

5. BÖLÜM

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ BETONARME ELEMANLAR

5.1. Dikdörtgen Kesitler

Basınç bölgesi dikdörtgen olan kesitlerdir. Kesitte basınç donatısı da bulunup bulunmamasına göre, dikdörtgen kesitler ikiye ayrılır.

1) Tek donatılı dikdörtgen kesitler

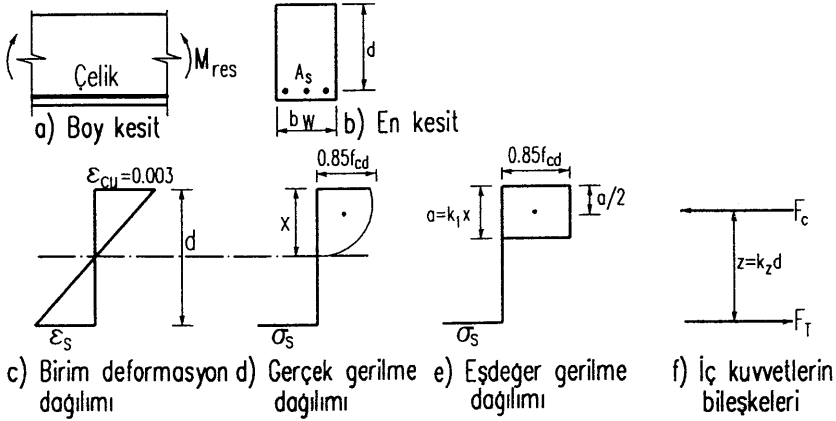
Yalnız çekme donatısı olan kesitlerdir; çekme kuvvetini donatı, basınç kuvvetini beton karşılar.

2) Çift donatılı dikdörtgen kesitler

Çekme ve basınç donatılı kesitlerdir; çekme kuvvetini donatı, basınç kuvvetini ise beton ve basınç donatısı birlikte karşılar.

5.1.1. Tek donatılı dikdörtgen kesitlerin taşıma gücü

Dış kuvvet olarak, kesite yalnızca eğilme momenti etkidiğine göre, iç kuvvetlerin bileşkesi bir normal kuvvet vermemeli, fakat bir kuvvet çifti vermelidir.



Şekil 5.1. Tek donatılı dikdörtgen kesitler

$$F_T = F_C \quad (5.1)$$

Burada F_T : çekme gerilmelerinin bileşkesini,
 F_C : basınç gerilmelerinin bileşkesini gösterir.

Çekme gerilmelerinin bileşkesi, çekme kuvveti:

$$F_T = A_s \sigma_s \quad (5.2)$$

Burada A_s : çelik donatı alanını,
 σ_s : çelik donatıdaki gerilmeyi (çekme) gösterir.

Basınç gerilmelerinin bileşkesi, basınç kuvveti ise:

$$F_C = 0,85f_{cd} a b_w \quad (5.3)$$

Burada a : eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğini,
 b_w : kesitin genişliğini,
 f_{cd} : betonun silindirik hesap mukavemetini ifade eder.

İç kuvvetler arasındaki uzaklık, z , iç kuvvet kolu (moment kolu) olarak adlandırılır.

$$z = k_2 d = d - 0,5a \quad (5.4)$$

$$k_2 = 1 - 0,5 a/d \quad (5.5)$$

Burada z : moment kolunu,
 k_z : moment kolu sayısını,
 d : etkili derinlik-daha yerleşmiş deyimle-faydalı yükseklik;
çekme donatısının ağırlık merkezinin basınç kenarına olan uzaklığı gösterir.

Kesite etkiyen moment, iç kuvvetlerin oluşturduğu momente eşit olacağından, moment taşıma gücü:

$$M_{res} = M_r = F_T z = F_c z \quad (5.6)$$

olur. Dördüncü bölümde, eğilme momenti etkisiyle, kesitin, kırılma durumuna üç ayrı şekilde gelebileceği ve kırılmanın şeklini kesitteki donatı oranının belirleyeceği açıklanmıştı. Aşağıda, yalnız çekme donatısı olan dikdörtgen kesitlerde bu üç durumdaki moment taşıma gücü araştırılacaktır.

5.1.1.1. Çekme kırılması

Çekme kırılması, az -normal- donatılı kesitin kırılma biçimi olarak açıklanmıştı. Çekme donatısı az olduğundan, beton ezilme mukavemetine erişmeden donatı akma sınırına ulaşır. Böylece kesit taşıma gücüne gelmeden önce, çelikte akma sonucu büyük uzama, çekme bölgesindeki betonda çatlaklar görülür. Kiriş, sünek (düktil) davranış gösterir. Demek ki çekme kırılmasında, tanımlama gereği:

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \text{ ve } \sigma_s = f_{yd}$$

olur. Burada ε_{yd} : çelikte akma hesap dayanımı başlangıcındaki birim deformasyonu, f_{yd} : çelik akma hesap dayanımını gösterir.

$\sigma_s = f_{yd}$ değeri (5.2) 'de yerine konulur ve buna göre (5.1) eşitliği yazılırsa, kırılma anında;

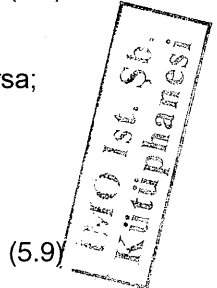
$$A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} a b_w \quad (5.7)$$

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0.85 f_{cd} b_w} \quad (5.8)$$

bulunur. "a"nın (5.8)'deki değeri (5.4) ve (5.5)'de yerine konulursa;

$$k_z = 1 - 0.59 \frac{A_s}{b_w d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$k_z = 1 - 0.59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (5.9)$$



Burada $\rho = \frac{A_s}{b_w d}$ (çekme donatısı oranı) dır.

$$z = (1 - 0.59\rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}})d \quad (5.10)$$

ve kesitin moment taşıma gücü, (5.6)'dan:

$$M_r = A_s f_{yd} (1 - 0.59\rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}) \quad (5.11a)$$

yada (5.11a)'da $A_s = \rho b_w d$ yazılarak;

$$M_r = \rho b_w d^2 f_{yd} (1 - 0.59\rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}) \quad (5.11 b)$$

yada

$$M_r = b_w d^2 f_{cd} \omega (1 - 0.59\omega) \quad (5.11c)$$

ifadelerinden bulunabilir. $\omega = \rho f_{yd}/f_{cd}$ parametresine donatı indeksi yada mekanik donatı oranı denir.

5.1.1.2. Dengeli kırılma

Belirli bir donatı yüzdesi için, donatı akma birim uzamasına ($\epsilon_s = \epsilon_{yd s}$), en uçtaki beton liflerin ezilme birim kısalmasına ($\epsilon_{cu} = 0,003$) aynı anda ulaşır. Buna "**dengeli kırılma**" ve bu durumdaki donatı oranına "dengeli donatı oranı" denir ve ρ_b ile gösterilir. Dengeli (balanced) durumla ilgili bütün simgelere "b" indisi eklenir : x_b , a_b , A_{sb} , gibi. Donatının akmaya başladığı anda donatıdaki birim deformasyon:

$$\epsilon_s = \epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (5.12)$$

olacaktır. Şekil (5.1)'deki birim deformasyon dağılımında σ_s yerine (5.12)'deki değeri konulursa, üçgenlerin benzerliğinden:

$$\frac{x_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_{yd}} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

bulunur.

Dengeli durumda tarafsız eksen derinliği, $E_s = 2 \cdot 10^5$ MPa ile,

$$x_b = \frac{600}{600 + f_{yd}} \cdot d \quad (5.13)$$

olur. Dengeli durumda eşdeğer gerilme bloğu derinliği:

$$a_b = k_1 x_b$$
$$a_b = \frac{600}{600 + f_{yd}} \cdot k_1 d \quad (5.14)$$

dir. (5.13) ve (5.14)'de f_{yd} yerine MPa cinsinden değeri yazılmalıdır.

Diğer taraftan; dengeli kırılma çekme kırılmasının bir limit hali olduğundan, bu durum için de (5.7) ve (5.8) geçerlidir:

$$a_b = \frac{A_{sb} f_{yd}}{0,85 b_w f_{cd}} \quad (5.15)$$

(5.14) ve (5.15)'in özdeşliđinden:

$$\frac{600}{600 + f_{yd}} \cdot k_1 d = \frac{A_{sb} f_{yd}}{0,85 b_w f_{cd}}$$

yazılabilir. Buradan, dengeli donatı oranı:

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} = 0,85 k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{600}{600 + f_{yd}}$$

bulunur; gerilmeler MPa alınmalıdır. Görüldüğü gibi ρ_b , malzeme mukavemet değerlerinin ve k_1 'in bir fonksiyonu olarak bulunabilir, demek ki her beton ve çelik türü için ρ_b değeri kolayca hesaplanabilir. Bu değerler çizelge 5.1'de verilmiştir.

$\rho < \rho_b$ ise çekme kırılması,

$\rho = \rho_b$ ise dengeli kırılma,

$\rho > \rho_b$ ise basınç kırılması

meydana gelir.

Boyutlandırma kısmında ayrıntılı olarak incelenecek olmakla beraber, belirli bir güvenlik içinde sünek davranış sağlamak için TS-500/2000'de donatı yüzdesinin $\rho \leq 0,85\rho_b$ ile sınırlandırılmıştır.

Şu halde dengeli kırılma durumunda kesitin taşıma gücünü hesaplamak için 5.10 ve 5.11 ifadelerinde ρ yerine ρ_b yazmak yeterlidir.

Dengeli durumda moment kolu:

$$z_b = (1 - 0,59\rho_b f_{yd}/f_{cd})d \quad (5.17)$$

Dengeli kesitin moment taşıma gücü:

$$M_b = A_{sb} f_{yd} (1 - 0,59\rho_b f_{yd}/f_{cd}) \quad (5.18a)$$

yada $A_{sb} = \rho_b b_w d^2$ yazılarak:

$$M_b = \rho_b b_w d^2 f_{yd} (1 - 0,59\rho_b f_{yd}/f_{cd}) \quad (5.18b)$$

yada $\rho_b \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \omega_b$ yazılarak:

$$M_b = b_w d^2 f_{cd} \omega_b (1 - 0,59\omega_b) \quad (5.18c)$$

elde edilir. Burada ω_b "dengeli donatı indeksi" yada "dengeli mekanik donatı oranı" olarak anılır.

5.1.1.3. Basınç kırılması

Tanımlama gereği, en uç basınç lifindeki birim deformasyon $\epsilon_{cu} = 0,003$ 'e varıp, kesit taşıma gücüne ulaştığında, çekme donatısı henüz akmamıştır: $\epsilon_s = \sigma_s / E_s < \epsilon_{yd}$, $\sigma_s E_s < f_{yd}$. Şekil 4.3 b'deki çeliğin elastoplastik gerilme-birim deformasyon eğrisinde doğrusallık sınırı henüz aşılmamıştır. Şekil 5.1 c'deki birim deformasyon diyagramından:

$$\frac{\epsilon_s}{0,003} = \frac{d-x}{x} \quad (5.19)$$

yazılabilir; (5.19) deformasyonların uygunluğu şartı yada kısaca "uygunluk şartı" olarak adlandırılır.

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{d-x}{x}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s \leq f_{yd}; \sigma_s = 600 \frac{d-x}{x} \text{ (N/mm}^2\text{)}; a = k_1 x; x = a/k_1$$

yazılırsa,

$$\sigma_s = 600 \frac{k_1 d - a}{a} \leq f_{yd} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5.20)$$

olur. (5.1) denge şartı ile;

$$A_s \sigma_s = 0,85 f_{cd} b_w a$$

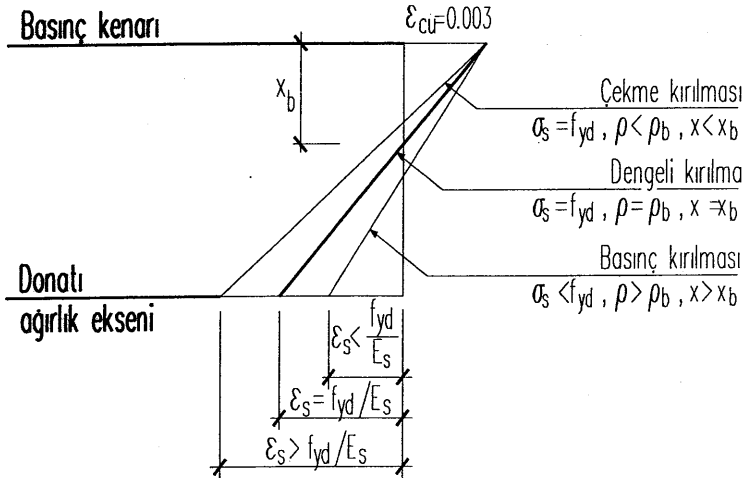
ve, σ_s 'in (5.20)'deki değeri yazılır ve (a)'ya göre düzenlenirse

$$(0,85 f_{cd} b_w) a^2 + (600 A_s) a - 600 A_s k_1 d = 0 \quad (5.21)$$

haline gelir. Bu 2° denklem çözülerek "a" bulunur. Kesitin taşıma gücü:

$$M_r = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a) \quad (5.22)$$

olur. Şekil (5.2)'de bir kesitteki birim deformasyon dağılışları üzerinden 3 tür kırılma, ayırt edici özellikleriyle verilmiştir.



Şekil 5.2 Tek donatılı dikdörtgen kesitlerde üç tür kırılmaya ait birim deformasyon diyagramları

5.1.1.4. Özet

Tek donatılı dikdörtgen kesitlerin moment taşıma gücünün bulunmasında izlenecek yol, özetle şöyledir:

1. $\rho = A_s/b_w d$ hesaplanır.
2. ρ değeri çizelge 5.1'de verilen ρ_b değeri ile karşılaştırılır.
- 3a. $\rho < \rho_b$ ise çekme kırılması söz konusu olacak demektir. Kesitin M_r taşıma gücü 5.11a, 11b, 11c ifadelerinden biriyle hesaplanır.
- 3b. $\rho = \rho_b$ ise dengeli kırılma söz konusudur; M_{rb} taşıma gücü 5.18a, 18b, 18c ifadeleriyle hesaplanabilir. Gevrek kırılmaya yol açtığından istenmeyen bir durumdur.
- 3c. $\rho > \rho_b$ ise basınç kırılması olacak demektir; bu durumda kesit taşıma gücünün hesabı için önce 5.21 denklemi çözülerek "a" eşdeğer gerilme bloğu derinliği bulunur. Sonra "a"nın bu değeri (5.22)'de yerine yazılarak M_r hesaplanır. Yine aynı nedenle, hiç belirti vermeden ani kırılmaya yol açtığı için, tehlikeli ve istenmeyen bir durumdur.
- 3d. $\rho < \rho_b$ durumunda taşıma gücü, istenirse, kesit hesapları için hazırlanmış çizelgeler yardımıyla da yapılabilir. Sayısal uygulamalar bölümünde bununla ilgili örnekler verilmiştir.

5.1.1.5. Tek donatılı dikdörtgen kesitlerin taşıma gücü ile ilgili sayısal uygulamalar

- 5.1. Boyutları 25/40 cm olan bir dikdörtgen kesitin $\rho = 0,01$ donatı karşılayabileceği M_r eğilme momentini ve kesit donatısını bulunuz. Malzeme C 16/S 220.

Verilenler:

$$b_w = 25 \text{ cm}, h = 40 \text{ cm}, (d = 36 \text{ cm}), \rho = 0,01,$$

İstenenler:

$$M_r = ?, A_s = ?$$

Çözüm:

C 16/S 220 için $f_{cd} = 11 \text{ N/mm}^2 = 1,1 \text{ kN/cm}^2$, $0,85 \rho_b = 0,0268$;
 $\rho = 0,01 < 0,85 \rho_b = 0,0268$ Kiriş, sünek davranış sağlayacak şekilde (uygun) donatılmış demektir.

$$\begin{aligned} M_r &= \rho b_w d^2 f_{yd} \left(1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}\right) \\ &= 0,01 \cdot 25 \cdot 36^2 \cdot 1,91 \left(1 - 0,59 \cdot 0,01 \frac{19,1}{1,1}\right) \\ &= 5554,4 \text{ kNcm} = 55,544 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$A_s = 0,01 \cdot 25 \cdot 36 = 9,00 \text{ cm}^2 ; \text{ Seçilen donatı } 3 \phi 20 = 9,42 \text{ cm}^2$$

Aynı problem hesap tabloları yardımıyla da çözülebilir. S 220'ye ait tablodan C 16 betonu için $\rho = 0,01$ satırında K değeri okunur. $K = 5,83$ (Çizelge 5.4). K'nın bu değeri ile;

$$M_r = \frac{b_w d^2}{K} = \frac{25 \cdot 36^2}{5,83} = 5557,4 \text{ kNcm}$$

bulunur.

Görüldüğü gibi; formülle bulunan değerden, az da olsa farklı değer elde edilmiştir. Mühendislik açısından hiç önemli olmayan bu küçük farkın nedeni, tablodaki katsayılarda yapılan yuvarlatma hatalarıdır.

- 5.2. Boyutları 25/50 cm olan dikdörtgen kesitli kirişte, çekme donatısı olarak 4Φ14 kullanılmıştır. Malzeme C 20/S 420'dir. Moment taşıma gücünü bulunuz.

