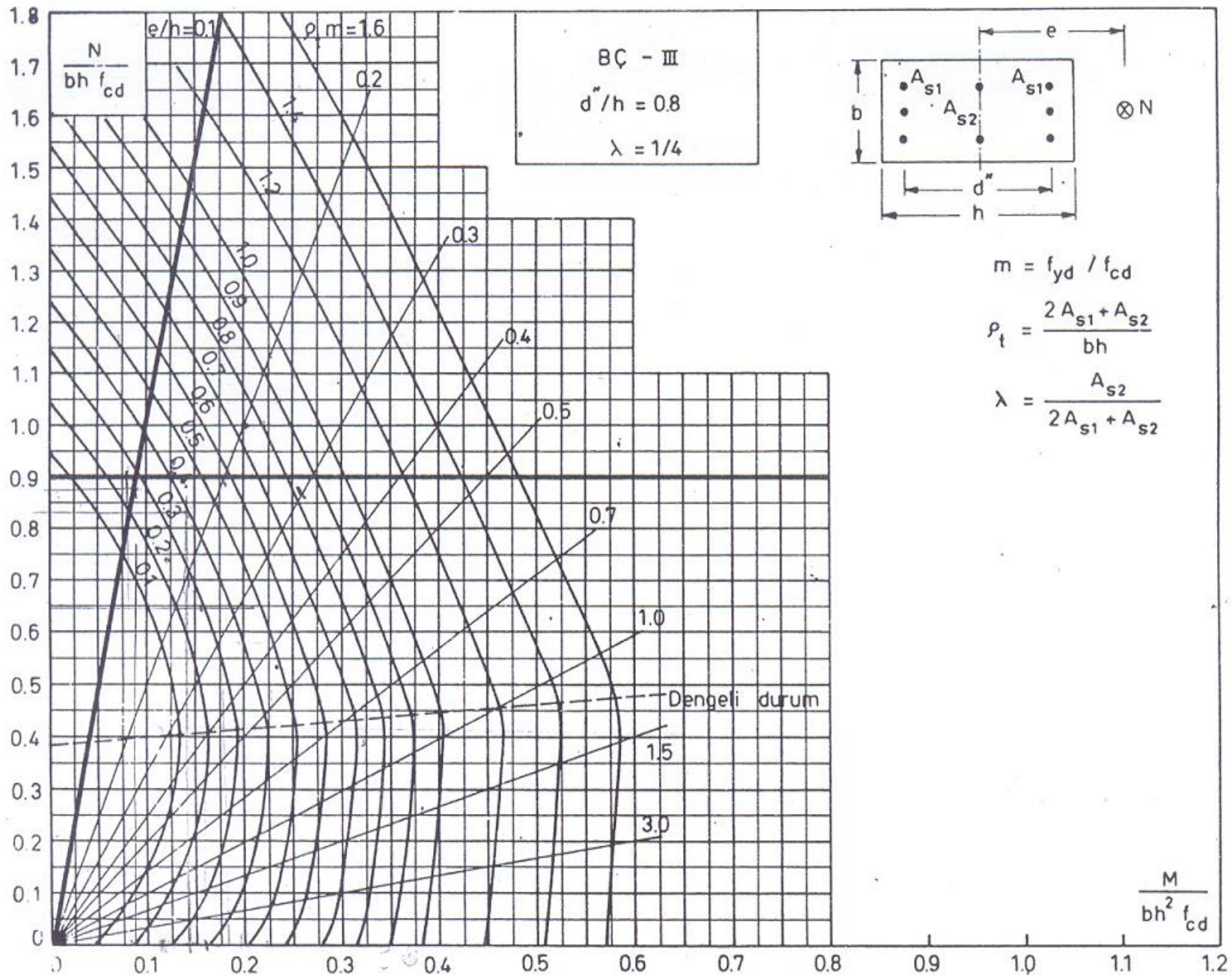
$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{820 * 10^3}{300 * 400 * 17} = 0.4, \quad \frac{M_d'}{b h^2 f_{cd}} = \frac{155.4 * 10^6}{300 * 400^2 * 17} = 0.19$$

$$\rho_t m = 0.18, \quad m = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{365}{17} = 21.47,$$

$$\rho_t = 0.18 / 21.47 = 0.0084 < \rho_{t(\min)} = 0.01$$

$$A_{st} = 0.01 * 300 * 400 = 1200 \text{ mm}^2 \quad (8\phi 14 = 1232 \text{ mm}^2)$$





$$\beta > \beta_s = 1.91$$

### C-D Kolonu:

$$M_d' = \beta M_d = 3.03 * 54.24 = 164.35 \text{ kN m}, N_d = 1650 \text{ kN}$$

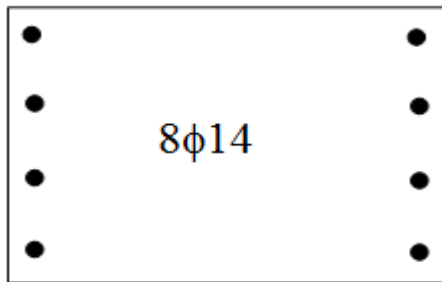
$$d' = 2.5 \text{ cm}, d'' = 30 \text{ cm}, \frac{d''}{h} = \frac{30}{35} \cong 0.9, \lambda = 0, \text{ S420.}$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{1650 * 10^3}{300 * 350 * 17} = 0.92 > 0.9 \text{ (Yaklaşık 0.9 kabul edilir)}$$

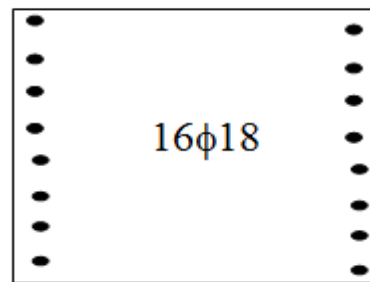
$$\frac{M_d'}{b h^2 f_{cd}} = \frac{164.35 * 10^6}{300 * 350^2 * 17} = 0.263, \rho_t m = 0.82$$

$$m = 21.47, \rho_t = 0.82 / 21.47 = 0.0382$$

$$A_{st} = 0.0382 * 300 * 350 = 4010 \text{ mm}^2 \text{ (16}\phi 18 = 4071 \text{ mm}^2\text{)}.$$