Verilenler:

$$b_w = 25 \text{ cm}, h = 50 \text{ (} d = 46 \text{ cm)}, A_s = 4 \phi 14 = 6,16 \text{ cm}^2, \text{ C 20/S 420}$$

İstenen: $M_r = ?$

Çözüm:

$$\text{C 20/S 420 için } f_{cd} = 13 \text{ N/mm}^2 = 1,3 \text{ kN/cm}^2, \\ f_{yd} = 365 \text{ N/mm}^2 = 36,5 \text{ kN/cm}^2 ; \quad \rho_m < 0,85 \rho_b \text{ olmalı.}$$

$$\rho = \frac{6,16}{25 \cdot 36} = 0,0054 < 0,0136 = \rho_m ; \text{ kiriş uygun donatılmış.}$$

Çizelge 5.9'dan, C 20 betonu için:

$$\rho = 0,0050 \text{ için } K = 5,97 ,$$

$\rho = 0,0055$ için $K = 5,48$ okunur; $\rho = 0,0054$ için K değeri, interpolasyonla bulunacaktır:

$$K = 5,48 + (5,97 - 5,48) \frac{0,0055 - 0,0054}{0,0055 - 0,0050} = 5,58$$

$$M_r = \frac{25 \cdot 46^2}{5,58} = 9480,3 \text{ kNcm} = 94,80 \text{ kNm}$$

- 5.3. ω tablosuyla taşıma gücü hesabına örnek: Boyutları 25/55 cm olan dikdörtgen kesitli bir kirişte, C 25 betonu kullanılacaktır. Donatı yüzdesi $\rho = 0,01$ olduğuna göre, değişik kalitede çelikler kullanılması halinde kirişin taşıma gücündeki değişikliği inceleyiniz.

Verilenler:

$$b_w = 25 \text{ cm}, h = 55 \text{ cm (} d = 51 \text{ cm)}, \rho = 0,01, f_{cd} = 17 \text{ N/mm}^2 = 1,7 \text{ kN/cm}^2$$

İstenenler:

- a) S 220 için $M_r = ?$, b) S 420 için $M_r = ?$, c) S 500 için $M_r = ?$

Çözüm: Çizelge 5'den ρ_m değerleri, sırasıyla; 0,0415, 0,0178, 0,0139 okunur. Şu halde, her üç hal için $\rho < \rho_m$ dir, sünek davranış sağlanmıştır.

a) $\omega = \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,01 \frac{19,1}{1,7} = 0,112$; Çizelge 5.11'den m okunur:

$$m = \frac{M_r}{b_w d^2 f_{cd}} = 0,1046$$

$$M_r = m b_w d^2 f_{cd} = 0,1046 (25.51^2 \cdot 1,7) = 11562,7 \text{ kNcm} = 115,63 \text{ kNm}$$

b) $\omega = \frac{0,01}{1,7} = 0,215$ Çizelge 5.11'den m = 0,1877

$$M_r = 0,1877 (25.51^2 \cdot 1,7) = 20748,8 \text{ kNcm} = 207,49 \text{ kNm}$$

c) $\omega = 0,01 \frac{43,5}{1,7} = 0,256$ Çizelge 5.11'den m = 0,2173

$$M_r = 0,2173 (25.51^2 \cdot 1,7) = 24020,9 \text{ kNcm} = 240,21 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{r(b)}}{M_{r(a)}} = 1,80; \quad \frac{M_{r(c)}}{M_{r(a)}} = 2,08; \quad \frac{M_{r(c)}}{M_{r(b)}} = 1,16$$

$$\frac{f_{yd}}{f_{yd,S220}} = \frac{36,5}{19,1} = 1,91; \quad \frac{43,5}{19,1} = 2,28; \quad \frac{f_{yd,S500}}{f_{yd,S420}} = \frac{43,5}{36,5} = 1,19$$

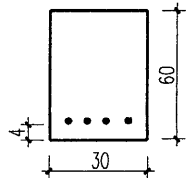
Görüldüğü gibi; taşıma gücündeki artış oranı, çelik hesap mukavemetlerindeki artış oranına çok yakındır.

- 5.4. Boyutları 30/60 cm; malzemesi C20/S420 olan dikdörtgen kesitli bir kirişin aşağıda verilen değişik donatı yüzdelere göre, moment taşıma güçlerini hesaplayınız ve sonuçları yorumlayınız.

Verilenler:

$$b_w = 30 \text{ cm}, h = 60 \text{ cm} (d=56 \text{ cm}), f_{cd} = 1,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2; E_s = 2.10^4 \text{ kN/cm}^2$$



İstenenler:

- a) $\rho = 0,005$ için $M_r = ?$ b) $\rho = 0,01$ için $M_r = ?$
c) $\rho = \rho_b$ için $M_r = ?$ e) $\rho = 0,02$ için $M_r = ?$

Çözüm:

C 20/S 420 için Çizelge 5.1'den $\rho_b = 0,016$; $\rho_m = 0,0136$

a) $\rho = 0,005 < \rho_m$; sünek davranış sağlanmıştır. Çizelge 5.9'dan

$$K = 5,97; M_r = \frac{b_w d^2}{K} = \frac{30.56^2}{5,97} = 15758 \text{ kNcm} = 157,6 \text{ kNm}$$

b) $\rho = 0,01 < \rho_m$; $K = 3,28$;

$$M_r = \frac{30.56^2}{3,28} = 28682,9 \text{ kNcm} = 268,8 \text{ kNm}$$

c) $\rho = \rho_b = 0,016$ (dengeli donatı oranı); $K_b = 2,33$; $M_r = \frac{30.56^2}{2,33}$

$$M_r = 40377,7 \text{ kNcm} = 403,8 \text{ kNm}$$

d) $\rho = 0,02 > \rho_b$ (basınç kırılması, çekme donatısı akmaz).

$$\epsilon_s = 0,003(k_1 \frac{d}{a} - 1); \sigma_s = \epsilon_s E_s = 60(k_1 \frac{d}{a} - 1) \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s \sigma_s = 0,85 f_{cd} a b_w; A_s = \rho b_w d \quad \text{ve } \sigma_s \text{ 'in değeri yazılırsa;}$$

$$\rho b_w d 60 (k_1 \frac{d}{a} - 1) = 0,85 f_{cd} a b_w; \text{ "a"ya göre düzenlenirse,}$$

$$(\frac{0,85}{60} f_{cd}) a^2 + (\rho d) a - k_1 \rho d^2 = 0 \quad (\sigma_s \text{ kN/cm}^2 \text{ olarak alındığı için}$$

$(f_{cd}) \text{ kN/cm}^2$, uzunluklar olmalı)

$$(\frac{0,85}{60} \cdot 1,3) a^2 + (0,02 \cdot 56) a - 0,85 \cdot 0,02 \cdot 56^2 = 0$$

$$a^2 + 60,8a - 2894,8 = 0 \quad a = 31,40 \text{ cm}; \sigma_s = (0,85 \cdot \frac{56}{31,4} - 1) \cdot 60$$

$$\sigma_s = 31 \text{ kN/cm}^2 < 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

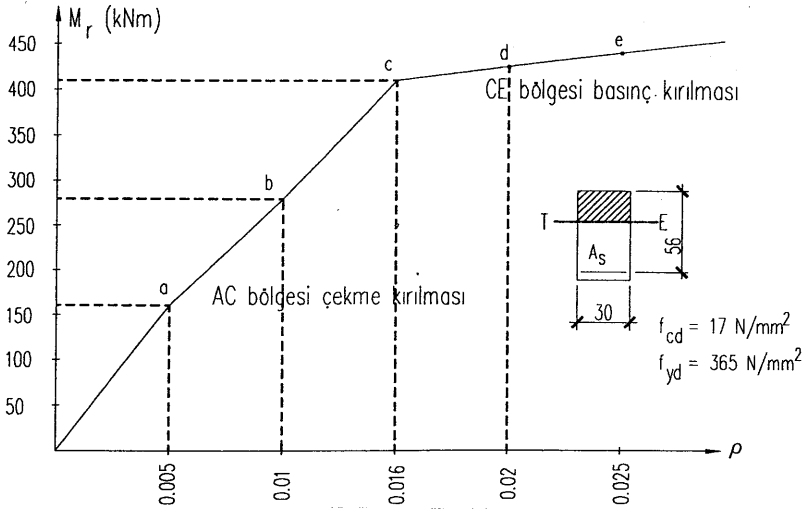
$$M_r = 0,85 f_{cd} a b_w (d - 0,5a) = 0,85 \cdot 1,3 \cdot 31,40 \cdot 30 (56 - 0,5 \cdot 31,40)$$

$$M_r = 41948,7 \text{ kNcm} \approx 419,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{r,b}}{M_{r,a}} = 1,82; \quad \frac{M_{r,a}}{M_{r,c}} = 2,56; \quad \frac{M_{r,d}}{M_{r,a}} = 2,66$$

$$\frac{M_{r,c}}{M_{r,b}} = 1,41; \quad \frac{M_{r,d}}{M_{r,b}} = 1,46; \quad \frac{M_{r,d}}{M_{r,c}} = 1,04$$

artan donatı yüzdesiyle kirişin taşıma gücündeki artış şekil 5.3'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Boyutları belirli dikdörtgen kesitin, artan donatı yüzdeleriine bağlı olarak, artan taşıma gücü

Grafikten açık olarak görüldüğü gibi; dengeli donatı yüzdesi aşıldıktan sonra, taşıma gücündeki artış yavaşlamaktadır; c ve d durumlarında donatı %25 arttığı halde moment taşıma gücü ancak %4 artmaktadır. Bunun nedeni, bu bölgede donatı akmadığı için, kapasitesinden tam olarak yararlanmanın mümkün olmamasıdır. Çekme kırılması bölgesinde ise donatıdaki artış oranına yakın bir moment artışı elde edilebilmektedir.

5.5. Boyutları 25/55 cm olan bir dikdörtgen kesitte donatı yüzdesi $\rho = 0,01$ 'dir. Donatı çeliği S 420 olduğuna göre, beton kalitesindeki

değişikliğin moment taşıma gücüne etkisini inceleyiniz.

Verilenler:

$$b_w = 25 \text{ cm}, h = 55 \text{ cm}, \rho = 0,01, f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

İstenenler:

a) C 16 için $M_r = ?$ b) C 20 için $M_r = ?$ c) C 25 için $M_r = ?$

Çözüm:

$$M_r = \frac{b_w d^2}{K}; \text{ S420 çeliği ve } \rho = 0,01 \text{ donatı oranı için;}$$

$$\begin{aligned} \text{a) C 16 için } K &= 3,41 & M_r &= 25.51^2/3,41 = 19069 \text{ kNcm} \\ \text{b) C 20 için } K &= 3,28 & M_r &= 25.51^2/3,28 = 19824,7 \text{ kNcm} \\ \text{c) C 25 için } K &= 3,14 & M_r &= 65025/3,14 = 20708,6 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_b}{M_a} = 1,04; \quad \frac{M_c}{M_a} = 1,08; \quad \frac{M_c}{M_b} = 1,04$$

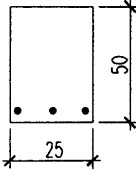
$$\frac{f_{cd}^b}{f_{cd}^a} = 1,18; \quad \frac{f_{cd}^c}{f_{cd}^a} = 1,55; \quad \frac{f_{cd}^c}{f_{cd}^b} = 1,31$$

Sonuç: Görüldüğü gibi, beton mukavemetindeki artışın moment taşıma gücüne etkisi, yok sayılacak kadar azdır. Beton hesap mukavemetinde %18 artış %4'lük taşıma gücü artışını ve yine hesap mukavemetinde %55'lik artış %8'lik taşıma gücü artışını sağlayabilmektedir. Bu durumda, doğru donatılmış kirişlerin eğilme momenti taşıma gücünün, bütünüyle donatının (kalite, yüzde) fonksiyonu olduğu söylenebilir.

5.6. 25/50 cm boyutlarında bir betonarme dikdörtgen kesitte C16/S220 kullanılacaktır. Bu kesitte dengeli kırılma durumunda:

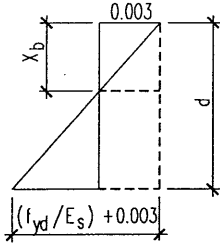
- Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun a_b derinliğini hesaplayınız.
- Çekme donatısının alanı ne olmalıdır?
- Bu donatı ile taşınabilen moment kaç kNm dir?

Verilenler:



$$b_w = 25 \text{ cm}$$
$$d = 46 \text{ cm}$$
$$f_{cd} = 11 \text{ N/mm}^2 = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$
$$f_{yd} = 191 \text{ N/mm}^2 = 19,1 \text{ kN/cm}^2$$

- a) Dengeli kırılma durumunda gerilme bloğunun derinliği a_b , deformasyonların uygunluğu şartı yardımıyla hesaplanabilir.



$$\frac{x_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

$$a_b = k_1 d \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

$$k_1 = 0,85; \quad d = 46 \text{ cm}; \quad f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2; \quad E_s = 2 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$$

$$a_b = \frac{60}{60 + 19,1} \cdot 0,85 \cdot 46 = 29,66 \text{ cm}$$

$$a_b = 29,66 \text{ cm}$$

- b) Çekme donatısı yatay izdüşüm denge denkleminde hesaplanabilir:

$$F_T = F_C$$

$$A_{sb} f_{yd} = 0,85 f_{cd} b_w a_b$$

$$A_{sb} = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 25 \cdot 29,66 / 19,1$$

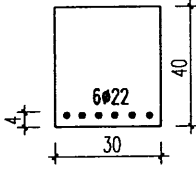
$$A_{sb} = 36,30 \text{ cm}^2$$

c) Dengeli durumda taşınabilen moment

$$M_b = A_s b f_{yd} (d - 0,5 a_b)$$

$$M_b = 36,30 \cdot 19,1 (46 - 0,5 \cdot 29,66) = 21611,1 \text{ kNcm} = 216,11 \text{ kNm}$$

5.7 Şekilde geometrisi ve donatısı verilen dikdörtgen kesitli kirişte malzeme olarak C 20 betonu ile S 420 çeliği kullanılmıştır. Eğilme momenti taşıma gücünü bulunuz. Sonucu yorumlayınız.



Verilenler:

$$b_w = 30 \text{ cm}, \quad d = 36 \text{ cm}, \quad f_{cd} = 1,3 \text{ kN/cm}^2 \text{ (C 20)}$$

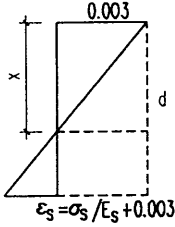
$$f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 6 \phi 22 \quad (22,81 \text{ cm}^2)$$

ÇÖZÜM :

İstenenler:

$$M_r = ?$$



Çözüm:

$$\rho = A_s / (b_w d) = 22,81 / (39.36) = 0,021;$$

C 20/S 420 için Çizelge 5.1'den

$$\rho_b = 0,016$$

$\rho > \rho_b$ Basınç kırılması söz konusu. Yani donatı akmadan beton ezilecek demektir.

$$\sigma_s < f_{yd}$$

Denge şartından,

$$A_s \sigma_s = 0,85 f_{cd} b_w a \text{ yazılabilir.}$$

$$22,81 \cdot \sigma_s = 0,85 \cdot 1,3 \cdot 30 \cdot a$$

$$0,688 < \sigma_s = a \dots\dots(1)$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,003}{0,003 + (\sigma_s/E_s)} \text{ uygunluk şartından}$$

$$x = \frac{60}{60 + \sigma_s} d \quad (\sigma_s = \text{kN/cm}^2)$$

$$a = \frac{60}{60 + \sigma_s} \cdot k_1 d = \frac{60}{60 + \sigma_s} \cdot 0,85 \cdot 36$$

$$a = \frac{1836}{60 + \sigma_s} \dots\dots(2)$$

(1) ve (2)'nin eşitliğinden

$$0,688 \sigma_s^2 + 41,28 \sigma_s - 1836 = 0$$

$$\sigma_s^2 + 60 \sigma_s - 2668,6 = 0$$

$$\sigma_s = -30 + \sqrt{900 + 2668,6} = 29,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$a = 0,628 \cdot 29,7 = 20,43 \text{ cm}$$

$$M_r = F_T \left(d - \frac{a}{2}\right) = A_s \sigma_s (d - 0,5a)$$

σ_s ve "a"nın hesaplanan değerleri yerine yazılırsa;

$$M_r = 22,81 \cdot 29,70 (36 - 0,5 \cdot 20,43) = 17468,23 \text{ kNcm} = 174,68 \text{ kNm}$$

Sonuç: $M_r = 174,68 \text{ kNm}$. Bu donatı ve moment altında çekme donatısı akmadan beton ezileceğinden, bu kiriş, yanlış donatılmıştır. Dış kuvvetlerin artması halinde (kuvvetli bir deprem etkisi gibi) sünek davranış göstermeden ani olarak kırılır.

Problemler

Verilenler:

1. $b_w = 20\text{cm}$; $h = 40\text{ cm}$; $A_s = 3 \phi 12$
 $= 3.39\text{ cm}^2$; Malzeme C 16/S 220
2. $b_w = 25\text{ cm}$; $h = 45\text{ cm}$; $\rho = 0,007$
Malzeme C 16/S 220
3. $b_w = 30\text{ cm}$; $h = 50\text{ cm}$; $A_s = 5 \phi 16$
 $= 10,05\text{ cm}^2$; Malzeme C 16/S 420
4. $b_w = 30\text{ cm}$; $h = 65\text{ cm}$; $\rho = 0,015$
Malzeme C 20/S 220
5. $b_w = 30\text{ cm}$; $h = 65\text{ cm}$;
Malzeme C 20/S 220
6. $b_w = 30\text{ cm}$; $h = 60\text{ cm}$;
 $\rho = \rho_b$; Malzeme C 16/S 220

İstenenler:

- (Tablo kullanmadan) $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 22,2\text{ kNm}$)
- $M_r = ?$;
(Cevap: $M_r = 52,8\text{ kNm}$)
- $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 244\text{ kNm}$)
- $M_r = ?$
(Cevap; $M_r = 278,4\text{ kNm}$)
- Tek donatı ile sünek davranış sağlayacak,
 $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 474,63\text{ kNm}$)
- $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 370,94\text{ kNm}$)

5.1.2. Tek donatılı dikdörtgen kesitlerin boyutlandırılması (Kesit hesabı)

5.1.2.1. Genel bilgiler

Boyutlandırma problemlerinde; hesap yüklerine göre yapısal analiz sonucu bulunan hesap momenti, M_d bilinmektedir. Ayrıca, yapıda kullanılacak beton ve çelik türü için malzeme hesap mukavemetleri de belirlidir. Kesit boyutları ve donatı aranmaktadır:

Bilinenler: M_d, f_{cd}, f_{yd}

Arananlar: b_w, d, A_s (yada ρ)

Aynı mukavemeti sağlayacak bir dizi çözüm bulunabileceği açıktır. Seçilmiş kesit boyutları için donatı alanı yada seçilmiş bir donatı için gerekli kesit boyutları elde edilebilir. Bunun için 5.11 ifadelerinde M_r yerine M_d yazmak yeterlidir.

$$M_d = A_s f_{yd} d \left(1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}\right) \quad (5.23a)$$

$$M_d = \rho b_w d^2 f_{yd} \left(1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}\right) \quad (5.23b)$$

$$M_d = b_w d^2 f_{cd} \omega (1 - 0,59 \omega) \quad (5.23c)$$

Demek ki boyutları ve donatısı verilmiş bir kesitin taşıma gücünün bulunmasında tek çözüm olmasına karşın, verilen bir hesap momenti için kesitin boyutlandırılmasında bir dizi çözüm bulunabilmektedir. Tasarım mühendisi bunların içinden uygun olanını seçecektir. Ancak bu seçim gelişigüzel olamaz. Kirişte aranan davranışa uygun seçim yapmak gerekir - Sünek davranışın sağlanması, sehim denetimi, deprem bölgesi koşulları gibi-. Ayrıca seçilecek boyutlar, mimari tasarımla uyum sağlamalıdır. Ve en sonunda, seçilen çözüm ekonomik olmalıdır.

Görüldüğü gibi tek bir kiriş çözümü için değişik alternatifler söz konusudur. Bir yapıda ise çok sayıda kiriş ve döşeme vardır. Öyleyse çok sayıda kesit hesabı yapılacaktır. Zaman ve emek kaybını önlemek için, kesit hesapları, (5.23) ifadelerine göre değil de, aynı ifadelerden türetilmiş hesap çizelgeleri yada bilgisayar programları kullanılarak yapılır. İki tür hesap söz konusu olabilir.

i) Ön boyutlandırma (Ön tasarım hesabı)

Betonarme yapılarda, taşıyıcı sistemler hiperstatiktir. Kesin statik çözüm için, kolon ve kirişlerin rijitliklerine gereksinme duyulur. Bu da elemanlarda bir ön boyutlandırmayı zorunlu kılar.

Tasarımda deneyimli mühendisler, açıklık ve yüklerin düzeyine göre, herhangi bir hesaba gerek duymadan, ön boyutlandırma yapabilir. Yine de önemli kesitler denetlenir. Genel olarak yaklaşık yöntemlerle bir statik ön hesap yapılır. Kritik kesitlerde iç kuvvetler bulunur. Bu değerlere göre betonarme hesabı ile ön boyutlandırma yapılır.

ii) Kesin boyutlandırma (Uygulama tasarımı hesabı)

Ön boyutlar ve hesap yükleriyle kesin statik çözümleme yapılır. Bulunan hesap momentlerine (M_d) göre kesit denetimi yapılır. Boyutlar uygunsa donatı hesaplanır.

Boyutlandırma problemlerinde, kesiti, amaca uygun biçimde, boyutlandırmak ve donatmak söz konusudur. Amaca uygunluk deyimi ile anlatılmak istenen nedir? Eleman ve yapının, sırasıyla:

- i) Kırılma (göçme) limit durumundan uygun bir olasılıkla uzak kalması;
- ii) Herhangi bir nedenle taşıma gücüne ulaşması söz konusu olsa bile, kesinlikle, sünek davranışın sağlanması;
- iii) Aşın deformasyon (sehim, çatlak genişliği, titreşim vb.) nedeniyle işletme dışı kalmasının önlenmesi.

Birincil koşul, işletme yüklerinin yük katsayıları ile çarpılması, malzeme mukavemet değerlerinin malzeme katsayılarına bölünmesi ve malzemenin gerçek davranışının dikkate alınması ile sağlanmaktadır. İkinci ve üçüncü koşulların gerçekleşmesi ise, kesitteki donatı oranı üstten ve alttan sınırlandırılarak denetlenmektedir.

5.1.2.2. Donatının sınırlandırılması

a) Üstten sınırlamalar (Maksimum donatı yüzdesi)

a.) Sünek davranış sınırı: Bu koşul, kesitteki maksimum donatı oranının dengeli donatı oranından belirli bir oranda düşük kalmasıyla sağlanır. TS-500/2000'de bu oran:

$$\rho \leq \rho_m = 0,85 \rho_b \quad (5.24)$$

olarak belirlenmiştir. Sınır değerler çizelgesi - Çizelge 5.1- de donatı üst sınırları ve bununla ilgili hesap katsayıları verilmiştir. Uyulması zorunlu bir koşul olduğu için, hesap çizelgelerinde de en alt satırdaki hesap katsayıları bu sınırı belirlemektedir.

a₂) Sehim denetimi sınırı: Taşıma gücü yönteminde, malzeme hesap dayanımına çalıştırıldığı ve betonun gerçek davranışına eşdeğer bir basınç gerilme yayılımı kullanıldığı için, $\rho = \rho_m = 0,85\rho_b$ alındığı zaman, çok ince kiriş kesitleri bulunabilir. O zaman sehim denetimi yapmak gerekir. Çünkü kiriş aşırı sehim yaparak işletme dışı kalabilir. Hiperstatik sistemlerde sehim hesabı zaman alıcıdır. Her kiriş için sehim denetimi yapmak olanaksızdır. Sehim denetimi zorunluluğu ile karşılaşmamak için TS-500/2000'de bazı sınırlamalar getirilmiştir. Sınırlama iki ayrı yönden yapılmıştır.

i) Doğrudan doğruya kesit yüksekliği için bir alt sınır koymak:

Çizelge 5.2 . TS-500/2000, Çizelge 13.1'e göre eğilme ile zorlanan yapı elemanlarında sehim denetimi gerektirmeyen yükseklikler

| Yapı elemanı | Basit mesnetli | Sürekli yapı elemanları | | Konsol |
|----------------------|----------------|-------------------------|----------|--------|
| | | Kenar açl | İç açl | |
| Bir doğ. çal. döşem. | $l/20$ | $l/25$ | $l/30$ | $l/10$ |
| İki doğ. çal. döşem. | $l_k/25$ | $l_k/30$ | $l_k/35$ | - |
| Dişli döşemelerde | $l/15$ | $l/18$ | $l/20$ | $l/8$ |
| Kirişlerde | $l/10$ | $l/12$ | $l/15$ | $l/5$ |

l_k : Kısa doğrultudaki açıklık, l : Hesap açıklığı

ii) Donatı yüzdesi için bir üst sınır vererek, dolaylı yoldan kesit yüksekliğine bir alt sınır koymak:

Burada yaklaşık bir yöntem uygulanır. Emniyet gerilmeleri yöntemiyle ve işletme yükleri kullanılarak yıllardır yapılan hesaplarda bir deformasyon sorunu çıkmamıştır. Buradan hareketle, sehim denetimi gerektirmeyen donatı yüzdesi olarak önceki standardımız TS-500/84, 11.2.1'de (5.25) ifadesiyle belirtilen değer önerilmiştir:

$$\rho_e = 0,235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5.25)$$

Değişik beton ve çelik türleri için ρ_e değerleri hesaplanarak çizelge 5.1'de verilmiştir.

$\rho < \rho_e$ ise sehim denetimine gerek yoktur.

$\rho < \rho \leq \rho_m$ ise sehim denetimi gereklidir.

Çizelge 5.1 Kirişler için sınırlar değerler

| Çelik | Beton | ρ_b için | | | | $\rho_m = 0.85\rho_b$ için | | | | $\rho_d = 0.60\rho_b$ için | | | | $\rho_l = 0.235f_{cd}/f_{yd}$ için | | | |
|-------|-------|---------------|----------|----------|-------|----------------------------|----------|----------|-------|----------------------------|----------|----------|-------|------------------------------------|----------|----------|-------|
| | | k_{zb} | k_{sb} | ρ_b | k_b | k_{zm} | k_{sm} | ρ_m | k_m | k_{zd} | k_{sd} | ρ_d | k_d | k_{zl} | k_{sl} | ρ_l | k_l |
| S 220 | C 14 | 0.678 | 0.0772 | 0.0226 | 2.90 | 0.727 | 0.0720 | 0.0227 | 3.20 | 0.806 | 0.0650 | 0.0160 | 4.05 | 0.862 | 0.0607 | 0.0114 | 5.30 |
| | C 16 | 0.678 | 0.0772 | 0.0316 | 2.45 | 0.727 | 0.0720 | 0.0268 | 2.69 | 0.806 | 0.0650 | 0.0189 | 3.44 | 0.862 | 0.0607 | 0.0135 | 4.49 |
| | C 20 | 0.678 | 0.0772 | 0.0373 | 2.07 | 0.727 | 0.0720 | 0.0317 | 2.28 | 0.806 | 0.0650 | 0.0224 | 2.90 | 0.862 | 0.0607 | 0.0160 | 3.80 |
| | C 25 | 0.678 | 0.0772 | 0.0488 | 1.58 | 0.727 | 0.0720 | 0.0415 | 1.74 | 0.806 | 0.0650 | 0.0293 | 2.22 | 0.862 | 0.0607 | 0.0209 | 2.91 |
| | C 30 | 0.736 | 0.0372 | 0.0114 | 3.26 | 0.776 | 0.0353 | 0.0098 | 3.60 | 0.841 | 0.0326 | 0.0069 | 4.72 | 0.862 | 0.0318 | 0.0061 | 5.30 |
| S 420 | C 16 | 0.736 | 0.0372 | 0.0135 | 2.76 | 0.776 | 0.0353 | 0.0115 | 3.07 | 0.841 | 0.0326 | 0.0081 | 4.02 | 0.862 | 0.0318 | 0.0071 | 4.49 |
| | C 20 | 0.736 | 0.0372 | 0.0160 | 2.33 | 0.776 | 0.0353 | 0.0136 | 2.60 | 0.841 | 0.0326 | 0.0096 | 3.39 | 0.862 | 0.0318 | 0.0084 | 3.80 |
| | C 25 | 0.736 | 0.0372 | 0.0209 | 1.78 | 0.776 | 0.0353 | 0.0178 | 1.99 | 0.841 | 0.0326 | 0.0126 | 2.58 | 0.862 | 0.0318 | 0.0109 | 2.91 |
| | C 30 | 0.744 | 0.0368 | 0.0237 | 1.57 | 0.786 | 0.0349 | 0.0200 | 1.75 | 0.847 | 0.0323 | 0.0142 | 2.28 | 0.862 | 0.0318 | 0.0129 | 2.47 |
| | C 35 | 0.754 | 0.0363 | 0.0263 | 1.42 | 0.793 | 0.0345 | 0.0222 | 1.56 | 0.852 | 0.0321 | 0.0158 | 2.03 | 0.862 | 0.0318 | 0.0148 | 2.15 |
| S 500 | C 40 | 0.763 | 0.0359 | 0.0297 | 1.25 | 0.802 | 0.0342 | 0.0249 | 1.37 | 0.858 | 0.0319 | 0.0178 | 1.79 | 0.862 | 0.0318 | 0.0174 | 1.83 |
| | C 45 | 0.772 | 0.0355 | 0.0317 | 1.17 | 0.809 | 0.0339 | 0.0267 | 1.27 | 0.864 | 0.0317 | 0.0190 | 1.67 | 0.862 | 0.0318 | 0.0193 | 1.65 |
| | C 50 | 0.782 | 0.0350 | 0.0334 | 1.11 | 0.816 | 0.0336 | 0.0283 | 1.19 | 0.869 | 0.0315 | 0.0200 | 1.57 | 0.862 | 0.0318 | 0.0212 | 1.50 |
| | C 14 | 0.754 | 0.0305 | 0.0089 | 3.40 | 0.791 | 0.0291 | 0.0076 | 3.80 | 0.851 | 0.0270 | 0.0053 | 4.91 | 0.862 | 0.0267 | 0.0050 | 5.30 |
| | C 16 | 0.754 | 0.0305 | 0.0106 | 2.88 | 0.791 | 0.0291 | 0.0090 | 3.23 | 0.851 | 0.0270 | 0.0064 | 4.22 | 0.862 | 0.0267 | 0.0059 | 4.49 |
| S 500 | C 20 | 0.754 | 0.0305 | 0.0125 | 2.44 | 0.791 | 0.0291 | 0.0106 | 2.74 | 0.851 | 0.0270 | 0.0075 | 3.60 | 0.862 | 0.0267 | 0.0070 | 3.80 |
| | C 25 | 0.754 | 0.0305 | 0.0164 | 1.86 | 0.791 | 0.0291 | 0.0139 | 2.09 | 0.851 | 0.0270 | 0.0098 | 2.75 | 0.862 | 0.0267 | 0.0092 | 2.91 |
| | C 30 | 0.761 | 0.0302 | 0.0186 | 1.64 | 0.800 | 0.0287 | 0.0156 | 1.84 | 0.856 | 0.0268 | 0.0112 | 2.40 | 0.862 | 0.0267 | 0.0108 | 2.47 |
| | C 35 | 0.770 | 0.0299 | 0.0206 | 1.48 | 0.807 | 0.0285 | 0.0174 | 1.64 | 0.861 | 0.0267 | 0.0124 | 2.15 | 0.862 | 0.0267 | 0.0124 | 2.15 |
| | C 40 | 0.779 | 0.0295 | 0.0232 | 1.31 | 0.816 | 0.0282 | 0.0195 | 1.45 | 0.868 | 0.0265 | 0.0139 | 1.90 | 0.862 | 0.0267 | 0.0146 | 1.83 |
| C 45 | 0.788 | 0.0292 | 0.0248 | 1.23 | 0.822 | 0.0280 | 0.0219 | 1.34 | 0.872 | 0.0264 | 0.0149 | 1.77 | 0.862 | 0.0267 | 0.0162 | 1.65 | |
| | 0.796 | 0.0289 | 0.0262 | 1.16 | 0.829 | 0.0277 | 0.0221 | 1.26 | 0.878 | 0.0262 | 0.0157 | 1.67 | 0.862 | 0.0267 | 0.0178 | 1.50 | |

Gerilmeler : kN/cm²

Momentler : kNcm

Uzunluklar : cm

Sehim denetimi, ister kiriş yüksekliği, isterse donatı oranı sınırlanarak yapılsın, her iki halde de, uyulması zorunlu bir sınır niteliği taşımaz; sâdece bu sınır aşılsa sehim denetimi yapılması gereğini belirler. Bu bakımdan "a₁"de belirtilen süneklik koşulu ile aradaki farka dikkat edilmelidir. Maksimum çekme donatısı sınırına kesinlikle uyulmalıdır. Sehim denetimi sınırına ise uymak zorunlu değildir. Ancak, uyulmazsa sehim denetimi yapmak zorunludur. Sehim denetiminin nasıl yapılacağı kullanılabilirlik bölümünde ayrıntılı incelenecektir.

a₃) Deprem bölgelerindeki yapılarda sınır: Deprem etkilerine karşı kirişlerin süneklik düzeyi yüksek olsun istenir. Deprem Yönetmeliği-1997'de, kiriş çekme donatı oranının 0,02 değerini aşmasına izin verilmemiştir. Ancak, beton kesit boyutlarını belirlemek için bu değeri kullanmak süneklik koşullarını sağlamak için uygun olmaz. Yeniden dağılım için de böyle bir sınırlama gereklidir; $(\rho - \rho') \leq 0.4\rho_b$ halinde en çok %15, $(\rho - \rho') \leq 0.6\rho_b$ halinde ise en çok %10 yeniden dağılıma izin verilir (TS-500/2000, madde 6.3.8). Deprem bağlamında literatür, $0,60\rho_b$ gibi bir değer aşılmasını tavsiye eder /5.7/. Yazara göre, bu amaçla da $0,40\rho_b$ ile $0,60\rho_b$ arasında bir değer uygun olur:

$$\rho_d = 0,60 \rho_b \quad (5.26)$$

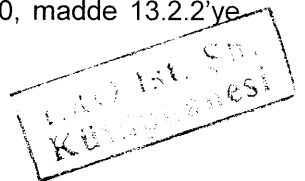
Bu değerler de Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden anlaşılacağı gibi; sehim denetimi sınırına uyulduğunda, bütün diğer üst sınır koşulları kendiliğinden sağlanmaktadır. Kirişlerin boyutlandırılmasında bu husus dikkate alınarak, sehim denetimi sınırına uyulması önerilir.

b) Altan sınırlamalar (Minumum donatı yüzdesi)

b₁) Çekme bölgesindeki beton çatladığı anda, o ana kadar beton ve çelik tarafından karşılanan çekme kuvveti, ani olarak, donatıya aktarılacaktır. Kirişte en az bu kuvveti karşılayacak kadar donatı yoksa, yine gevrek bir kırılma ile karşılaşılır. Diğer bir deyişle, çatlamış kesitin eğilme mukavemeti, en az, çatlamamış kesitin eğilme mukavemeti kadar olmalıdır. Yaklaşık bir hesap için şu varsayımlar yapılabilir:

- i) Çatlamamış kesitin atalet momenti, I_c , hesabında, yalnız tüm (brüt) beton kesitin dikkate alınması yeterlidir (TS-500/2000, madde 13.2.2).
- ii) Tablalı kesit atalet momenti, gövdesi kalınlığındaki dikdörtgen kesiti ($b_w h$) atalet momentinin iki katı kabul edilir.
- iii) Dikdörtgen kesiti tek donatılı kirişlerde k_z =değeri 0,98~0,72 arasında değişmektedir. Ortalama değer olarak $k_z = 0,85$ alınabilir. $d \approx 0,9h$ ve tarafsız eksenin çekme kenarına uzaklığı $y \approx 0,6h$ kabul edilebilir.