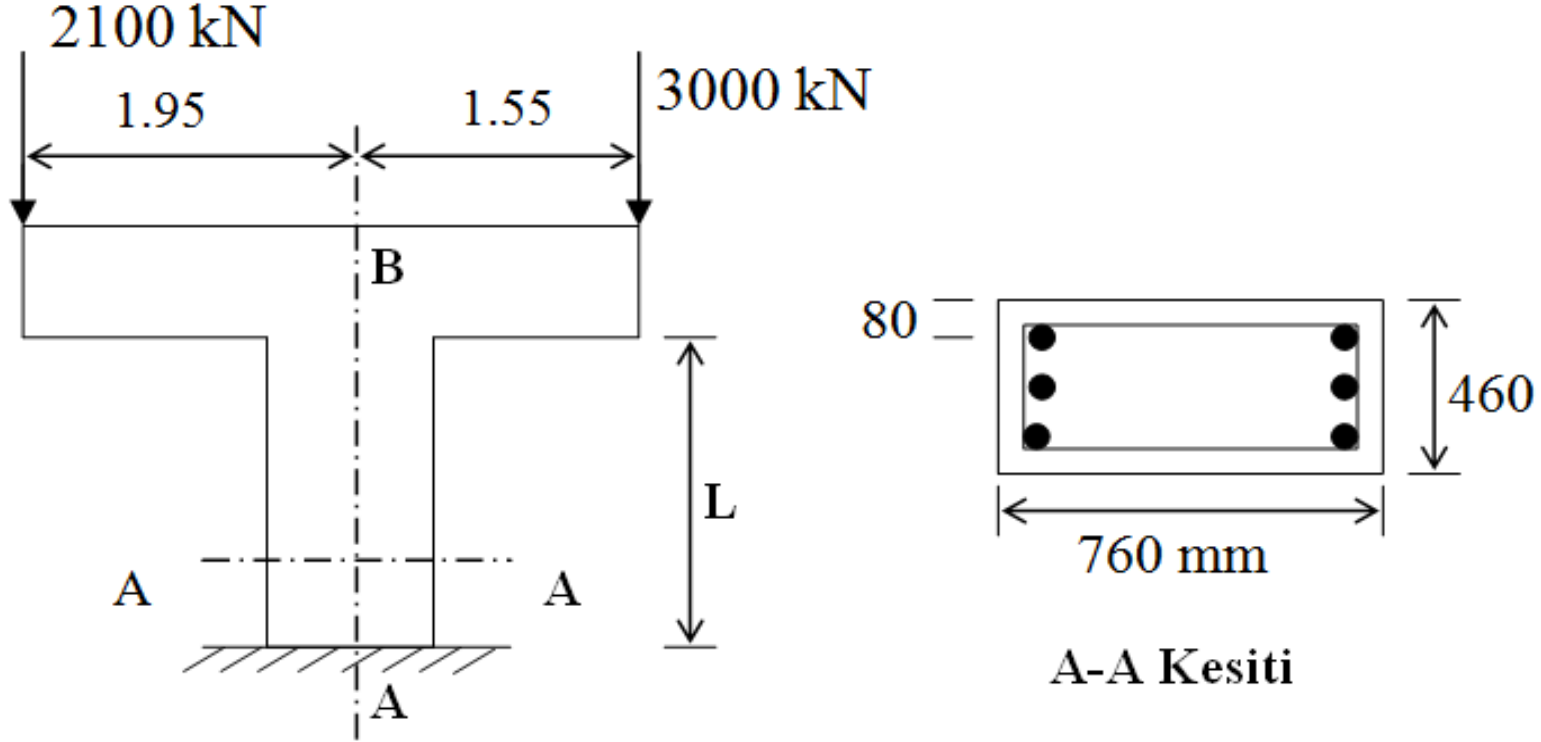
A-B Kolonu



C-D Kolonu

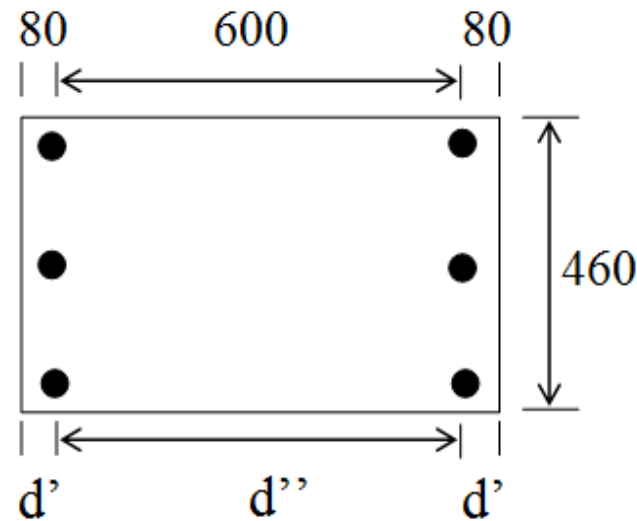
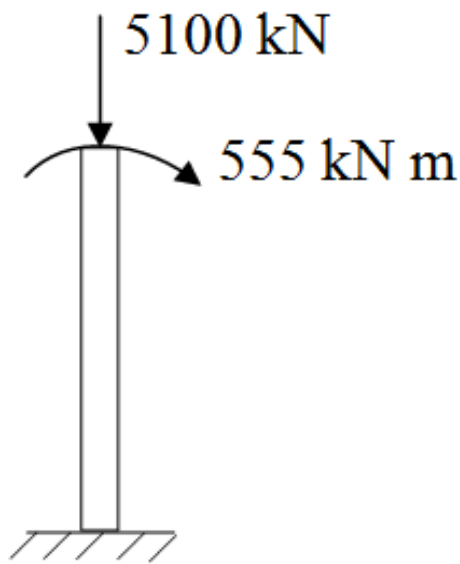


## Örnek:



- Kesit için gerekli olan donatıyı hesaplayınız.
  - A-B kolonu kısa kolon ise **max. L** boyu nedir?
- Malzeme C25, S420 ( $f_{cd}=17$  Mpa,  $f_{yd}=365$  Mpa).





**Çözüm:**

a)

$$m = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{365}{17} = 21.47, \quad \frac{d''}{h} = \frac{600}{760} = 0.8, \quad e = \frac{M_d}{N_d} = \frac{555}{5100} = 0.109 \text{ m}$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{5100 * 10^3}{460 * 760 * 17} = 0.86 \quad \frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = \frac{555 * 10^6}{460 * 760^2 * 17} = 0.123$$

$$e/h = 109/760 = 0.14 \text{ buradan } \rho_t m = 0.36, \quad \rho_t = \frac{0.36}{21.47} = 0.0168$$

$$A_{st} = 0.0168 * 460 * 760 = 5873.3 \text{ mm}^2 \text{ (14}\phi 24 = 6333 \text{ mm}^2\text{)}.$$



b)

Kısa kolon için  $\frac{kL}{i} \leq 22$  olmalıdır.

$$\alpha_A = \frac{\sum(I/L)_{\text{kolon}}}{\sum(I/L)_{\text{kiriş}}} = 0 \quad (\text{Payda } \infty \text{ olduğundan})$$

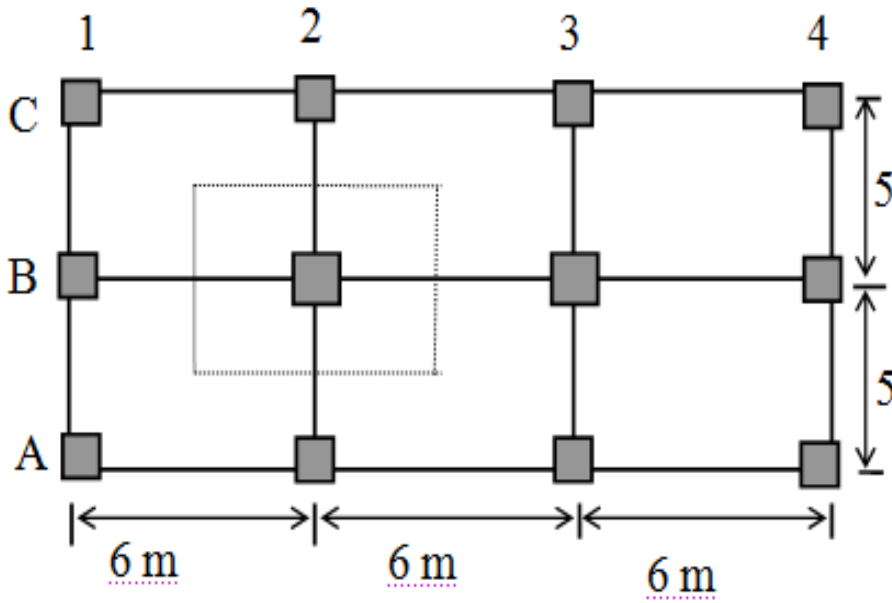
$$\alpha_B = \frac{\sum(I/L)_{\text{kolon}}}{\sum(I/L)_{\text{kiriş}}} = \infty \quad (\text{payda } 0 \text{ olduğundan})$$

$$k = 2 + 0.3\alpha_2 \quad k = 2$$

$$\frac{2 * L}{0.3 * 0.76} \leq 22 \text{ buradan } L \leq 2.51 \text{ m bulunur.}$$