Çatlamamış kesitin taşıyabileceği moment, TS500/2000, madde 13.2.2'ye göre



$$M_{cr} = 2,5f_{ctd} \frac{I_c}{y}$$

alınabilir. Çatlamış kesitin taşıyabileceği moment ise,

$$M_r = A_s f_{yd} k_z d = A_s f_{yd} 0,85 d$$

dir. M_{cr} ve M_r değerleri birbirlerine eşitlenir, varsayımlardaki $k_z=0,85$, $I_c = 2b_w h^3/12$, $h=d/0,9$, $y=0,6h$ yaklaşık değerleri yerine konulursa;

$$2,5f_{ctd} \frac{I_c}{y} \approx 2,5f_{ctd} \frac{2b_w h^3 / 12}{0,6h} = A_s f_{yd} 0,85 d$$

ve düzenlenerek,

$$\rho_{min} = \frac{A_{s,min}}{bd} \approx 1,0086 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \approx \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

bulunur. Kirişlerde minimum çekme donatısı oranı, yönetmeliklerimize göre ise;

$$\rho_{min} = 0,8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (\text{TS-500/2000}) \quad (5.27a)$$

$$\rho_{min} = 0,8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (\text{DY,1997: Açıklık donatısı}) \quad (5.27b)$$

$$\rho_{min} = \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (\text{DY,1997: Mesnet donatısı}) \quad (5.27c)$$

b₂) TS-500/84'de ise, (5.27) yerine “ $1,2f_{ctd}/f_{yd}$ ” önerilmiştir; ancak, madde 12.2.2'ye göre, kirişte çekme donatısı alanı, tasarım momenti M_d 'yi karşılamak için gerekli donatı alanından %30 fazla ise bu koşula uyulmayabilir. TS-500/2000'de bu tür bir yaklaşıma gerek görülmemiştir.

b₃) Yine TS-500/84'ün anılan maddesinde, herhangi bir durumda kirişteki çekme donatısı oranının, aşağıdaki değerlerden az olmasına izin verilmez:

$$S220 \text{ için } 0,0025 \quad (5.28a)$$

$$S420 \text{ ve } S500 \text{ için } 0,0015 \quad (5.28b)$$

TS-500/2000'de, bu tür bir sınıra da gerek görülmemiştir.

5.1.2.3. Hesap çizelgelerinin hazırlanması

Kiriş ve döşemelerin çekme kırılması (sünek) davranış gösterecek şekilde donatılması zorunludur. Şu halde çizelgeler $\rho < \rho_m = 0,85 \rho_b$ bölgesi için hazırlanmalıdır. Ayrıca, tasarımcıya boyutlandırmada tercih imkânı vermek için, bütün sınır değerler çizelgede, işaret edilmiştir.

a) Donatı oranı ρ 'ya göre hazırlanan hesap çizelgeleri
(Çizelge 5.3-5.10)

(5.11 b) yada (5.23b) ifadelerinde $b_w d^2 / M_d$ değeri K ile gösterilirse, sağ taraf, kesit boyutlarından arındırılmış olur:

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{1}{\rho f_{yd} \left(1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}\right)} \quad (5.29)$$

(5.29)'da, K değerinin, (ρ, f_{yd}, f_{cd}) 'nin fonksiyonu olduğu görülmektedir. Belirli çelik-beton sınıfları için hazırlanan bir çizelgede ρ 'ya bağlı olarak K değerleri hesaplanabilir.

İlerde görüleceği gibi K değerleri, hem bir M_d hesap momentinin etkisinde donatı yüzdesinin bulunmasına, hem de boyutları ve donatısı belirli bir kesitin moment taşıma gücü M_r 'in hesabına yardımcı olur.

Kesit hesaplarında gerekebilecek diğer büyüklüklerle ilgili hesap katsayıları ise, aşağıda açıklanmıştır.

Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliği, a :

$$a = k_a d$$

olarak tanımlanmıştır.

(5.8)'de $A_s = \rho b_w d$ yazılırsa,

$$a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} d \quad (5.30)$$

bulunur; buradan k_a katsayısı elde edilir:

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Tarafsız eksen derinliği, x :

$x = k_x d$ olarak tanımlanmıştır; “a”nın tanımı ile birlikte düşünülürse,

$$k_x = \frac{k_a}{k_1} \quad (5.32)$$

bulunur. C25 ve daha düşük beton kaliteleri için,

$$k_x = k_a/0,85 \quad (5.32a)$$

alınabilir.

Moment kolu uzunluğu, z :

Yukarıda, (5.4)'de $z = k_z d$ olarak tanımlandığı ve (5.9)'da k_z için

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \text{ değeri bulunduğu hatırlanmalıdır.}$$

Donatı alanı katsayısı, k_s :

(5.6)'da M_r yerine M_d ve F_T yerine $A_s f_d$ yazılırsa; $M_d = A_s f_{yd} k_z d$ ve buradan,

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} k_z d} \quad (5.33)$$

bulunur. (5.33)'de,

$$\frac{1}{f_{yd} k_z} = k_s \quad (5.34)$$

denilirse,

$$A_s = k_s \frac{M_d}{d} \quad (5.35)$$

bulunur. Görüldüğü gibi k_a , k_x , k_z ve k_s hesap katsayılarının hepsi (ρ , f_{yd} , f_{cd})'nin fonksiyonudurlar. Belirli beton-çelik türü için ρ 'ya bağlı olarak kolayca hesaplanabilirler. Çizelge 5.3 - 5.10'da normal betonlar ile S220 ve S420 çelikleri için bu katsayılar verilmiştir. Tasarımda ve uygulamada uygun sayılarla çalışmak, insan hatasını azaltır. Yine bu amaçla, düzenlenen hesap çizelgelerinde; uzunluklar için cm, momentler için kNcm, malzeme mukavemetleri için de kN/cm² birimleri seçilmiştir. Donatı alanı cm² olarak elde edilecektir. Çizelgelerdeki değerler $\rho = 0,001$ 'den $\rho = 0,85_b$ değerine kadar ρ 'nin 0,001'lik artışları için hesaplanmıştır. Sınır değerler çizelgelerde belirtilmiş ve bunlar için ρ 'nin çizelge 5.1'de hesaplanan tam değerleri karşılığı katsayılar yazılmıştır. Böylece hesap yaparken sınır değerler çizelgesine bakmaya gerek kalmamıştır.

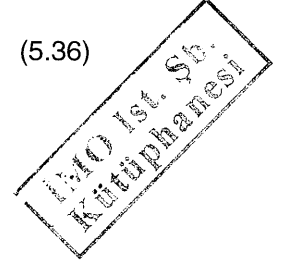
b) Mekanik donatı oranı (donatı indeksi) ω ya göre hazırlanan hesap çizelgesi (Çizelge 5.11) (*)

(5.11c)'de denklemin her iki tarafı ($b_w d^2 f_{cd}$) ile bölünür ve bulunan değer (m) boyutsuz büyüklüğü ile gösterilirse:

$$m = \frac{M}{b_w d^2} = \omega (1 - 0,59 \omega) \quad (5.36)$$

elde edilir. Burada;

$$\omega = \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$



mekanik donatı oranı (donatı indeksi) dir. Çizelge 5.11'de ω 'nin 0-0,40 arasında 0,001'lik artışları için (m) değerler verilmektedir. Boyutsuz sayılarla çalışıldığı için çizelge her tür beton ve çelik için kullanılabilir. Ayrıca, birbiriyle uyumlu olmak koşulu ile birimler için de bir kısıtlama yoktur.

ω için sınır değerler

Üst sınır değerler

Dengeli kırılma durumundaki donatı indeksi "dengeli donatı indeksi" olarak adlandırılır.

* Everord, N.J., ve Tanner, J.L'in hazırladıkları çizelge /5.4/'den alınarak sınır değerler eklenmiştir.

$$\omega_b = \rho_b \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad \rho_b \text{ yerine (5.16)'daki değeri yazılırsa;}$$

$$\omega_b = 0,85k_1 \frac{600}{600 + f_{yd}} \quad (5.37)$$

bulunur. Düktil davranış sınırı ise; $\rho = \rho_m = 0,85\rho_b$ ile,

$$\omega_m = 0,85\omega_b \quad (5.38)$$

dir. Normal ($f_{ck} \leq 25$ MPa) betonlarda:

$$S 220 \text{ için } \omega_m = 0,466$$

$$S 420 \text{ için } \omega_m = 0,382$$

$$S500 \text{ için } \omega_m = 0,356$$

bulunur.

Sehim denetimi gerekmeyen sınır

$$\rho \leq \rho_\ell = 0,235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{ile, her tür beton ve çelik için;}$$

$$\omega_\ell = 0,235 \quad (5.39)$$

bulunur.

Deprem bölgelerindeki yapılarda

$$\rho \leq \rho_d = 0,60\rho_b \quad \text{için}$$

$$\omega_d = 0,60.\omega_b = 0,51k_1 \frac{600}{600 + f_{yd}} \quad (5.40)$$

bulunur. Normal ($f_{ck} \leq 25$ MPa) betonlarda:

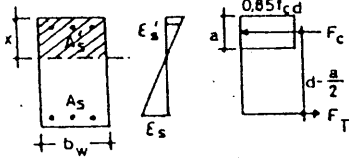
$$S 220 \text{ için } \omega_d = 0,329$$

$$S 420 \text{ için } \omega_d = 0,269$$

$$S 500 \text{ için } \omega_d = 0,251$$

ÇİZELGE 5.3

C 14/S 220



$$f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 0,95 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = \frac{b_w d^2}{M}$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}, \quad k_x = k_a / 0,85$$

BİRİMLER

Moment : kNcm
Mukavemet : kN/cm²
Uzunluk : cm

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$

| ρ | K | k _a | k _x | k _z | k _s | Baskınç donatısı σ' _s gerilmesi | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|-------|------|-------|------|-------|------|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | z/d | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,875 | 0,90 | 0,925 | 0,95 | | | | | | |
| 0,0010 | 52,98 | 0,028 | 0,024 | 0,988 | 0,0530 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0020 | 26,81 | 0,056 | 0,047 | 0,976 | 0,0536 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0030 | 18,10 | 0,083 | 0,071 | 0,964 | 0,0543 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0040 | 13,74 | 0,111 | 0,095 | 0,953 | 0,0550 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0050 | 11,13 | 0,139 | 0,118 | 0,941 | 0,0557 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0060 | 9,39 | 0,167 | 0,142 | 0,929 | 0,0564 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0070 | 8,16 | 0,195 | 0,166 | 0,917 | 0,0571 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0080 | 7,23 | 0,223 | 0,189 | 0,905 | 0,0578 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0090 | 6,51 | 0,250 | 0,213 | 0,893 | 0,0586 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0100 | 5,94 | 0,278 | 0,237 | 0,881 | 0,0594 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0110 | 5,47 | 0,306 | 0,260 | 0,870 | 0,0602 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0114 | 5,30 | 0,318 | 0,270 | 0,862 | 0,0607 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0120 | 5,09 | 0,334 | 0,284 | 0,858 | 0,0610 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0130 | 4,76 | 0,362 | 0,307 | 0,846 | 0,0619 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0140 | 4,48 | 0,390 | 0,331 | 0,834 | 0,0628 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0150 | 4,25 | 0,417 | 0,355 | 0,822 | 0,0637 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0160 | 4,05 | 0,445 | 0,378 | 0,810 | 0,0646 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0170 | 3,86 | 0,473 | 0,402 | 0,798 | 0,0655 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0180 | 3,70 | 0,501 | 0,426 | 0,786 | 0,0666 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0190 | 3,56 | 0,529 | 0,449 | 0,775 | 0,0676 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0200 | 3,43 | 0,557 | 0,473 | 0,763 | 0,0686 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0210 | 3,32 | 0,584 | 0,497 | 0,751 | 0,0697 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0220 | 3,22 | 0,612 | 0,520 | 0,739 | 0,0708 | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0227 | 3,20 | 0,632 | 0,537 | 0,727 | 0,0720 | | | | | | | | | | | | | |

$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

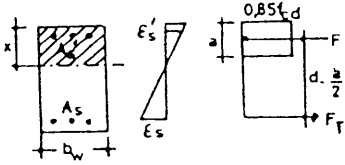
$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$A'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

- Şehim kontrolü gerekmeyen sınır
- Deprem bölgesi sınırı
- Düktil davranış sınırı

ÇİZELGE 5.4

C 16/S 220



$$f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$K = b_w d^2 / M$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; k_x = k_a / 0,85$$

BİRİMLER

Moment : kNcm²

Mukavemet : kN/cm

Uzunluk : cm

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$

| ρ | K | k_x | k_a | k_z | k_s | Baskın donatısı σ'_s gerilmesi | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------------------------|-------|------|-------|------|-------|------|--|--|--|--|--|
| | | | | | | z/d | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,875 | 0,90 | 0,925 | 0,95 | | | | | |
| 0,0010 | 52,90 | 0,024 | 0,020 | 0,990 | 0,0529 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0020 | 26,73 | 0,048 | 0,041 | 0,980 | 0,0534 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0030 | 18,01 | 0,072 | 0,061 | 0,969 | 0,0540 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0040 | 13,65 | 0,096 | 0,082 | 0,959 | 0,0546 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0050 | 11,04 | 0,120 | 0,102 | 0,949 | 0,0552 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0060 | 9,30 | 0,144 | 0,123 | 0,939 | 0,0558 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0070 | 8,06 | 0,168 | 0,143 | 0,928 | 0,0564 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0080 | 7,13 | 0,192 | 0,163 | 0,918 | 0,0570 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0090 | 6,41 | 0,216 | 0,184 | 0,908 | 0,0577 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0100 | 5,83 | 0,240 | 0,204 | 0,898 | 0,0583 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0110 | 5,36 | 0,264 | 0,225 | 0,887 | 0,0590 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0120 | 4,97 | 0,288 | 0,245 | 0,877 | 0,0597 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0130 | 4,65 | 0,312 | 0,266 | 0,867 | 0,0604 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0135 | 4,49 | 0,324 | 0,276 | 0,862 | 0,0607 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0140 | 4,37 | 0,336 | 0,286 | 0,857 | 0,0611 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0150 | 4,12 | 0,360 | 0,306 | 0,846 | 0,0619 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0160 | 3,91 | 0,385 | 0,327 | 0,836 | 0,0626 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0170 | 3,73 | 0,409 | 0,347 | 0,826 | 0,0634 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0180 | 3,57 | 0,433 | 0,368 | 0,816 | 0,0642 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0189 | 3,44 | 0,454 | 0,386 | 0,806 | 0,0650 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0190 | 3,42 | 0,457 | 0,388 | 0,805 | 0,0650 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0200 | 3,29 | 0,481 | 0,409 | 0,795 | 0,0658 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0210 | 3,18 | 0,505 | 0,429 | 0,785 | 0,0667 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0220 | 3,07 | 0,529 | 0,449 | 0,775 | 0,0676 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0230 | 2,98 | 0,553 | 0,470 | 0,764 | 0,0685 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0240 | 2,89 | 0,577 | 0,490 | 0,754 | 0,0694 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0250 | 2,82 | 0,601 | 0,511 | 0,744 | 0,0704 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0260 | 2,74 | 0,625 | 0,531 | 0,734 | 0,0714 | | | | | | | | | | | | |
| 0,0268 | 2,69 | 0,644 | 0,548 | 0,727 | 0,0720 | | | | | | | | | | | | |

$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$A'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

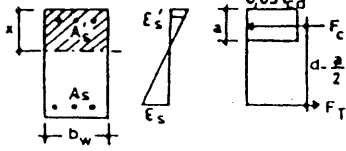
----- Şehim kontrolü gerekmeyen sınır

----- Deprem bölgesi sınırı

----- Düktil davranış sınırı

ÇİZELGE 5.5

C 20/S 220



$f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2$
 $f_{cd} = 1,3 \text{ kN/cm}^2$
BİRİMLER
 Moment : kNcm
 Mukavemet: kN/cm²
 Uzunluk : cm

$$k = b_w d^2 / M, \quad k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; \quad k_x = k_a / 0,85$$

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

| ρ | K | k_x | k_a | k_z | k_s | Basınç donatısı σ'_s gerilmesi | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------------------------|-------|------|-------|------|-------|------|--|--|--|--|--|
| | | | | | | z/d | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0.80 | 0.825 | 0.85 | 0.875 | 0.90 | 0.925 | 0.95 | | | | | |
| 0.0010 | 52.81 | 0.020 | 0.017 | 0.991 | 0.0528 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0020 | 26.64 | 0.041 | 0.035 | 0.983 | 0.0533 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0030 | 17.92 | 0.061 | 0.052 | 0.974 | 0.0538 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0040 | 13.56 | 0.081 | 0.069 | 0.965 | 0.0542 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0050 | 10.95 | 0.102 | 0.086 | 0.957 | 0.0547 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0060 | 9.20 | 0.122 | 0.104 | 0.948 | 0.0552 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0070 | 7.96 | 0.142 | 0.121 | 0.939 | 0.0557 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0080 | 7.03 | 0.163 | 0.138 | 0.931 | 0.0563 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0090 | 6.31 | 0.183 | 0.156 | 0.922 | 0.0568 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0100 | 5.73 | 0.203 | 0.173 | 0.913 | 0.0573 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0110 | 5.26 | 0.224 | 0.190 | 0.905 | 0.0579 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0120 | 4.87 | 0.244 | 0.207 | 0.896 | 0.0584 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0130 | 4.54 | 0.264 | 0.225 | 0.887 | 0.0590 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0140 | 4.26 | 0.285 | 0.242 | 0.879 | 0.0596 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0150 | 4.01 | 0.305 | 0.259 | 0.870 | 0.0602 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0160 | 3.80 | 0.325 | 0.277 | 0.861 | 0.0608 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0170 | 3.61 | 0.345 | 0.294 | 0.853 | 0.0614 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0180 | 3.45 | 0.366 | 0.311 | 0.844 | 0.0620 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0190 | 3.30 | 0.386 | 0.328 | 0.835 | 0.0627 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0200 | 3.17 | 0.407 | 0.346 | 0.827 | 0.0633 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0210 | 3.05 | 0.427 | 0.363 | 0.818 | 0.0640 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0220 | 2.94 | 0.447 | 0.380 | 0.809 | 0.0647 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0224 | 2.90 | 0.456 | 0.387 | 0.806 | 0.0650 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0230 | 2.84 | 0.468 | 0.398 | 0.801 | 0.0654 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0240 | 2.75 | 0.488 | 0.415 | 0.792 | 0.0661 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0250 | 2.67 | 0.508 | 0.432 | 0.783 | 0.0668 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0260 | 2.60 | 0.529 | 0.449 | 0.775 | 0.0676 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0270 | 2.53 | 0.549 | 0.467 | 0.766 | 0.0684 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0280 | 2.47 | 0.569 | 0.484 | 0.757 | 0.0691 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0290 | 2.41 | 0.590 | 0.501 | 0.749 | 0.0699 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0300 | 2.36 | 0.610 | 0.519 | 0.740 | 0.0708 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0310 | 2.31 | 0.630 | 0.536 | 0.731 | 0.0716 | | | | | | | | | | | | |
| 0.0317 | 2.28 | 0.645 | 0.548 | 0.727 | 0.0720 | | | | | | | | | | | | |

İMO İst. Sb.
Kütüphanesi

$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

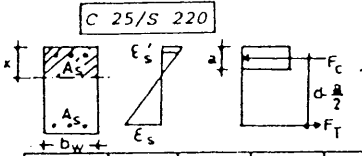
Çift donatılı kesitlerde:

$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$A'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

- Sehim kontrolü gerekmeyen sınır
- - - - - Deprem bölgesi sınırı
- - - - - Düktil davranış sınırı

CİZİMİCE 5.6



$$f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$

BİRİMLER

Moment : kNcm²

Mukavemet : kN/cm²

Uzunluk : cm

$$K = b_w d^2 / M$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; k_x = k_a / 0,85$$

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$

| ρ | K | k _x | k _a | k _z | k _s | Basınç donatısı σ' _s gerilmesi | | | | | | | | | | |
|--------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|-------|------|-------|------|-------|------|--|--|--|--|
| | | | | | | z/d | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,875 | 0,90 | 0,925 | 0,95 | | | | |
| 0,0010 | 52,71 | 0,016 | 0,013 | 0,993 | 0,0527 | | | | | | | | | | | |
| 0,0020 | 26,53 | 0,031 | 0,026 | 0,987 | 0,0531 | | | | | | | | | | | |
| 0,0030 | 17,81 | 0,047 | 0,040 | 0,980 | 0,0534 | | | | | | | | | | | |
| 0,0040 | 13,45 | 0,062 | 0,053 | 0,973 | 0,0538 | | | | | | | | | | | |
| 0,0050 | 10,83 | 0,078 | 0,066 | 0,967 | 0,0542 | | | | | | | | | | | |
| 0,0060 | 9,09 | 0,093 | 0,079 | 0,960 | 0,0546 | | | | | | | | | | | |
| 0,0070 | 7,84 | 0,109 | 0,093 | 0,954 | 0,0549 | | | | | | | | | | | |
| 0,0080 | 6,91 | 0,124 | 0,106 | 0,947 | 0,0553 | | | | | | | | | | | |
| 0,0090 | 6,19 | 0,140 | 0,119 | 0,940 | 0,0557 | | | | | | | | | | | |
| 0,0100 | 5,61 | 0,156 | 0,132 | 0,934 | 0,0561 | | | | | | | | | | | |
| 0,0110 | 5,13 | 0,171 | 0,145 | 0,927 | 0,0565 | | | | | | | | | | | |
| 0,0120 | 4,74 | 0,187 | 0,159 | 0,920 | 0,0569 | | | | | | | | | | | |
| 0,0130 | 4,41 | 0,202 | 0,172 | 0,914 | 0,0573 | | | | | | | | | | | |
| 0,0140 | 4,12 | 0,218 | 0,185 | 0,907 | 0,0577 | | | | | | | | | | | |
| 0,0150 | 3,88 | 0,233 | 0,198 | 0,901 | 0,0581 | | | | | | | | | | | |
| 0,0160 | 3,66 | 0,249 | 0,211 | 0,894 | 0,0586 | | | | | | | | | | | |
| 0,0170 | 3,47 | 0,264 | 0,225 | 0,887 | 0,0590 | | | | | | | | | | | |
| 0,0180 | 3,30 | 0,280 | 0,238 | 0,881 | 0,0594 | | | | | | | | | | | |
| 0,0190 | 3,15 | 0,295 | 0,251 | 0,874 | 0,0599 | | | | | | | | | | | |
| 0,0200 | 3,02 | 0,311 | 0,264 | 0,867 | 0,0604 | | | | | | | | | | | |
| 0,0209 | 2,91 | 0,325 | 0,276 | 0,862 | 0,0607 | | | | | | | | | | | |
| 0,0210 | 2,90 | 0,327 | 0,278 | 0,861 | 0,0608 | | | | | | | | | | | |
| 0,0220 | 2,79 | 0,342 | 0,291 | 0,854 | 0,0613 | | | | | | | | | | | |
| 0,0230 | 2,69 | 0,358 | 0,304 | 0,848 | 0,0618 | | | | | | | | | | | |
| 0,0240 | 2,59 | 0,373 | 0,317 | 0,841 | 0,0623 | | | | | | | | | | | |
| 0,0250 | 2,51 | 0,389 | 0,330 | 0,834 | 0,0628 | | | | | | | | | | | |
| 0,0260 | 2,43 | 0,404 | 0,344 | 0,828 | 0,0633 | | | | | | | | | | | |
| 0,0270 | 2,36 | 0,420 | 0,357 | 0,821 | 0,0638 | | | | | | | | | | | |
| 0,0280 | 2,30 | 0,435 | 0,370 | 0,814 | 0,0643 | | | | | | | | | | | |
| 0,0290 | 2,24 | 0,451 | 0,383 | 0,808 | 0,0648 | | | | | | | | | | | |
| 0,0293 | 2,22 | 0,456 | 0,387 | 0,806 | 0,0650 | | | | | | | | | | | |
| 0,0300 | 2,18 | 0,467 | 0,397 | 0,801 | 0,0654 | | | | | | | | | | | |
| 0,0310 | 2,13 | 0,482 | 0,410 | 0,795 | 0,0659 | | | | | | | | | | | |
| 0,0320 | 2,08 | 0,498 | 0,423 | 0,788 | 0,0665 | | | | | | | | | | | |
| 0,0330 | 2,03 | 0,513 | 0,436 | 0,781 | 0,0670 | | | | | | | | | | | |
| 0,0340 | 1,99 | 0,529 | 0,449 | 0,775 | 0,0676 | | | | | | | | | | | |
| 0,0350 | 1,95 | 0,544 | 0,463 | 0,768 | 0,0682 | | | | | | | | | | | |
| 0,0360 | 1,91 | 0,560 | 0,476 | 0,761 | 0,0688 | | | | | | | | | | | |
| 0,0370 | 1,87 | 0,575 | 0,489 | 0,755 | 0,0694 | | | | | | | | | | | |
| 0,0380 | 1,84 | 0,591 | 0,502 | 0,748 | 0,0700 | | | | | | | | | | | |
| 0,0390 | 1,81 | 0,606 | 0,516 | 0,741 | 0,0706 | | | | | | | | | | | |
| 0,0400 | 1,78 | 0,622 | 0,529 | 0,735 | 0,0712 | | | | | | | | | | | |
| 0,0410 | 1,75 | 0,638 | 0,542 | 0,728 | 0,0719 | | | | | | | | | | | |
| 0,0415 | 1,74 | 0,645 | 0,549 | 0,727 | 0,0720 | | | | | | | | | | | |

$$\sigma_s = f_{yd} = -19,1$$

$$\sigma'_s = f_{yd} = 19,1$$

$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$A'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

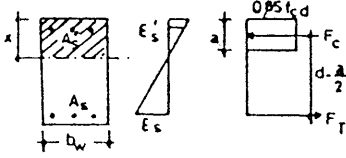
----- Şehim kontrolü gerekmeyen sınır

----- Deprem bölgesi sınırı

----- Düktil davranış sınırı

CİZELGE 5.7

C 14/S 420



$$f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 0,95 \text{ kN/cm}^2$$

$$K = b_w d^2 / M$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} ; k_x = k_a / 0,85$$

BİRİMLER

Moment : kNcm

Mukavemet: kN/cm²

Uzunluk : cm

$$k_z = 1 - 0,59\rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$

| ρ | K | k | k _a | k _z | k _s | Basınç donatısı σ' _s girilmesi | | | | | | |
|--------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|---|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | | | z/d | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,875 | 0,90 | 0,925 | 0,95 |
| 0,0010 | 28,03 | 0,053 | 0,045 | 0,977 | 0,0280 | σ' _s = f _{yd} = -36,5 | | | | | | |
| 0,0015 | 18,91 | 0,080 | 0,068 | 0,966 | 0,0284 | σ' _s = f _{yd} = -36,5 | | | | | | |
| 0,0020 | 14,35 | 0,106 | 0,090 | 0,955 | 0,0287 | σ' _s = f _{yd} = -36,5 | | | | | | |
| 0,0025 | 11,62 | 0,133 | 0,113 | 0,943 | 0,0290 | -30,3 | -19,0 | -7,7 | 3,6 | 14,9 | 26,2 | 36,5 |
| 0,0030 | 9,80 | 0,160 | 0,136 | 0,932 | 0,0294 | -15,0 | -5,6 | 3,8 | 13,1 | 22,5 | 31,9 | 36,5 |
| 0,0035 | 8,50 | 0,186 | 0,158 | 0,921 | 0,0298 | -4,6 | 3,5 | 11,6 | 19,7 | 27,7 | 35,8 | 36,5 |
| 0,0040 | 7,53 | 0,213 | 0,181 | 0,909 | 0,0301 | 3,6 | 10,7 | 17,7 | 24,8 | 31,8 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0045 | 6,78 | 0,239 | 0,203 | 0,898 | 0,0305 | 9,8 | 16,0 | 22,3 | 28,6 | 34,9 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0050 | 6,18 | 0,266 | 0,226 | 0,887 | 0,0309 | 14,9 | 20,5 | 26,2 | 31,8 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0055 | 5,69 | 0,292 | 0,249 | 0,875 | 0,0313 | 19,0 | 24,2 | 29,3 | 34,4 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0060 | 5,29 | 0,319 | 0,271 | 0,864 | 0,0317 | 22,4 | 27,1 | 31,8 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0061 | 5,30 | 0,324 | 0,276 | 0,862 | 0,0318 | 23,0 | 27,7 | 32,3 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0065 | 4,94 | 0,346 | 0,294 | 0,853 | 0,0321 | 25,3 | 29,6 | 34,0 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0069 | 4,72 | 0,367 | 0,312 | 0,841 | 0,0326 | 27,3 | 31,4 | 35,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0070 | 4,65 | 0,372 | 0,316 | 0,841 | 0,0326 | 27,7 | 31,8 | 35,8 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0075 | 4,40 | 0,399 | 0,339 | 0,830 | 0,0330 | 29,9 | 33,7 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0080 | 4,18 | 0,425 | 0,362 | 0,819 | 0,0335 | 31,8 | 35,3 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0085 | 3,99 | 0,452 | 0,384 | 0,807 | 0,0339 | 33,4 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0090 | 3,82 | 0,479 | 0,407 | 0,796 | 0,0344 | 34,9 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0095 | 3,68 | 0,505 | 0,429 | 0,785 | 0,0349 | 36,2 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |
| 0,0098 | 3,60 | 0,521 | 0,443 | 0,776 | 0,0353 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 | 36,5 |

$$\sigma'_s = f_{yd} = 36,5$$

$$\lambda_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

$$\lambda_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$\lambda'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

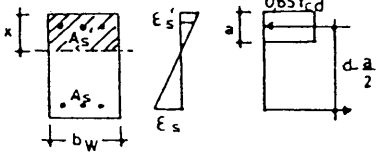
————— Sehim kontrolü gerekmeyen sınır

- - - - - Deprem bölgesi sınırı

- - - - - Düktil davranış sınırı

ÇİZELGE 5.8

C 16/S 420



$$f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$K = b_w d^2 / M$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} ; k_x = k_a / 0,85$$

BİRİMLER

Moment : kNcm

Mukavemet: kN/cm²

Uzunluk : cm

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$

| ρ | K | k _x | k _a | k _z | k _s | Basınç donatısı σ' _s gerilmesi | | | | | | | |
|--------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|-------|-------|-------|------|-------|------|--|
| | | | | | | z/d | | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,825 | 0,90 | 0,925 | 0,95 | |
| 0,0010 | 27,94 | 0,046 | 0,039 | 0,980 | 0,0279 | σ' _s = f _{yd} = -36,5 | | | | | | | |
| 0,0015 | 18,82 | 0,069 | 0,059 | 0,971 | 0,0282 | -36,5 | | | | | | | |
| 0,0020 | 14,26 | 0,092 | 0,078 | 0,961 | 0,0285 | -36,5 | | | | | | | |
| 0,0025 | 11,52 | 0,115 | 0,098 | 0,951 | 0,0288 | -36,5 | -31,1 | -18,1 | -5,1 | 8,0 | 21,0 | 34,0 | |
| 0,0030 | 9,70 | 0,138 | 0,117 | 0,941 | 0,0291 | -27,2 | -16,3 | -5,4 | 5,5 | 16,4 | 27,3 | 36,5 | |
| 0,0035 | 8,40 | 0,161 | 0,137 | 0,932 | 0,0294 | -14,5 | -5,1 | 4,2 | 13,5 | 22,8 | 32,1 | | |
| 0,0040 | 7,43 | 0,184 | 0,156 | 0,922 | 0,0297 | -5,4 | 2,8 | 11,0 | 19,1 | 27,3 | 35,5 | | |
| 0,0045 | 6,68 | 0,207 | 0,176 | 0,912 | 0,0300 | 2,0 | 9,3 | 16,5 | 23,8 | 31,0 | 36,5 | | |
| 0,0050 | 6,07 | 0,230 | 0,195 | 0,902 | 0,0304 | 7,7 | 14,2 | 20,8 | 27,3 | 33,8 | | | |
| 0,0055 | 5,58 | 0,253 | 0,215 | 0,892 | 0,0307 | 12,6 | 18,5 | 24,4 | 30,3 | 36,3 | | | |
| 0,0060 | 5,17 | 0,276 | 0,234 | 0,883 | 0,0310 | 16,4 | 21,9 | 27,3 | 32,8 | 36,5 | | | |
| 0,0065 | 4,83 | 0,299 | 0,254 | 0,873 | 0,0314 | 19,8 | 24,9 | 29,9 | 34,9 | | | | |
| 0,0070 | 4,54 | 0,321 | 0,273 | 0,863 | 0,0317 | 22,6 | 27,3 | 32,0 | 36,5 | | | | |
| 0,0071 | 4,49 | 0,326 | 0,277 | 0,862 | 0,0318 | 23,3 | 27,8 | 32,4 | | | | | |
| 0,0075 | 4,28 | 0,344 | 0,293 | 0,853 | 0,0321 | 25,2 | 29,5 | 33,9 | | | | | |
| 0,0080 | 4,06 | 0,367 | 0,312 | 0,843 | 0,0325 | 27,3 | 31,4 | 35,5 | | | | | |
| 0,0081 | 4,02 | 0,372 | 0,316 | 0,841 | 0,0326 | 27,7 | 31,8 | 35,8 | | | | | |
| 0,0085 | 3,87 | 0,390 | 0,332 | 0,833 | 0,0329 | 29,3 | 33,1 | 36,5 | | | | | |
| 0,0090 | 3,70 | 0,413 | 0,351 | 0,824 | 0,0333 | 30,9 | 34,6 | | | | | | |
| 0,0095 | 3,54 | 0,436 | 0,371 | 0,814 | 0,0337 | 32,5 | 35,9 | | | | | | |
| 0,0100 | 3,41 | 0,459 | 0,390 | 0,804 | 0,0341 | 33,8 | 36,5 | | | | | | |
| 0,0105 | 3,28 | 0,482 | 0,410 | 0,794 | 0,0345 | 35,1 | | | | | | | |
| 0,0110 | 3,17 | 0,505 | 0,429 | 0,785 | 0,0349 | 36,2 | | | | | | | |
| 0,0115 | 3,07 | 0,528 | 0,449 | 0,775 | 0,0354 | 36,5 | | | | | | | |

$$\sigma'_s = f_{yd} = 36,5$$

- Şehim kontrolü gerekmeyen sınır
- - - - - Deprem bölgesi sınırı
- - - - - Düktil davranış sınırı