Örnek



6 m

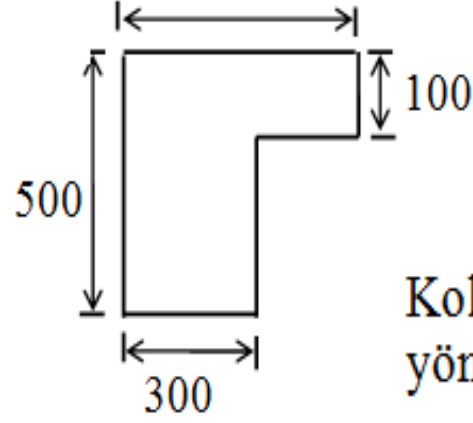
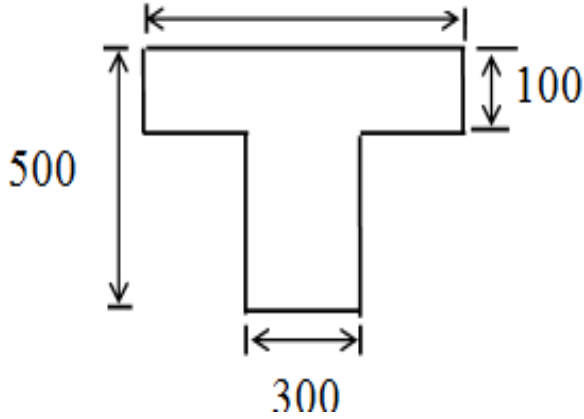
6 m

6 m

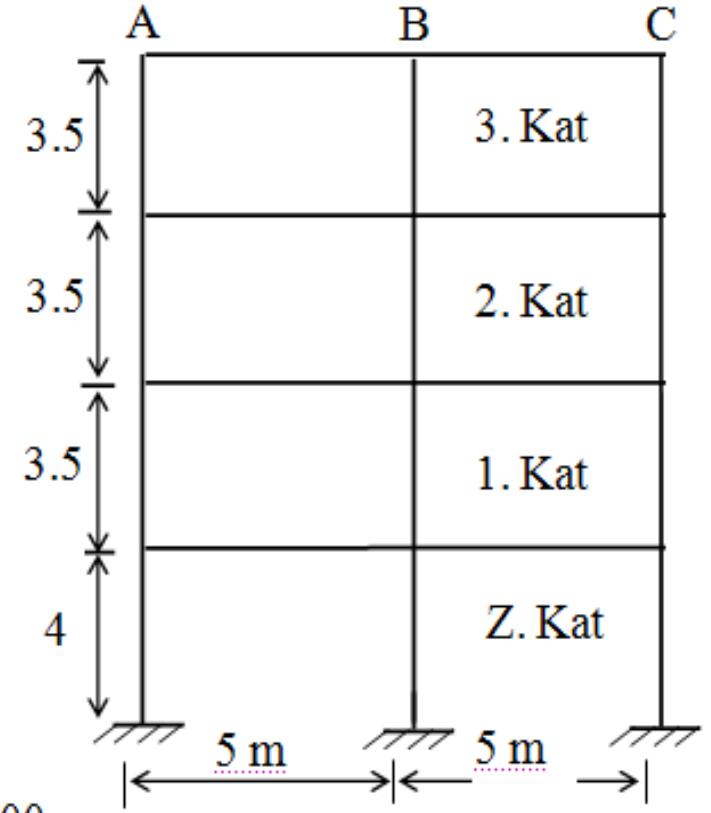
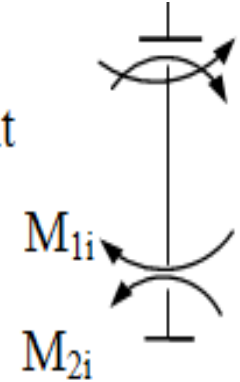
900 mm

Plan

600



Kolon uç moment  
yönleri



5 m

5 m



## Kolon boyutları:

1.Kat ve Zemin Kat: B2,B3 (40×40), Diğerleri (35×35 ) Malzeme C25,S420

$R_m=0.66$ . Narinlik kontrolünü yapınız ve B2 kolonunun tasarımını yapınız.

Zemin kat kolonları aksenal yük ve momentleri (kN, kNm)

Kolon	A1, A4, C1, C4	A2, A3, C2, C3	B1, B4	B2, B3
$M_1$	40	50	65	80
$M_2$	42	55	75	95
$N_d$	600	1000	1200	2000



## **Çözüm:**

Perde, duvar gibi rijit elemanlar bulunmadığı için çerçevenin yanal deplasman yapacağı açıktır.

Eylemsizlik momentleri:

Tablalı kirişlerin eylemsizlik momentleri,  $\mu$  tablosu yardımı ile hesaplanmış olup çatlama beton kesitler esas alınmıştır.



- İç kirişler için :

$$b_w/b=300/900=0.33, \quad h_f/h=100/500=0.20 \text{ buradan } \mu=23.15$$

$$I_c=0.9 \times 0.5^3 / 23.15 = 4.86 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Kenar kirişler için:

$$b_w/b=300/600=0.5, \quad h_f/h=100/500=0.20 \text{ buradan } \mu=18.08$$

$$I_c=0.6 \times 0.5^3 / 18.08 = 4.15 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

- B2 ve B3 kolonları için:

$$I_c=0.4^3 \times 0.4 / 12 = 2.13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Diğer kolonlar için:

$$I_c=0.35^4 / 12 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$



Kirişler için çatlamış kesit eylemsizlik momentleri  $I_{cr}$  çatlamamış beton kesit eylemsizlik momentlerinin yarısına eşit alınabilir.

$$\text{İç kirişler için: } I_{cr}=0.5 \times 4.86 \times 10^{-3} = 2.43 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\text{Kenar kirişler için: } I_{cr}=0.5 \times 4.15 \times 10^{-3} = 2.08 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

B2 kolonu için etkili boy hesaplanır.

$$\alpha_A=0 \text{ (Ankastre uç)}$$

$$\alpha_B = \frac{\frac{2.13}{3.5} + \frac{2.13}{4}}{\frac{2.43}{5} \times 2} = 1.17, \quad \alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5 \times (0 + 1.17) = 0.585 < 2$$

$$k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.22$$

$$L_{AB} = k l_n = 1.22 \times 4 = 4.88 \text{ m}$$



$$\frac{kL}{i} = \frac{4.88}{0.3 \times 0.4} = 40.67 > 22 \text{ (Narin kolon)}$$

$$\frac{L}{i} > \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} \text{ ise hesap momentinin bulunmasında, } \beta \text{ ve } \beta_s \text{ çarpımı kullanılır.}$$

$$\frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = \frac{35}{\sqrt{\frac{2000 \times 10^3}{25 \times 400 \times 400}}} = 49.5 > 33.3 = \frac{L}{i} \text{ olduğundan } \beta \cdot \beta_s \text{ kullanılmayacaktır.}$$

$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 \times (1 + R_m)} = \frac{30 \times 10^6 \times 0.00213}{2.5 \times (1 + 0.66)} = 15397.6 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kritik yük, } N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 15397.6}{4.88^2} = 6381.35 \text{ kN}$$

Yanal ötelenme önlenmemiş çerçevelerde bireysel  $\beta$  için  $C_m = 1.0$  alınır.