$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$A'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

ÇİZELGE 5.9

C 20/S 420

$$f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

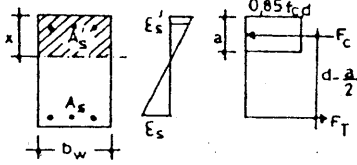
$$f_{cd} = 1,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = b_w d^2 / M$$

$$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} ; k_x = k_a / 0,85$$

$$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$k_s = 1 / (k_z f_{yd})$$



BİRİMLER
Moment : kNcm²
Mukavemet: kN/cm²
Uzunluk : cm

| ρ | K | k_x | k_a | k_z | k_s | Basınç donatısı σ'_s gerilmesi | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | | | | | | $\frac{\sigma'_s}{f_{yd}}$ | | | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,875 | 0,90 | 0,925 | 0,95 | | |
| 0,0010 | 27,86 | 0,039 | 0,033 | 0,983 | 0,0279 | | | | | | | -36,5 | -17,3 | |
| 0,0015 | 18,73 | 0,058 | 0,050 | 0,975 | 0,0281 | | | | | | | -36,5 | -16,5 | 9,0 |
| 0,0020 | 14,17 | 0,078 | 0,066 | 0,967 | 0,0283 | | | | | | | -36,5 | -17,3 | 21,4 |
| 0,0025 | 11,43 | 0,097 | 0,083 | 0,959 | 0,0286 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | 29,3 |
| 0,0030 | 9,61 | 0,117 | 0,099 | 0,950 | 0,0288 | | | | | | | -36,5 | -17,3 | 34,2 |
| 0,0035 | 8,31 | 0,136 | 0,116 | 0,942 | 0,0291 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | 36,5 |
| 0,0040 | 7,34 | 0,155 | 0,132 | 0,934 | 0,0293 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0045 | 6,58 | 0,175 | 0,149 | 0,925 | 0,0296 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0050 | 5,97 | 0,194 | 0,165 | 0,917 | 0,0299 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0055 | 5,48 | 0,214 | 0,182 | 0,909 | 0,0301 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0060 | 5,07 | 0,233 | 0,198 | 0,901 | 0,0304 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0065 | 4,72 | 0,263 | 0,215 | 0,892 | 0,0307 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0070 | 4,43 | 0,272 | 0,231 | 0,884 | 0,0310 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0075 | 4,17 | 0,291 | 0,248 | 0,876 | 0,0313 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0080 | 3,95 | 0,311 | 0,264 | 0,867 | 0,0316 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0084 | 3,80 | 0,326 | 0,277 | 0,862 | 0,0318 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0085 | 3,75 | 0,330 | 0,281 | 0,859 | 0,0319 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0090 | 3,58 | 0,350 | 0,297 | 0,851 | 0,0322 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0095 | 3,42 | 0,369 | 0,314 | 0,843 | 0,0325 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0096 | 3,39 | 0,373 | 0,317 | 0,841 | 0,0326 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0100 | 3,28 | 0,383 | 0,330 | 0,834 | 0,0328 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0105 | 3,16 | 0,408 | 0,347 | 0,826 | 0,0332 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0110 | 3,05 | 0,427 | 0,363 | 0,818 | 0,0335 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0115 | 2,94 | 0,447 | 0,380 | 0,809 | 0,0338 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0120 | 2,85 | 0,466 | 0,396 | 0,801 | 0,0341 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0125 | 2,76 | 0,486 | 0,413 | 0,793 | 0,0346 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0130 | 2,69 | 0,505 | 0,429 | 0,785 | 0,0349 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0135 | 2,61 | 0,525 | 0,446 | 0,776 | 0,0353 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |
| 0,0136 | 2,60 | 0,529 | 0,449 | 0,776 | 0,0353 | | | | | | | -36,5 | -16,8 | |

$$\sigma'_s = f_{yd} = 36,5$$

- Schim kontrolü gerekmeyen sınıır
- - - - - Deprem bölgesi sınıırı
- - - - - Düktil davranış sınıırı

$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

$$A_s' = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

ÇİZELGE 5.10

C 25/S 420

$f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$
 $f_{cd} = 1,7 \text{ kN/cm}^2$

$k = b_w d^2 / M$

$k_a = \frac{\rho}{0,85} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; k_x = k_a / 0,85$

BİRİMLER

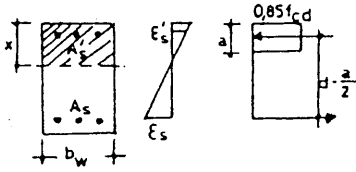
Moment : kNcm

Mukavemet: kN/cm²

Uzunluk : cm

$k_z = 1 - 0,59 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$

$k_s = 1 / (k_z f_{yd})$



| ρ | K | k_x | k_a | k_z | k_s | Baskın donatısı σ'_s gerilmesi | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------------------------|-------|------|-------|------|-------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | z/d | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0,80 | 0,825 | 0,85 | 0,875 | 0,90 | 0,925 | 0,95 | | | | | | | | |
| 0,0010 | 27,75 | 0,030 | 0,025 | 0,987 | 0,0277 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0015 | 18,62 | 0,045 | 0,038 | 0,981 | 0,0279 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0020 | 14,05 | 0,059 | 0,051 | 0,975 | 0,0281 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0025 | 11,32 | 0,074 | 0,063 | 0,968 | 0,0283 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0030 | 9,49 | 0,089 | 0,076 | 0,962 | 0,0285 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0035 | 8,19 | 0,104 | 0,088 | 0,956 | 0,0287 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0040 | 7,21 | 0,119 | 0,101 | 0,949 | 0,0289 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0045 | 6,46 | 0,134 | 0,114 | 0,943 | 0,0291 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0050 | 5,85 | 0,149 | 0,126 | 0,937 | 0,0292 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0055 | 5,35 | 0,163 | 0,139 | 0,930 | 0,0294 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0060 | 4,94 | 0,178 | 0,152 | 0,924 | 0,0297 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0065 | 4,59 | 0,193 | 0,164 | 0,918 | 0,0299 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0070 | 4,29 | 0,208 | 0,177 | 0,911 | 0,0301 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0075 | 4,04 | 0,223 | 0,189 | 0,905 | 0,0303 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0080 | 3,81 | 0,238 | 0,202 | 0,899 | 0,0305 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0085 | 3,61 | 0,253 | 0,215 | 0,892 | 0,0307 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0090 | 3,44 | 0,267 | 0,227 | 0,886 | 0,0309 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0095 | 3,28 | 0,282 | 0,240 | 0,880 | 0,0311 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0100 | 3,14 | 0,297 | 0,253 | 0,873 | 0,0314 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0109 | 2,91 | 0,324 | 0,275 | 0,862 | 0,0318 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0110 | 2,89 | 0,327 | 0,278 | 0,861 | 0,0318 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0115 | 2,79 | 0,342 | 0,290 | 0,854 | 0,0321 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0120 | 2,69 | 0,357 | 0,303 | 0,848 | 0,0323 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0125 | 2,60 | 0,371 | 0,316 | 0,842 | 0,0326 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0126 | 2,58 | 0,374 | 0,318 | 0,841 | 0,0326 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0130 | 2,52 | 0,386 | 0,328 | 0,835 | 0,0328 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0135 | 2,45 | 0,401 | 0,341 | 0,829 | 0,0330 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0140 | 2,38 | 0,416 | 0,354 | 0,823 | 0,0333 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0145 | 2,31 | 0,431 | 0,366 | 0,816 | 0,0336 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0150 | 2,25 | 0,446 | 0,379 | 0,810 | 0,0338 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0155 | 2,20 | 0,461 | 0,392 | 0,804 | 0,0341 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0160 | 2,15 | 0,475 | 0,404 | 0,797 | 0,0344 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0165 | 2,10 | 0,490 | 0,417 | 0,791 | 0,0346 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0170 | 2,05 | 0,505 | 0,429 | 0,785 | 0,0349 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0175 | 2,01 | 0,520 | 0,442 | 0,778 | 0,0352 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,0178 | 1,99 | 0,529 | 0,450 | 0,776 | 0,0353 | | | | | | | | | | | | | | | |

- Şehir kontrolü gerekmeyen sınır
- Deprem bölgesi sınırı
- Duktıl davranış sınırı

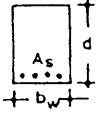
$$A_s = \frac{M_d}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$$

Çift donatılı kesitlerde:

$$A_s = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} + \frac{M_d - M_1}{z_s f_{yd}}$$

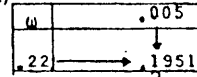
$$A'_s = \frac{M_d - M_1}{z_s \sigma'_s}$$

Çizelge 5.11 BASİT EĞİLME ETKİSİNDE TEK DONATILI DİT DÖRTGEN KESİTLER
(Her tür beton ve çelik için)



$$\omega = \rho f_{yd} / f_{cd}, \quad \rho = A_s / b_w d$$

$$m = M_d / f_{cd} b_w d^2 = \omega (1 - 0,59\omega), \quad \omega = 0,225 \text{ için } m_d / f_{cd} b_w d^2 = 1,951$$



| ω | .000 | .001 | .002 | .003 | .004 | .005 | .006 | .007 | .008 | .009 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| .0 | .0 | .0010 | .0020 | .0030 | .0040 | .0050 | .0060 | .0070 | .0080 | .0090 |
| .01 | .0099 | .0109 | .0119 | .0129 | .0139 | .0149 | .0159 | .0168 | .0178 | .0188 |
| .02 | .0197 | .0207 | .0217 | .0226 | .0236 | .0246 | .0256 | .0266 | .0275 | .0285 |
| .03 | .0295 | .0304 | .0314 | .0324 | .0333 | .0343 | .0352 | .0362 | .0372 | .0381 |
| .04 | .0391 | .0400 | .0410 | .0420 | .0429 | .0438 | .0448 | .0457 | .0467 | .0476 |
| .05 | .0485 | .0495 | .0504 | .0513 | .0523 | .0532 | .0541 | .0551 | .0560 | .0569 |
| .06 | .0579 | .0588 | .0597 | .0607 | .0616 | .0625 | .0634 | .0643 | .0653 | .0662 |
| .07 | .0671 | .0680 | .0689 | .0699 | .0708 | .0717 | .0726 | .0735 | .0744 | .0753 |
| .08 | .0762 | .0771 | .0780 | .0789 | .0798 | .0807 | .0816 | .0825 | .0834 | .0843 |
| .09 | .0852 | .0861 | .0870 | .0879 | .0888 | .0897 | .0906 | .0915 | .0923 | .0932 |
| .10 | .0941 | .0950 | .0967 | .0967 | .0976 | .0985 | .0994 | .1002 | .1011 | .1020 |
| .11 | .1029 | .1037 | .1046 | .1055 | .1063 | .1072 | .1081 | .1089 | .1098 | .1106 |
| .12 | .1115 | .1124 | .1133 | .1141 | .1149 | .1158 | .1166 | .1175 | .1183 | .1192 |
| .13 | .1200 | .1209 | .1217 | .1226 | .1234 | .1243 | .1251 | .1259 | .1268 | .1276 |
| .14 | .1284 | .1293 | .1301 | .1309 | .1318 | .1326 | .1334 | .1342 | .1351 | .1359 |
| .15 | .1367 | .1375 | .1384 | .1392 | .1400 | .1408 | .1416 | .1425 | .1433 | .1441 |
| .16 | .1449 | .1457 | .1465 | .1473 | .1481 | .1489 | .1497 | .1506 | .1514 | .1522 |
| .17 | .1529 | .1537 | .1545 | .1553 | .1561 | .1569 | .1577 | .1585 | .1593 | .1601 |
| .18 | .1609 | .1617 | .1624 | .1632 | .1640 | .1648 | .1656 | .1664 | .1671 | .1679 |
| .19 | .1687 | .1695 | .1703 | .1710 | .1718 | .1726 | .1733 | .1741 | .1749 | .1756 |
| .20 | .1764 | .1772 | .1779 | .1787 | .1794 | .1802 | .1810 | .1817 | .1825 | .1832 |
| .21 | .1840 | .1847 | .1855 | .1862 | .1870 | .1877 | .1885 | .1892 | .1900 | .1907 |
| .22 | .1914 | .1922 | .1929 | .1937 | .1944 | .1951 | .1959 | .1966 | .1973 | .1981 |
| .23 | .1988 | .1995 | .2002 | .2010 | .2017 | .2024 | .2031 | .2039 | .2046 | .2053 |
| .24 | .2060 | .2067 | .2075 | .2082 | .2089 | .2096 | .2103 | .2110 | .2117 | .2124 |
| .25 | .2131 | .2138 | .2145 | .2152 | .2159 | .2166 | .2173 | .2180 | .2187 | .2194 |
| .26 | .2201 | .2208 | .2215 | .2222 | .2229 | .2236 | .2243 | .2249 | .2256 | .2263 |
| .27 | .2270 | .2277 | .2284 | .2290 | .2297 | .2304 | .2311 | .2317 | .2324 | .2331 |
| .28 | .2337 | .2344 | .2351 | .2357 | .2364 | .2371 | .2377 | .2384 | .2391 | .2397 |
| .29 | .2404 | .2410 | .2417 | .2423 | .2430 | .2437 | .2443 | .2450 | .2456 | .2463 |
| .30 | .2469 | .2475 | .2482 | .2488 | .2495 | .2501 | .2508 | .2514 | .2520 | .2527 |
| .31 | .2533 | .2539 | .2546 | .2552 | .2558 | .2565 | .2571 | .2577 | .2583 | .2590 |
| .32 | .2596 | .2602 | .2608 | .2614 | .2621 | .2627 | .2633 | .2639 | .2645 | .2651 |
| .33 | .2657 | .2664 | .2670 | .2676 | .2682 | .2688 | .2694 | .2700 | .2706 | .2712 |
| .34 | .2718 | .2724 | .2730 | .2736 | .2742 | .2748 | .2754 | .2760 | .2766 | .2771 |
| .35 | .2777 | .2783 | .2789 | .2795 | .2801 | .2807 | .2812 | .2818 | .2824 | .2830 |
| .36 | .2835 | .2841 | .2847 | .2853 | .2858 | .2864 | .2870 | .2875 | .2881 | .2887 |
| .37 | .2892 | .2898 | .2904 | .2909 | .2915 | .2920 | .2926 | .2931 | .2937 | .2943 |
| .38 | .2948 | .2954 | .2959 | .2965 | .2970 | .2975 | .2981 | .2986 | .2992 | .2997 |
| .39 | .3003 | .3008 | .3013 | .3019 | .3024 | .3029 | .3035 | .3040 | .3045 | .3051 |
| .40 | .3056 | .3061 | .3067 | .3072 | .3077 | .3082 | .3087 | .3093 | .3098 | .3103 |
| .41 | .3108 | .3113 | .3119 | .3124 | .3129 | .3134 | .3139 | .3144 | .3149 | .3154 |
| .42 | .3159 | .3164 | .3169 | .3174 | .3179 | .3184 | .3189 | .3194 | .3199 | .3204 |
| .43 | .3209 | .3214 | .3219 | .3224 | .3229 | .3234 | .3238 | .3243 | .3248 | .3253 |
| .44 | .3258 | .3263 | .3267 | .3272 | .3277 | .3282 | .3286 | .3291 | .3296 | .3301 |
| .45 | .3305 | .3310 | .3315 | .3319 | .3324 | .3329 | .3333 | .3338 | .3342 | .3347 |
| .46 | .3352 | .3356 | .3361 | .3365 | .3370 | .3374 | .3379 | | | |

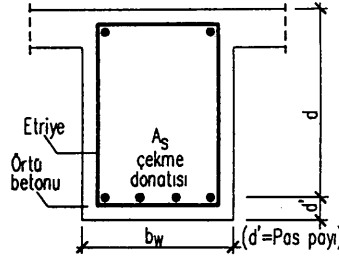
Normal betonlar için:

- S 220 çeliği için $\rho < \rho_{max}$ sınırı. $\omega_{max} = 0,466$
- S 420 çeliği için $\rho < \rho_{max}$ sınırı. $\omega_{max} = 0,382$
- S 500 çeliği için $\rho < \rho_{max}$ sınırı. $\omega_{max} = 0,356$
- Şahim tahkiki gerekmeyen sınır çizgisi

$$\omega_{min} = \frac{1,2}{f_{cd}}$$

5.1.2.4. Hesap yoluyla yada çizelgeler yardımıyla kesit boyutlarının ve donatısının bulunması

Kesit mukavemeti için önemli olan büyüklüğün, kesit yüksekliği (h) değil (d) olduğu açıktır; " d " için kullanılan etkili derinlik ya da faydalı yükseklik deyimleri de bunu ifade etmektedir. Gerçekten de, betonun çekme mukavemeti yok sayıldığına göre, beton çekme bölgesinin şekli ve uzunluğu hiç önem taşımaz. Önemli olan çekme donatısının yeridir. Çekme donatısı, olabildiğince, çekme yüzüne yakın yerleştirilir; böylece hem moment kolu büyür, hem de donatı maksimum birim deformasyon bölgesine yakın yerleştirildiğinden akma gerilmesine kolayca ulaşır ve tam kapasite ile çalışır; kısaca donatının etkinliği artar. Donatının çekme yüzüne yakınlığını örtü betonu kalınlığı belirler. Örtü betonu donatıyı paslanmaktan koruyacak ve çelikle beton arasında aderansı sağlayacak, yapıya öngörülen yangın dayanımı sınıfını belirleyecek kalınlıkta olmalıdır. TS-500/2000'e göre, kirişlerde minimum beton örtü kalınlığı, özel yapılar hariç, içteki elemanlarda 2,0 cm'den, dıştaki elemanlarda 2,5 cm'den az olmamalıdır.