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{2000}{6381.35}} = 1.69 > 1$$

## Kat İçin Moment Büyütme Katsayısının Hesabı ( $\beta_s$ ):

A1, A4, C1, C4 için  $N_k$  değerleri belirlenir.

$$\alpha_A=0 \text{ (Ankastre) }, \alpha_B=\frac{\frac{1.25}{3.5} + \frac{1.25}{4}}{\frac{2.08}{5}}=1.61$$

$$\alpha_m=0.5(\alpha_1+\alpha_2)=0.5\times(0+1.61)=0.805 < 2$$

$$\underline{k}=\frac{20-\alpha_m}{20}\sqrt{1+\alpha_m}=\frac{20-0.805}{20}\times\sqrt{1+0.805}=1.29$$

$$L_k=k l_n=1.29\times 4=5.16 \text{ m}$$

$$\frac{kL}{i}=49.1 \text{ (Narin kolon)}$$

$$\frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}}=\frac{35}{\sqrt{\frac{600\times 10^3}{25\times 350\times 350}}}=79.07 \quad \beta_s \text{ kullanılmayacaktır.}$$



$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 \times (1 + R_m)} = \frac{30 \times 10^6 \times 0.00125}{2.5 \times (1 + 0.66)} = 9036 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kritik yük, } N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 9036}{5.16^2} = 3349.5 \text{ kN}$$

A2, A3, C2, C3 kolonları için  $N_k$  belirlenir.

$$\alpha_A = 0 \text{ (Ankastre)}, \quad \alpha_B = \frac{\frac{1.25}{3.5} + \frac{1.25}{4}}{\frac{2.43}{5}} = 1.38, \quad k = 1.2$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5 \times (0 + 1.38) = 0.69 < 2$$

$$k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.255$$

$$L_k = k l_n = 1.255 \times 4 = 5 \text{ m}$$

$$\frac{k L}{i} = 47.62 \text{ (Narin kolon)}, \quad \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = 61.25 > \frac{L}{i} = 38.09$$

$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 \times (1 + R_m)} = \frac{30 \times 10^6 \times 0.00125}{2.5 \times (1 + 0.66)} = 9036 \text{ kNm}^2$$



$$\text{Kritik yük, } N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 9036}{5^2} = 3567.3 \text{ kN}$$

B1 ve B4 kolonları için  $N_k$  belirlenir.

$$\alpha_A = 0 \text{ (Ankastre)}, \quad \alpha_B = \frac{\frac{1.25}{3.5} + \frac{1.25}{4}}{2 \times \frac{2.08}{5}} = 0.8$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5 \times (0 + 0.8) = 0.4 < 2$$

$$k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.16$$

$$L_k = k l_n = 1.16 \times 4 = 4.64 \text{ m}$$

$$\frac{kL}{i} = 44.2, \quad \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = 55.9 > 38.09$$



$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 \times (1 + R_m)} = \frac{30 \times 10^6 \times 0.00125}{2.5 \times (1 + 0.66)} = 9036 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kritik yük, } N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 9036}{4.64^2} = 4142.3 \text{ kN}$$

B2 ve B3 kolonları için  $N_k = 6381.35 \text{ kN}$  (Daha önce bulundu).

Kat için  $\beta_s$  değeri;

$$\beta_s = \frac{1}{\left(1 - 1.3 \frac{\sum N_d}{\sum N_k}\right)},$$

$$\sum N_d = 600 \times 4 + 1000 \times 4 + 1200 \times 2 + 2000 \times 2 = 12800 \text{ kN}$$

$$\sum N_k = 3349.5 \times 4 + 3567.3 \times 4 + 4142.3 \times 2 + 6381.35 \times 2 = 48714.5 \text{ kN}$$

$$\sum N_d \leq 0.45 \sum N_k \quad \text{olmalı} \quad 12800 < 0.45 \times 48714.5 = 21921.5 \text{ kN}$$

$$\beta_s = \frac{1}{\left(1 - 1.3 \times \frac{12800}{48714.5}\right)} = 1.52 > 1$$



B2 Kolonu için kesit hesabı:

B2 kolonu bireysel  $\beta=1.69 > \beta_s$  olduğundan  $\beta=1.69$  alınacaktır.

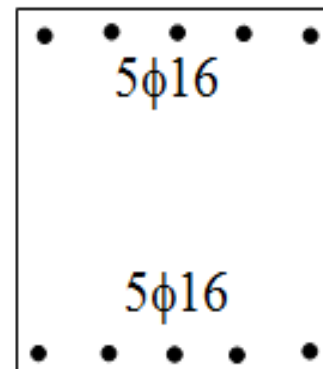
$M_d = \beta_s M_2 = 1.69 \times 95 = 160.55$  kNm,  $N_d = 2000$  kN,  $d' = 45$  mm,  $\lambda = 0$   $d''/h = 310/400 = 0.8$ , BÇIII.

$$\frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{2000 \times 10^3}{400 \times 400 \times 17} = 0.73, \quad \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{160.55 \times 10^6}{400 \times 400^2 \times 17} = 0.147$$

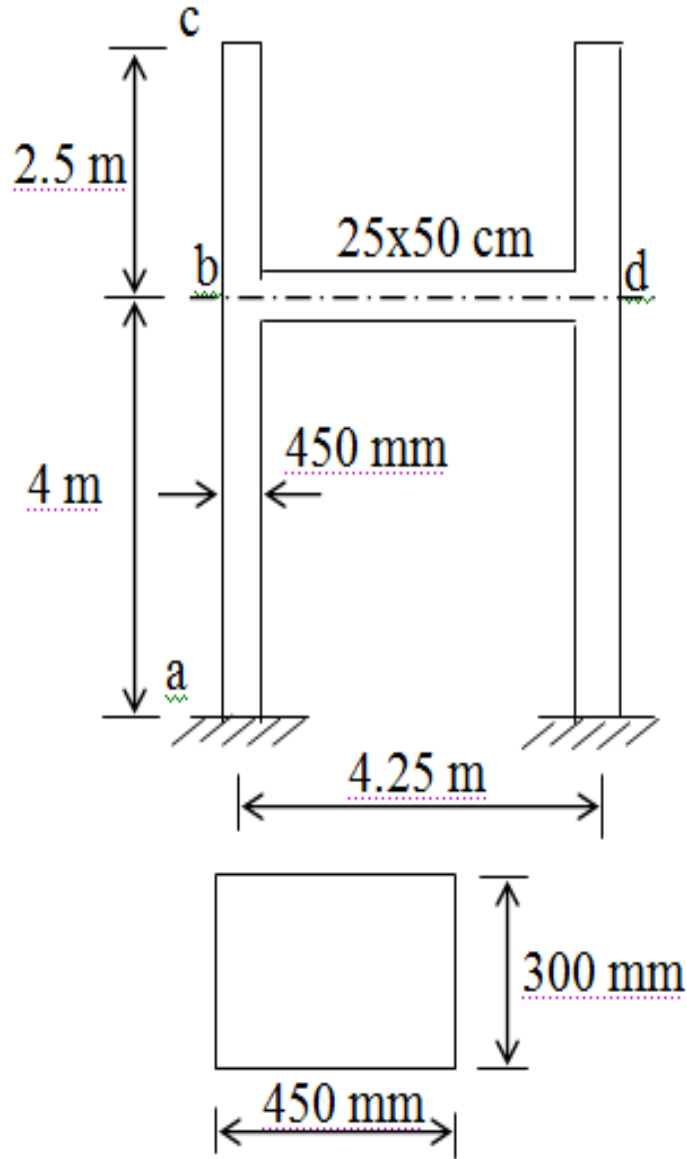
$$\rho_t m = 0.27 \text{ okunur, } m = 365/17 = 21.47$$

$$\rho_t = 0.0125, \quad A_{st} = \rho_t b h = 0.0125 \times 400 \times 400 = 2000 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Seçilen donatı:  $10\phi 16 = 2010 \text{ mm}^2$



## Örnek



a-b ve b-c kolonu kesiti

Şekilde verilen çerçevenin yanal deplasmanının önlenmediğini kabul ederek;

- a-b ve b-c kolonlarının narinlik kontrolünü yapınız.
- a-b kolonunda;

$$N_d = 1250 \text{ kN}$$

$M_d = 110 \text{ kNm}$  olduğuna göre tasarımını yapınız.

Malzeme C25, S420 ( $E_c = 30000 \text{ N/mm}^2$ ),  $R_m = 0.5$  ve paspayı = 40 mm alınacaktır.



## Çözüm:

a)

$$I_{c(a-b)} = 0.3 \times 0.45^3 / 12 = 2.278 \times 10^{-3} \text{ m}^4,$$

$$I_{B(B-D)} = 0.25 \times 0.5^3 / 12 = 2.604 \times 10^{-3} \text{ m}^4, \quad I_{B,cr} = 1.302 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\alpha = \frac{\sum (I/L)_{\text{kolon}}}{\sum (I/L)_{\text{kiriş}}},$$

(a-b) Kolonu:

$$\alpha_a = 0 \text{ (Ankastre)}, \quad \alpha_b = \frac{\frac{2.278}{2.5} + \frac{2.278}{4}}{\frac{1.302}{4.25}} = 4.83,$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5 \times (0 + 4.83) = 2.42 > 2, \quad k = 0.9 \times \sqrt{1 + \alpha_m} = 1.66$$

$$\frac{kL}{i} = \frac{1.66 \times 4}{0.3 \times 0.45} = 49.2 > 22 \text{ Narin kolon!}$$



(b-c) Kolonu:

$$\alpha_b=4.83, \quad \alpha_c=\infty \text{ (Serbest uç)}$$

$$k=2+0.3\alpha_b=3.45$$

$$\frac{kL}{i} = \frac{3.45 \times 2.5}{0.3 \times 0.45} = 63.9 > 22 \quad \text{Narin kolon!}$$

(a-b)

$$EI = \frac{0.4 E_c I_c}{1 + R_m} = \frac{0.4 \times 30 \times 10^6 \times 2.278 \times 10^{-3}}{1 + 0.5} = 18224 \text{ kNm}^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 18224}{(1.66 \times 4)^2} = 4079.5 \text{ kN}$$

Bireysel  $\beta$ ; ( $C_m=1$ )

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{1250}{4079.5}} = 1.66 > 1, \quad M_d' = \beta M_d$$

$M_d' = 1.66 \times 110 = 182.6 \text{ kNm}$  olarak bulunur.

b) (a-b) Kolonu tasarımı:

$$M_d' = 182.6 \text{ kNm}, N_d = 1250 \text{ kN}$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{1250 \times 10^3}{300 \times 450 \times 17} = 0.54, \quad \frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = \frac{182.6 \times 10^6}{300 \times 450^2 \times 17} = 0.177, \quad \frac{d''}{h} = 0.8$$

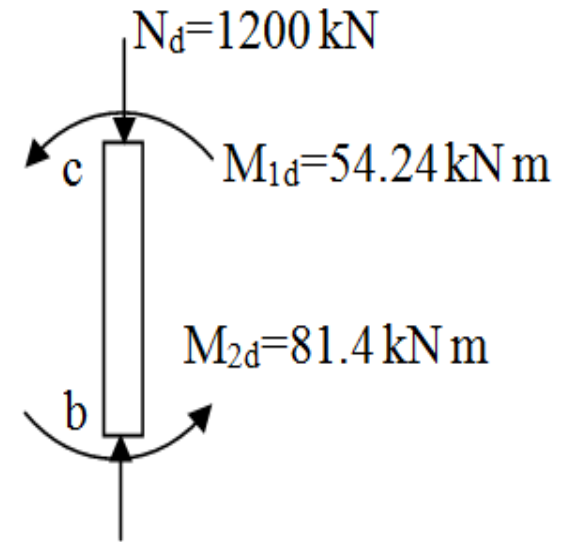
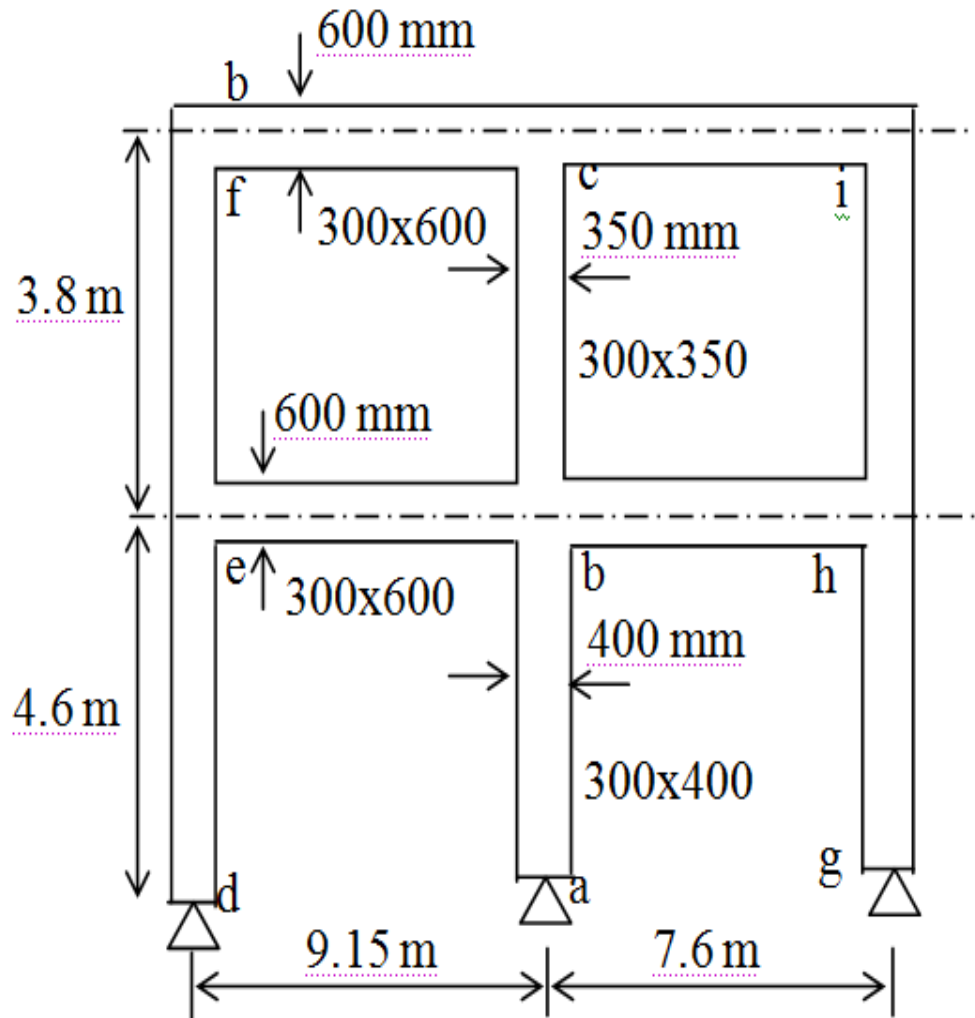
Abaktan;