Şekil 5.4 Kirişlerde pas payı

Şekil 5.4'den görüldüğü gibi; çekme donatısı ağırlık merkezinin çekme yüzüne uzaklığı (d') ile gösterilir ve "pas payı" olarak adlandırılır. Kesit yüksekliği ile etkili derinlik arasında:

$$h = d + d' \quad (5.41)$$

bağıntısı vardır. Pas payı, tek sıralı çekme donatısı hâlinde; örtü betonun kalınlığı, etriye çapı ve çekme donatısı yarıçapının toplamına eşittir.

$$d' = 2,5 \text{ cm} + \phi_{\text{etr}} + \phi / 2 \quad (5.42)$$

Kirişlerde pas payı 4,0~5,0 cm alınır. Döşemelerde ise, minimum 15 mm beton örtü istendiğinden (TS 500/2000) $d' = 2,0 - 2,5$ cm yeterlidir

Bölümün başlangıcında iki tür hesap ayırt edilmişti.

i) Ön boyutlandırma (Ön tasarım hesabı)

Dördüncü bölümde, kirişlerin mesnet bölgelerinde dikdörtgen kesit, açıklık bölgelerinde ise, basınç bölgesinin geometrisine bağlı olarak, tablalı kesit olarak çalıştıkları açıklanmıştı. Betonarme döşemede oluşan basınç tablasının alanı nispeten büyük ve basınç yüzüne yakın olduğundan büyük basınç kuvveti karşılayabilir. Bu nedenle T kesitlerin moment taşıma gücü dikdörtgen kesitlerin çok üstündedir. Bu durumda kirişlerin ön boyutlandırılması, daha elverişsiz olan, mesnet kesitlerine göre yapılmalıdır.

- Bunun için yaklaşık ve basit bir hesapla M_d bulunur. Bu hesapta güvenlik tarafında kalmaya özen gösterilir. Örneğin mesnet momenti aranıyorsa, onun yerine ankastrelik momenti alınabilir.

- İstenilen koşulları sağlayabilecek bir donatı yüzdesi seçilir (Sehim denetimi gerektirmeyecek ρ değeri diğer koşulları da sağlar, tavsiye edilir).

- Duvar genişliği de göz önünde tutularak uygun bir b_w seçilir; 25 cm den daha dar alınamaz (DY,1997, madde 7.4.1.1).

Gerekli etkili derinliğin bulunması

a) Hesap yoluyla:

$$(5.23b)'den \quad d = \sqrt{M_d / [\rho b_w f_{yd} (1 - 0,59 \rho_{yd} / f_{cd})]} \quad (5.43a)$$

yada önce $\omega = \rho f_{yd} / f_{cd}$ hesaplanır; 5.23c'den;

$$d = \sqrt{M_d / [b_w f_{cd} \omega (1 - 0,59 \omega)]} \quad (5.43a')$$

bulunur.

b) ρ çizelgeleri ile (Çizelge 5.3 - 5.10):

-Seçilen "p" nun karşısındaki K okunur; okunan K yardımıyla,

$$d = \sqrt{KM_d / b_w} \quad (5.43b)$$

bulunur.

-c) ω çizelgesi ile (Çizelge 5.11):

-İstenilen koşula uygun ω seçilir ve ω nın karşılığı olan m okunarak d bulunur:

$$d = \sqrt{M_d / (m b_w f_{cd})} \quad (5.43c)$$

Gerekli kesit yüksekliğinin bulunması:

(5.41) ve (5.42)'den $h = d+d' \approx d+4$ cm bulunur ve sonuç yuvarlatılır. Betonarme uygulamaya dönük bir bilim dalıdır. Matematik kesinlik peşinde değildir. Yaklaşımları, uygulamanın istemlerine denk düşmelidir. Uygulamada, mimari bir zorunluluk olmadıkça kesirli (42,5 cm gibi) yada 0 ile 5 cm ye yuvarlatılmayan (42 gibi) giriş yükseklikleri kullanılmaz; 40, 45, 50, 60 cm vb yükseklikler kullanılır. Yuvarlak rakamlarla çalışmak uygulamada hata olasılığını azaltır.

ii) Kesin boyutlandırma (Uygulama tasarımı hesabı)

Yapısal çözümlene ve hesap kesit kuvvetlerinin (M_d, V_d, N_d, T_d) bulunması projelendirmenin önemli bir bölümüdür. Hesap yüklerinin bulunması için TS-500/2000'de öngörülen yük katsayıları ve değişik yüklerin birlikte etkimesi durumunda kullanılması gereken yük katsayıları Bölüm 2.3.4'te açıklanmıştı. Bütün bu yük gruplarının, göz önüne alınan kesitte, mutlak değerce en büyük momenti verecek şekilde yerleştirilmesi -en elverişsiz yükleme- gerekir. Statik bilim dalının kurallarına göre bütün bu işlemlerin yapılarak M_d hesap momentinin bulunduğu kabul edilsin. Bu işlemlerin yapılabilmesi için kesite ön boyut verilmiş olması gerekir. Şu halde bir karma durum söz konusudur.

Bilinenler: $M_d, b_w, d, f_{cd}, f_{yd}$

İstenenler: - Kesit istenen koşulları sağlıyor mu?
- Sağlıyorsa kesit uygundur; Gerekli donatı, $A_s = ?$

a) Doğrudan çözüm

Bilinen değerler yerine yazıldıktan sonra (5.23b)'den ρ , yada (5.23c)'den ω 'ye göre 2° denklemin kökleri bulunur. Bulunan kök aranan koşulları sağlıyorsa, kesit uygundur. Gerekli donatı,

$$A_s = \rho_b w_d \text{ yada}$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d$$

ile bulunur. Sağlamıyorsa; kesit hesap momentini, istenen koşullarda, tek donatılı olarak karşılamıyor demektir, çift donatı gereklidir.

b) ρ çizelgeleri (Çizelge 5.3 - 5.10) ile çözüm

- $K = b_w d^2 / M_d$ hesaplanır.

- K değerinin istenen koşulları sağlayıp sağlamadığı çizelgeden kontrol edilir.
- Sağlıyorsa kesit uygundur. K'nın karşısındaki k_z yada k_s okunur, gerekirse enterpolasyon yapılır.
- $A_s = M_d / (k_z df_{yd})$ yada $A_s = k_s M_d / d$ ile donatı hesaplanır.

c) ω çizelgesi (Çizelge 5.11) ile çözüm

- $m = M_d / (k_z df_{yd})$ hesaplanır.
- Çizelgeden m'in karşılığı olan ω okunur.
- ω 'nın istenen koşulları sağlayıp sağlamadığına bakılır.
- Sağlıyorsa; kesit uygundur. Donatı hesaplanır:

$$A_s = \omega \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d$$
- Sağlamıyorsa; kesit M_d 'yi tek donatı ile karşılayamıyor demektir; çift donatı gereklidir.

Görüldüğü gibi; elle yapılan hesaplarda, kesit hesaplarını doğrudan formüller yardımıyla yapmanın, mühendislik öğrencilerini konuya ısındırmanın dışında, pratik yararı yoktur ve hata olasılığını artırır. Çizelgeler yardımıyla hesap kolay, yeterince hassas ve hızlı olur.

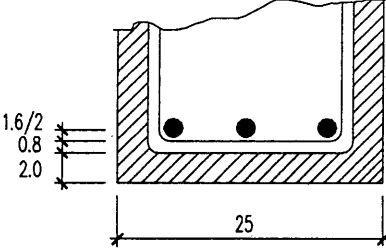
Donatının seçilmesi:

Kitabın sonunda ek olarak verilen Ek çizelge 1 ve Ek çizelge 2 yardımıyla donatı seçilebilir. Ek çizelge 1'de donatı çubuklarının geometrik özellikleri, Ek çizelge 2'de ise kiriş genişliğine göre bir sıraya sığacak donatı sayısı verilmiştir. T kesitli kirişlerin de incelenmesinden sonra bu konu ayrıca ve ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

5.1.2.5. Tek donatılı dikdörtgen kesit hesapları ile ilgili sayısal uygulamalar

Ön – boyut vermekle ilgili örnek:

5.8. Yaklaşık hesap sonucu $M_d = 50$ kNm bulunmuştur. Kullanılacak malzeme C16/S220'dir. $\rho = 0,008$ seçerek, tek tuğla duvar içinde kalacak bir dikdörtgen kesite ön boyut veriniz.



Verilenler:

$M_d = 50$ kNm; $\rho = 0,008$;
Malzeme: C16/S220

İstenenler:

$b_w = ?$; $h = ?$; $A_s = ?$

Çözüm:

Kirişin tek tuğla duvar içinde kalması için $b_w = 25$ cm seçmek uygun olur. Çizelge 5.4'ten $\rho = 0,008$ için $K = 7,13$ okunur. Bununla;

$$K = b_w d^2 / M_d; \quad d = \sqrt{K M_d / b_w} = \sqrt{7,13 \cdot 50000 / 25}$$
$$= 37,8 \text{ cm} \approx 38 \text{ cm}$$

$$h = 37,8 \text{ cm} + 2,5 \text{ cm (örtü betonu)} + 0,8 \text{ cm (etr.)} + 1,6/2$$

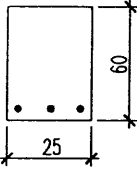
$$h = 41,9 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,008 \cdot 25 \cdot 38 = 7,6 \text{ cm}^2 (4 \phi 16)$$

Kesin hesap (uygulama tasarımı) için örnek:

5.9. Kesin statik hesap sonucu, $M_d = 95,0$ kNm bulunan bir dikdörtgen kesitli kirişin, ön hesaptan bulunan boyutları 25/60 cm'dir. Boyutların uygunluğunu kontrol ediniz, gerekli çekme donatısı alanını bulunuz ve seçiniz. Malzeme C20/S220 alınacaktır.

Verilenler:



$M_d = 95,0$ kNm; $b_w = 25$ cm; $h = 60$ cm ($d = 56$ cm); Malzeme C20/S220

İstenenler:

Boyut kontrolü; $A_s = ?$

Çözüm:

$$K = b_w d^2 / M_d = 25 \cdot 56^2 / 9500 = 8,28$$

C 20/S 220 için $\rho_m = 0,85$ ρ_b karşılığı $K_m = 2,28$, $K > K_m$, $\rho < \rho_m$

Şu halde kesit, verilen hesap momentini sünek davranışla karşılamak için yeterlidir. Doğrusal ara değer hesabı ile,

$$k_s = 0,0557 - \frac{8,28 - 7,96}{9,20 - 7,96} (0,0557 - 0,0552) = 0,0556;$$

$$A_s = k_s \frac{M}{d} = 0,0556 \frac{9500}{56}$$

$A_s = 9,43 \text{ cm}^2$ ulunur; seçilen ($2 \phi 20$) = $9,42 \text{ cm}^2$

5.10. 20 cm genişliğinde bir betonarme pergola kirişinde, maksimum hesap moment, $M_d = -65,6$ kNm bulunmuştur. Bu kirişe, basit donatı ile sehim kontrolü gerekmeyecek şekilde, minimum yükseklik veriniz ve donatısını bulunuz.

Malzeme: C 20/S 420

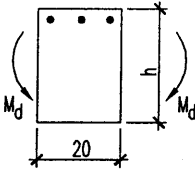
Verilenler:

$M_d = -65,6$ kNm; $b_w = 20$ cm; Malzeme: C 20/S420

İstenenler:

Sehim kontrolü gerektirmeyen $h_{\min} = ?$; $A_s = ?$

Çözüm:



Kirişler için sınır değerler çizelgesinden C20/S420 için $K_t = 3,8$ $k_{st} = 0,0318$

$$d^2 = K_c M_d / b_w = 3,8.6560/20 = 1246,4;$$

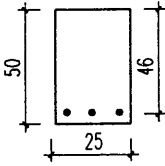
$$d = 35,3 \approx 36 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 36 + 4 = 40 \text{ cm}; A_s = k_s \frac{M_d}{d} = 0,0318 \frac{6560}{36} = 5,79 \text{ cm}^2 ;$$

$$\text{seçilen } A_s = (3 \phi 16) = 6,03 \text{ cm}^2$$

ω çizelgesinin boyutlandırma kullanımasına ait örnekler:

- 5.11. 30/60 cm boyutunda dikdörtgen kesitli bir kirişe $M_d = 120 \text{ kNm}$ hesap momenti etki etmektedir. Malzeme C16/S220'dir. Deprem bölgesinde yapılacak bu kirişin boyutlarını kontrol ediniz ve donatısını hesaplayınız.



Verilenler:

$M_d = 120 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$; $h = 60 \text{ cm}$ ($d = 56 \text{ cm}$)
Malzeme C16/S220

İstenenler:

Deprem bölgesine göre boyut kontrolü ve $A_s = ?$

Çözüm:

$$m = \frac{M_d}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{12000}{30.56^2 \cdot 1,1} = 0,1159; \text{ Çizelge 5.11'den } \omega = 0.125$$

$$\omega_d = \rho_d \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,329; \quad \omega_{\min} = 0,0063 \frac{19,1}{1,1} = 0,109, \text{ yani};$$

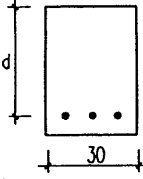
$\omega_{\min} < 0,125 < \omega_d$ dir; şu halde kesit uygundur.

$$\rho = \omega \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,125 \cdot \frac{11}{191} = 0,007; \quad A_s = 0,007 \cdot 30 \cdot 56 = 11,76 \text{ cm}^2$$

$$\text{seçilen } A_s = (6\phi 16) = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$\text{seçilen } A_s = (6\phi 16) = 12,06 \text{ cm}^2$$

- 5.12. 30 cm genişliğinde bir dikdörtgen kesitli kirişe $M_d = 120 \text{ kNm}$ hesap momentine göre, sehim kontrolü gerektirmeyecek minimum yükseklik veriniz ve donatısını hesaplayınız. Malzemeleri C16/S220 alınız.



Verilenler:

$M_d = 120 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$; Malzeme C16/S220

İstenenler:

Sehim kontrolü gerektirmeyecek $h_{\min} = ?$
 $A_s = ?$

Çözüm:

Sehim kontrolü gerektirmeyecek ω değeri, $\omega = 0,235$

Çizelge 5.11'den $\omega = 0.235$ karşılığı;

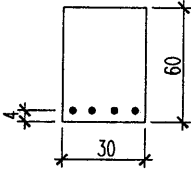
$$m = \frac{M_d}{b_w d^2 f_{cd}} = 0,2024 \text{ okunur, } d^2 = \frac{M_d}{m b_w f_{cd}} \text{ den,}$$

$$d^2 = \frac{12000}{0,2054 \cdot 30 \cdot 1,1} = 1796,62; \quad d = 42,39 \text{ cm} \quad h \equiv 46 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm.}$$

$$\rho = 0,235 \frac{11}{191} = 0,0135; \quad A_s = 17,05 \text{ cm}^2 \quad (3 \phi 20 + 3 \phi 18)$$

Kirişlerde minimum donatı kullanılması ile ilgili örnekler:

5.13. 25/50 cm boyutlarında dikdörtgen kesitli bir kirişe $M_d = 20 \text{ kNm}$ hesap momenti etki etmektedir. Malzeme C16/S220'dir. Kiriş donatısını hesaplayınız ve seçiniz.



Verilenler:

$M_d = 20 \text{ kNm}$; $b_w = 25 \text{ cm}$; $d = 46 \text{ cm}$;
Malzeme: C16/S220.

İstenenler:

$A_s = ?$

Çözüm:

$$M_d = 20 \text{ kNm} = 2000 \text{ kNcm} \quad K = \frac{25.46^2}{2000} = 26,45$$

Çizelge 5.4'den $\rho_d = 0.002$ bulunur.