$$\rho_t m = 0.3 \text{ okunur.} \quad m = f_{yd} / f_{cd} = 21.47, \quad \rho_t = \frac{0.3}{21.47} = 0.014 > 0.01,$$

$$A_{st} = \rho_t b h = 0.014 \times 300 \times 450 = 1890 \text{ mm}^2 \quad \text{Seçilen donatı: } 8\phi 18 = 2040 \text{ mm}^2$$

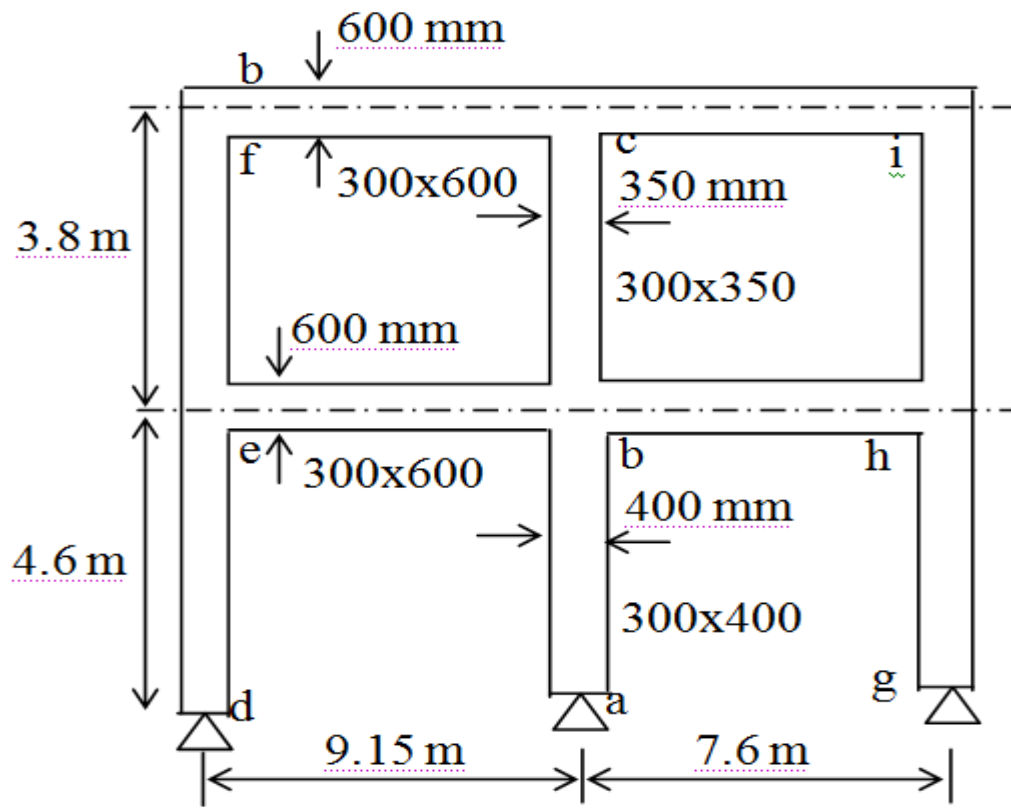


# Örnek



$$N_{(e-f)d} = 700 \text{ kN}, N_{(h-i)d} = 600 \text{ kN},$$
$$R_m = 0.5, E_c = 30250 \text{ N/mm}^2$$





Şekilde verilen çerçeve dikdörtgen kesitli elemanlardan oluşmakta olup düzlemi içinde eğildiği kabul edilmektedir. (a-b) ve (b-c) kolonunun narin olup olmadığını;

- Çerçevenin yanal deplasmanının önlenmiş ve önlenmemiş olması durumu için belirleyiniz.
- (b-c) kolonunun tasarımını çerçevenin yanal deplasmanının önlenmediğini kabul ederek yapınız. Malzeme C25, S420, paspayı=35 mm.(Verilen yükler tasarım yükleridir).

## Çözüm:

a)

(e-f), (b-c), (h,i) Kolonları:

$$I_C = 0.3 \times 0.35^3 / 12 = 0.00107 \text{ m}^4,$$

(a-b) Kolonu:

$$I_C = 0.3 \times 0.4^3 / 12 = 0.0016$$

Kirişler:

$$I_B = 0.3 \times 0.6^3 / 12 = 0.0054 \text{ m}^4, \quad I_{B,cr} = 0.5 \times I_B = 0.0027 \text{ m}^4$$

(b-c) Kolonu:

$$\alpha_b = \frac{\frac{0.00107}{3.8} + \frac{0.0016}{4.6}}{\frac{0.0027}{9.15} + \frac{0.0027}{7.6}} = 0.97, \quad \alpha_c = \frac{\frac{0.00107}{3.8}}{\frac{0.0027}{9.15} + \frac{0.0027}{7.6}} = 0.43$$



Yanal deplasman önlenmiş:

$$k=0.7+0.05(\alpha_1+\alpha_2)\leq(0.85+0.05\alpha_1)\leq 1 \text{ ifadesi ile k hesaplanır.}$$

$$k=0.7+0.05\times(0.97+0.43)=0.77$$

Yanal deplasman önlenmiş kolonlarda;

$$\frac{k L}{i} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40 \text{ ise narinlik ihmal edilebilir.}$$

$$\frac{0.77 \times 3.8}{0.3 \times 0.35} = 27.87 \leq 34 - 12 \times \frac{(-54.24)}{81.4} = 47.3 \text{ şart sağlandığından kolon narin}$$

değildir.

(a-b) Kolonu:

$$\alpha_b=0.97, \alpha_a=\infty \text{ (Mafsal)}$$

$$k=0.85+0.05\times\alpha_1=0.9 \text{ olarak bulunur.}$$

$$\frac{k L}{i} = \frac{0.9 \times 4.6}{0.3 \times 0.4} = 34.5, \quad 34 - 12 \times \frac{M_1}{M_2} = 34 + 12 \times \frac{0}{81.4} = 34 \approx 34.5 \text{ kolon narin}$$

değildir.

Yanal deplasman önlenmemiş olması durumu:

(b-c) Kolonu:

$$\alpha_b=0.97, \alpha_c=0.43, \alpha_m=0.5(\alpha_1+\alpha_2)=0.5\times(0.97+0.43)=0.7<2$$

$$k=\frac{20-\alpha_m}{20}\sqrt{1+\alpha_m}=1.26$$

$$\frac{k L}{i} = \frac{1.26 \times (3.8)}{0.3 \times (0.35)} = 45.6 > 22 \text{ olduğundan narin kolondur.}$$

(a-b) Kolonu:

$$\alpha_b=0.97, \alpha_a=\infty, k=2+0.3\alpha_2=2.29$$

$$\frac{k L}{i} = \frac{2.29 \times 4.6}{0.3 \times 0.4} = 87.8 > 22 \text{ Narin kolon.}$$



b)

(b-c) Kolonu yanal deplasman önlenmemiş:

$$\frac{k L}{i} > 22 \text{ Narin kolon, } R_m = 0.5$$

$$EI = \frac{0.4 E_c I_c}{1 + R_m} = \frac{0.4 \times 30250 \times 10^3 \times 0.00107}{1 + 0.5} = 8631.3 \text{ kNm}^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{(k L)^2} = \frac{\pi^2 \times 8631.3}{(1.26 \times 3.8)^2} = 3715.93$$

(e-f) Kolonu:

$$\alpha_e = \frac{\frac{0.00107}{3.8} + \frac{0.0016}{4.6}}{\frac{0.0027}{9.15}} = 2.13, \quad \alpha_f = \frac{\frac{0.00107}{3.8}}{\frac{0.0027}{9.15}} = 0.954$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5 \times (2.13 + 0.954) = 1.542 < 2$$



$$k = \frac{20 - 1.542}{20} \times \sqrt{1 + 1.542} = 1.47, \quad \frac{kL}{i} > 22 \text{ Narin kolon, } R_m = 0.5$$

$$EI = 8631.3 \text{ kNm}^2, \quad N_k = \frac{\pi^2 \times 8631.3}{(1.47 \times 3.8)^2} = 2730 \text{ kN}$$

(h-i) Kolonu:

$$\alpha_h = \frac{\frac{0.00107}{3.8} + \frac{0.0016}{4.6}}{\frac{0.0027}{7.6}} = 1.77, \quad \alpha_i = \frac{\frac{0.00107}{3.8}}{\frac{0.0027}{7.6}} = 0.79$$

$$\alpha_m = 0.5(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.5 \times (1.77 + 0.79) = 1.28 < 2$$

$$k = \frac{20 - 1.28}{20} \times \sqrt{1 + 1.28} = 1.41, \quad \frac{kL}{i} > 22 \text{ Narin kolon, } R_m = 0.5$$

$$EI = 8631.3 \text{ kNm}^2, \quad N_k = \frac{\pi^2 \times 8631.3}{(1.41 \times 3.8)^2} = 2967.4 \text{ kN}$$



(b-c) Kolonu bireysel  $\beta$ ; ( $C_m=1$ )

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{1200}{3715.93}} = 1.723$$

$$\frac{k L}{i} > \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} \text{ ise } \beta \beta_s \text{ çarpımı kullanılmalıdır.}$$

$$\frac{k L}{i} = 45.6, \quad \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} = \frac{35}{\sqrt{\frac{1200 \times 10^3}{25 \times 300 \times 350}}} = 51.76 > 45.6 \text{ olduğundan } \beta \beta_s \text{ çarpımı}$$

kullanmaya gerek yoktur!



Kat için  $\beta_s$  hesabı ( $C_m=1$ )

$$\beta_s = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{\sum N_d}{\sum N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{1200 + 700 + 600}{3715.93 + 2730 + 2967.4}} = 1.527$$

TS500'e göre  $\sum N_d \leq 0.45 \sum N_k$  olmalıdır.

2500 kN < 0.45 × 9413.3 = 4236 kN şart sağlanmaktadır.

$\beta > \beta_s$  olduğundan  $\beta = 1.723$  temel alınır.

(b-c) Kolonu tasarımı:

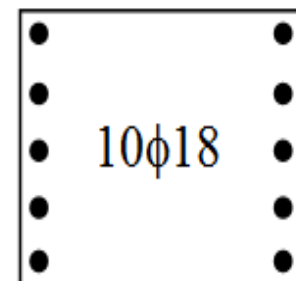
$$M_d' = 1.723 \times 81.4 = 140.25 \text{ kNm}, N_d = 1200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{1200 \times 10^3}{300 \times 350 \times 17} = 0.67, \quad \frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = \frac{140.25 \times 10^6}{300 \times 350^2 \times 17} = 0.224, \quad \frac{d''}{h} = 0.8 \quad \lambda = 0$$

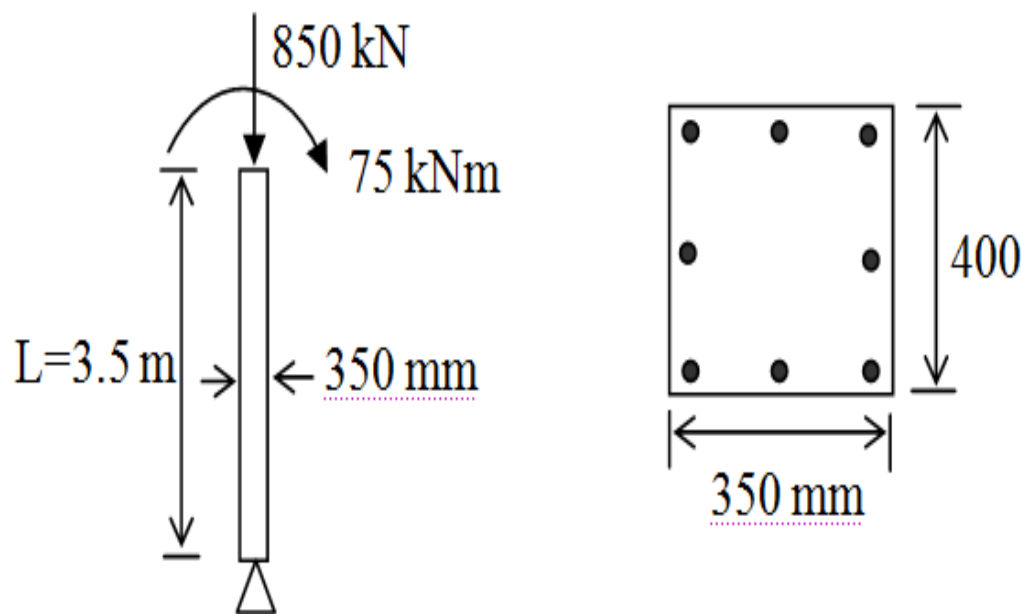
Abaktan;

$$\rho_t m = 0.45 \text{ okunur. } m = f_{yd} / f_{cd} = 21.47, \quad \rho_t = \frac{0.45}{21.47} = 0.02096 > 0.01$$

$$A_{st} = \rho_t b h = 0.02096 \times 300 \times 350 = 2200 \text{ mm}^2 \text{ Seçilen } (10\phi 18 = 2545 \text{ mm}^2)$$



## Örnek



Şekilde verilen kolonun yanal deplasmanının önlenmediğini kabul ederek narinlik kontrolünü ve tasarımını yapınız. Kalıcı aksenal yük, aksenal yükün %65'i olarak alınacak ve  $k=2.1$  kabul edilecektir. Malzeme C20, S420 ( $E_c=28000\text{ N/mm}^2$ ) ve paspayı=30 mm.



## Çözüm:

$$N_{dg}=0.65 \times 850 = 552.5 \text{ kN}, \quad k=2.1$$

$$\frac{kL}{i} = \frac{2.1 \times 3.5}{0.3 \times 0.35} = 70 > 22 \text{ Narin kolon!} \quad I_c = \frac{0.4 \times 0.35^3}{12} = 1.429 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 (1 + R_m)} = \frac{28 \times 10^6 \times 1.429 \times 10^{-3}}{2.5 \times (1 + 0.65)} = 9700 \text{ kNm}^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 9700}{(2.1 \times 3.5)^2} = 1772.1 \text{ kN}$$

Bireysel  $\beta$ ; ( $C_m=1$ )

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{850}{1772.1}} = 2.66 > 1, \quad M_d' = \beta M_d$$

Tasarım:

$$M_d' = 2.66 \times 75 = 199.5 \text{ kNm}, \quad N_d = 850 \text{ kN}$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{850 \times 10^3}{400 \times 350 \times 13} = 0.47, \quad \frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = \frac{199.5 \times 10^6}{400 \times 350^2 \times 13} = 0.313,$$

$$\frac{d''}{h} = \frac{350 - 60}{350} = 0.8, \quad \lambda = 1/4$$

Abaktan;

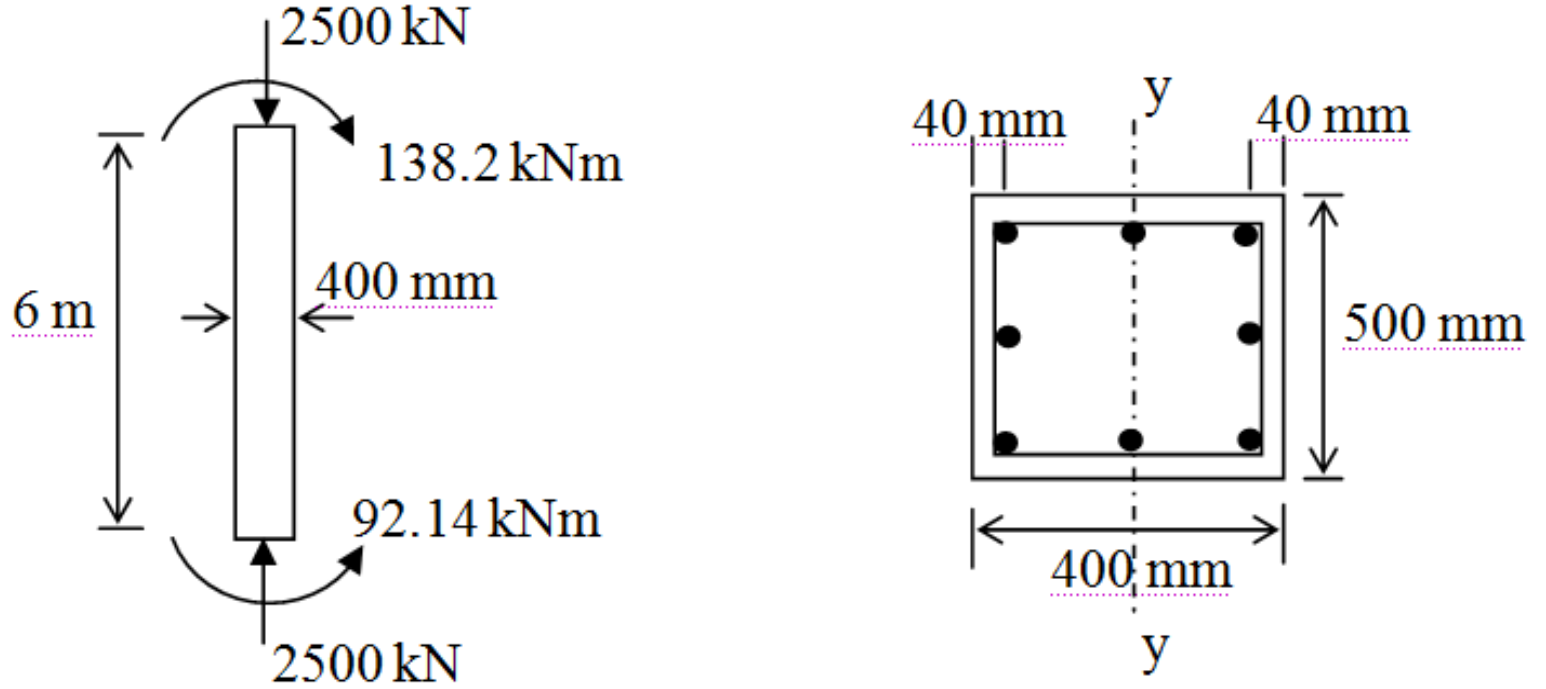
$$\rho_t m = 0.68 \text{ okunur.} \quad m = f_{yd} / f_{cd} = 28.07, \quad \rho_t = \frac{0.68}{28.07} = 0.0242 > 0.01$$

$$A_{st} = \rho_t b h = 0.0242 \times 400 \times 350 = 3388 \text{ mm}^2$$

Seçilen ( $8\phi 24 = 3616 \text{ mm}^2$ )



## Örnek



Şekilde verilen kolonun üzerindeki yükleri taşıyacak şekilde donatı hesabını yapınız. Toplam tasarım yükününün %50 'si ölü yük nedeni ile oluşmaktadır. Kolonun yanal deplasmanının önlendiğini kabul ediniz ve  $k=0.85$  alınız. (Analiz, eğilmenin sadece y ekseninde olduğunu göstermektedir). Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm.

## Çözüm:

$$\frac{kL}{i} = \frac{0.85 \times 6}{0.3 \times 0.4} = 42.5, \quad 34 - 12 \times \frac{92.14}{138.2} = 26 \quad 42.5 > 26 \text{ olduğundan Narin kolon!}$$

$$I_c = \frac{0.5 \times 0.4^3}{12} = 2.67 \times 10^{-3} \text{ mm}^4, \quad E_c = 30250 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 0.5$$

$$EI = \frac{E_c I_c}{2.5 (1 + R_m)} = \frac{30.25 \times 10^6 \times 2.67 \times 10^{-3}}{2.5 \times (1 + 0.5)} = 21538 \text{ kNm}^2$$

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 21538}{(0.85 \times 6)^2} = 8172.7 \text{ kN}$$



Bireysel  $\beta$ ; ( $C_m=1$ )

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{2500}{8172.7}} = 1.66 > 1, \quad M_d' = \beta M_d$$

$$M_d' = 1.66 \times 138.2 = 229.4 \text{ kNm}, \quad N_d = 2500 \text{ kN}$$

$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{2500 \times 10^3}{500 \times 400 \times 17} = 0.74, \quad \frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = \frac{229.4 \times 10^6}{500 \times 400^2 \times 17} = 0.17, \quad \frac{d''}{h} = 0.8$$

Abaktan;

$$\rho_t m = 0.42 \text{ okunur.} \quad m = f_{yd} / f_{cd} = 21.47, \quad \rho_t = \frac{0.42}{21.47} = 0.01956 > 0.01$$

$$A_{st} = \rho_t b h = 0.01956 \times 400 \times 500 = 3912 \text{ mm}^2 \text{ Seçilen } (8\phi 26 = 4240 \text{ mm}^2)$$