Oysa minimum donatı şartları hatırlanırsa, S220 çeliği için minimum donatı oranı;

$$\frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0,00489 \text{ olarak kullanılabilir. Buradan;}$$

$$A_s = 0.00489.25.46 = 5,62 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen } A_s = 3 \phi 16 = 6,03 \text{ cm}^2$$

5.14 Aynı kirişe $M_d = 52 \text{ kNm}$ moment etkirse gerekli donatı ne olur?

Çözüm:

$$K = \frac{25.46^2}{5200} = 10,17 \text{ ile } \rho = 0,0055 > 0,00489 = \rho_{\min}$$

Şu halde kirişte gerekli donatı minimum donatıdan daha fazla olacaktır;

$$A_s = \rho b_w d = 0,0055.25.46 = 6,33 \text{ cm}^2,$$

$$\text{Seçilen: } A_s = (1 \phi 18 + 2 \phi 16) = 6,56 \text{ cm}^2$$

Problemler

Verilenler:

- $b_w = 35 \text{ cm}$; $h = 70 \text{ cm}$; $A_s = 8 \phi 18 = 20,36 \text{ cm}^2$; S 420; $M_r = 419 \text{ kNm}$
- $h = 60 \text{ cm}$; $A_s = 4 \phi 22 = 15,21 \text{ cm}^2$
Malzeme C25/S 420; $M_r = 257,57 \text{ kNm}$
- $M_d = 238 \text{ kNm}$; $b_w = 25 \text{ cm}$; $h = 65 \text{ cm}$
Malzeme C16/S220
- $M_d = 135 \text{ kNm}$; $b_w = 20 \text{ cm}$;
Malzeme C20/S420
- $M_d = 477 \text{ kNm}$; $h = 70 \text{ cm}$;
Malzeme C20/S220
- $M_d = 100 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$; $h = 55 \text{ cm}$
Malzeme C 16/S220
- $M_d = 90 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$; $h = 55 \text{ cm}$
Malzeme C 16/S 220

İstenenler:

(Tablo kullanmadan) beton kalitesi ? (Cevap: C 20)

(Tablo kullanmadan) $b_w = ?$
(Cevap: $b_w = 20 \text{ cm}$)

Deprem bölgesinde kesit tek donatı için uygun mu?
Uygunsa $A_s = ?$
(Cevap: Uygun,
 $A_s = 24,4 \text{ cm}^2$)

Tek donatı ile sehim kontrolü gerektirmeyecek

$h_{\min} = ?$; $A_s = ?$
(Cevap: $h_{\min} = 55 \text{ cm}$;
 $A_s = 8,42 \text{ cm}^2$)

Tek donatı ile sünek davranış sağlayacak min $b_w = .?$;
 $A_s = ?$

(Cevap: min $b_w = 25 \text{ cm}$;
 $A_s = 52,31 \text{ cm}^2$)

$A_s = ?$
(Cevap: $11,17 \text{ cm}^2$;
 $2 \phi 18 + 2 \phi 20 = 11,37 \text{ cm}^2$)

$A_s = ?$
(Cevap: $9,95 \text{ cm}^2$;
 $4 \phi 18 = 10,18 \text{ cm}^2$)



5.1.3. Çift donatılı dikdörtgen kesitlerin taşıma gücü

5.1.3.1. Genel bilgiler

Çekme donatısı ile birlikte basınç donatısı da olan kesitler "çift donatılı" olarak adlandırılmıştır. Kirişlerde, basınç donatısı kullanılmasının nedenleri şöyle açıklanabilir:

- i) Kiriş boyutları, mimari nedenlerle kısıtlanmış olabilir. Sünekliği sağlayacak maksimum çekme donatısı sınırına ($\rho = \rho_m$) uyulması da zorunludur. Kesit yetersizliği nedeniyle $\rho = \rho_m$ kullanıldığı halde hesap momenti (M_d) yalnız çekme donatısı ile karşılanamıyorsa basınç donatısı da gerekli olur. Emniyet gerilmeleri yöntemiyle yapılan kesit hesaplarında bu durumla sık sık karşılaşılır. Taşıma gücü yönteminde ise mukavemet yetersizliğini telafi etmek için çift donatıya başvurulması çok enderdir; bu, beton kesitin gerçekten yetersiz olduğunu düşündürür. Bir örnek üzerinden açıklanırsa:

C14/S220 (eski B160/StI) kullanılarak, tek donatılı kesitin taşıyabileceği maksimum moment, emniyet gerilmeleri yöntemiyle $M_{max} = 0,1284 b_w d^2$ (kNm) ve bu momenti karşılayabilmek için gerekli donatı yüzdesi $\rho_{max} = 0,0107$ olarak bulunur. Taşıma gücü yönteminde ise sünek davranış (çekme kırılması) içinde maksimum donatı yüzdesi (Çizelge 5.3'den) $\rho_m = 0,0227$ ve tek donatı ile taşınabilecek en büyük moment ise, aşağıdaki kadardır:

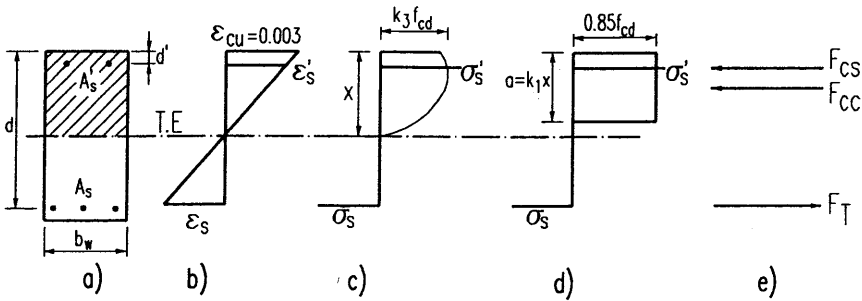
$$M_f = b_w d^2 / K = b_w d^2 / 3,2 = 0,3125 b_w d^2$$

$M_f / M_{max} = 2,43$ bulunur. Görüldüğü gibi, en düşük beton sınıfları için bile, iki yöntem arasında moment taşıma kapasitesi farkı çok büyüktür. Taşıma gücü yönteminde kesit yetersizliği nedeniyle basınç donatısına gereksinme, sünek davranış sınırından çok, deprem bölgesi yada serhim denetimi gerektirmeyen donatı yüzdesi sınırlarında yada kesit sünekliğini artırmak için duyulur. Yukarıdaki örneğe dönülürse, sehim denetimi gerektirmeyen donatı yüzdesi $\rho_f = 0,0114$, taşınabilen moment $M_f = 0,1887 b_w d^2$, $M_f / M_{max} = 1,47$ bulunur. Bu demektir ki taşıma gücü yöntemiyle, kesitin tam kapasitesi kullanılmadığı halde, emniyet gerilmeleriyle taşınan maksimum momentin %50 fazlası karşılanabilmektedir.

- ii) Basınç donatısı kesit ve eleman sünekliğini artırır; basınç kuvvetini beton ve donatı birlikte karşılar. Tarafsız eksen derinliği küçülür. Kirişin eğilme yeteneği (ϵ_c / x) artar.
- iii) Basınç donatısı ani ve zamana bağlı sehimi azaltır. Basınç gerilmelerinin bir bölümünü çelik karşıladığı için işletme yükleri altında beton gerilmeleri küçülür; buna bağlı olarak beton deformasyonu, eğrilik ve ani sehim azalır. Sünme ve büzülme etkisini azaltarak uzun süreli sehimi de küçültür.

- iv) Deprem bölgelerindeki kirişlerin mesnet momentleri şiddetli bir deprem anında, yön değiştirebilirler. Basınç donatısı bu kez çekme donatısı konumuna girer. Momentin (-) ve (+) durumunda kiriş çift donatılı olur. Böyle durumlarda, kirişin bir yüzüne donatı yerleştirilirken, o yüzde hesaplanan, çekme ve basınç donatısı alanlarından büyük olanı kullanılır. Bu konu ilerde etraflı olarak, incelenecektir.

5.1.3.2. Taşıma gücünün hesabı



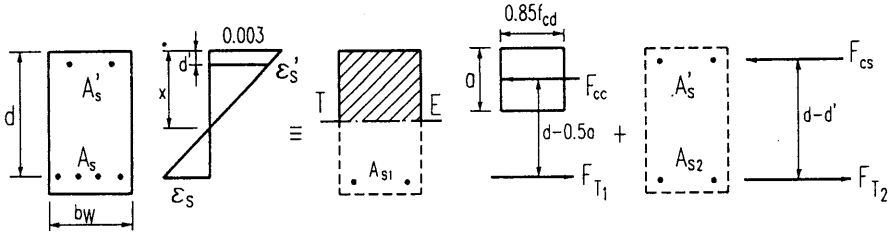
Şekil 5.5 Taşıma gücüne ulaşmış çift donatılı dikdörtgen kesit
a) Kesit b) Birim deformasyon c) Gerçek gerilme dağılımı
d) Eşdeğer gerilme dağılımı e) İç kuvvetlerin bileşkesi

Şekil 5.5'de taşıma gücüne ulaşmış bir çift donatılı kesit görülmektedir. A'_s , basınç donatısı alanı; σ'_s , basınç donatısındaki gerilmeyi gösterir. Kesit boyutları, çekme ve basınç donatı alanları bilinmektedir. Kesitin moment taşıma gücü aranmaktadır. Özetle:

Verilenler: $b_w, d, A_s, A'_s, f_{cd}, f_{yd}$

İstenen: $M_r = ?$

Basınç donatısı alanı, çekme donatısı alanından küçük oldukça ($A'_s < A_s$), çift donatılı kesitin iç kuvvetini, moment olarak, iki kuvvet çiftinin toplamı olarak düşünmek yararlı olur. Böylece kesitin çalışma biçimi ve davranışı daha net kavranabilir.



$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$M_r = M_1 + M_2$$

$$F_{cc} = F_{T1}$$

$$M_1 = F_{cc} (d - 0,5a)$$

$$F_{cs} = F_{TC}$$

$$M_2 = F_{cs} (d - d')$$

Şekil 5.6 Çift donatılı kesitin iki kuvvet çiftine ayrılması

Birinci kuvvet çifti, tek donatılı kesitin beton basınç gerilmeleri bileşkesi (F_{cc}) ile çekme donatısının bir bölümünün aldığı çekme kuvvetinden (F_{T1}) oluşur. İkinci kuvvet çiftinde ise, basınç donatısının karşıladığı basınç kuvveti (F_{cs}), çekme donatısının kalan bölümünün aldığı çekme kuvveti (F_{T2}) den oluşur. Çekme kırılmasında; önce, çekme donatısındaki deformasyon akma deformasyonuna ulaşır ve donatı akar. ($\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}; \sigma = f_{yd}$). Ancak genel halde çekme ve basınç donatılarının akıp akmadığı bilinmez. Buna göre bileşke kuvvetlerin değerleri:

$$F_{cc} = 0,85 f_{cd} b_w a \quad (5-39)$$

$$F_{cs} = A_s' \sigma_s' \quad (5.40)$$

$$F_{T1} = A_{s1} \sigma_s \quad (5.41)$$

$$F_{T2} = A_{s2} \sigma_s \quad (5.42)$$

Denge denklemleri;

$$F_{cc} + F_{cs} = F_{T1} + F_{T2} = F_T \quad (5.43)$$

$$M_r = M_1 + M_2 \quad (5.44)$$

Gerilmeler cinsinden yazılırsa:

$$0,85 f_{cd} b_w a + A_s' \sigma_s' = A_{s1} \sigma_s + A_{s2} \sigma_s = A_s \sigma_s \quad (5,45)$$

$$M_r = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a) + A_s' \sigma_s' (d - d') \quad (5.46)$$

Bu genel durum için donatı gerilmeleri uygunluk şartları yardımıyla bulunabilir. Birim deformasyon diyagramından:

$$\frac{0,003}{\epsilon_s} = \frac{x}{d - x}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{d-x}{x}$$

$x = a / k_1$ yazılırsa:

$$\varepsilon_s = 0,003(k_1 \frac{d}{a} - 1) \quad (5.47)$$

$$\frac{0,003}{\varepsilon'_s} = \frac{x}{x-d'}$$

$$\varepsilon'_s = 0,003(1 - k_1 \frac{d'}{a}) \quad (5.48)$$

Kırılma anında:

$$\varepsilon_s \geq \frac{f_{yd}}{E_s} \text{ ise, çekme donatısı akmış demektir; } \sigma_s = f_{yd} \quad (5.47a)$$

$$\varepsilon_s < \frac{f_{yd}}{E_s} \text{ ise, basınç kırılması söz konusu demektir; } \sigma_s = \varepsilon_s E_s$$

$$\sigma'_s \geq \frac{f_{yd}}{E_s} \text{ ise, basınç donatısı akmış demektir; } \sigma'_s = f_{yd} \quad (5.48a)$$

$$\sigma'_s < \frac{f_{yd}}{E_s} \text{ ise, basınç donatısı akmamıştır; } \sigma'_s = \varepsilon'_s E_s$$

(5.47a) ile (5.48a) arasındaki farka dikkat edilmelidir; çekme donatısının akmaması basınç kırılmasına yol açar, önlenmesi zorunludur. Basınç donatısının akmaması ise, sadece hesabın buna göre yapılmasını gerektirir. Çizelge 5.12'de değişik çelik türleri için akma başlangıcını belirleyen ε_{yd} değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.12. Çelik türleri için $\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$ değerleri

| Çelik türü | S 220 | S 420 | S 500 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| ϵ_{yd} | 0,000955 | 0,001825 | 0,002175 |

Kesit boyutları, çekme ve basınç donatısı alanları verilen bir problemde dört bilinmeyen bulunacaktır: M_r , a , σ_s , σ'_s . İki denge, iki de uygunluk denklemi bulunduğuna göre 4 bilinmeyenli 4 denklem çözülebilir. Ancak zaman alır ve çoğunlukla gereksizdir. Uygulamada, çekme kırılması – sünek davranış- öngörüldüğünden, hatalı donatılmış kirişlerin dışında, çekme donatısının akacağı bilinir. Basınç donatısı olarak yüksek mukavemetli çelik kullanılmamışsa ve kesit yüksekliği çok az değilse basınç donatısı da akar. Buna göre, hesaplarda sonuca daha kolay götüren iki aşamalı bir yol izlenir:

i) Bütün donatının aktığı varsayılır; $\sigma_s = \sigma'_s = f_{yd}$ alınarak denge denklemlerinden a ve M_r bulunur.

ii) Uygunluk şartlarından donatının akıp akmadığı denetlenir.

i) (5.45)'de $\sigma_s = \sigma'_s = f_{yd}$ yazılırsa;

$0,85f_{cd}b_w a = (A_s - A'_s)f_{yd}$ den a hesaplanabilir:

$$a = \frac{(A_s - A'_s)f_{yd}}{0,85f_{cd}b_w} \quad (5.49)$$

(5.49)'da hesaplanan a değeri (5.46)'da yerine konular ve $\sigma'_s = f_{yd}$ yazılırsa;

$$M_r = 0,85 f_{cd}b_w a (d - 0,5a) + A_s f_{yd} (d - d') \quad (5.50)$$

$$= (A_s - A'_s)f_{yd} (d - 0,5a) + A'_s f_{yd} (d - d') \quad (5.50a)$$

ii) (5.49) ve (5.50)'nin geçeri olabilmesi için (5.47a) ve (5.48a)'da belirlenen $\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$, $\epsilon'_s \geq \epsilon_{yd}$ koşullarının gerçekleşmesi gerekir. Bu koşulların ne sonuç vereceği araştırılmaya değer.

Çekme donatısının akma koşulu:

Çekme donatısının akması için $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$ olmalıdır.

$$0.003 \left(k_1 \frac{d}{a} - 1 \right) \geq f_{yd} / E_s, \quad E_s = 2.10^5 \text{ MPa ile;}$$

$$600 k_1 \frac{d}{a} - 600 \geq f_{yd} \quad (\text{MPa})$$

$$\frac{d}{a} \geq \frac{600 + f_{yd}}{600 k_1} \quad (5.51)$$

bulunur. Diğer taraftan (5.49)'da $\rho = A_s/b_w d$, $\rho' = A'_s/b_w d$ yazılırsa:

$$a = \frac{(\rho - \rho') \cdot f_{yd}}{0,85 \cdot f_{cd}} \cdot d \quad (5.52)$$

$$\frac{d}{a} = \frac{0,85 \cdot f_{cd}}{\rho - \rho' \cdot f_{yd}} \quad (5.53)$$

ifadelerine ulaşılır. (5.51) ve (5.53)'ün eşitliğinden;

$$\frac{1}{\rho - \rho'} \geq \frac{1}{0,85 \cdot f_{cd}} \frac{600 + f_{yd}}{600}$$
$$(\rho - \rho') \leq 0,85 k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{600}{600 + f_{yd}} \quad (5.54)$$

bulunur. Dikkat edilirse, (5.54)'ün sağ tarafı, (5.16)'da verilen, tek donatılı kesitlerde dengeli donatı oranı ile özdeştir:

$$(\rho - \rho') \leq \rho_{b1} \quad (5.55)$$

Demek ki çift donatılı kesitlerde, çekme kırılmasına etkili olan donatı oranı ρ_b yerini $(\rho - \rho')$ olmaktadır. (5.55) ifadesi çıkarılırken $\sigma_s = \sigma'_s = f_{yd}$ varsayılmıştı. Şekil 5.7'de ikinci kuvvet çiftinin dengesinden ve (5.40), (5.42) ifadelerinden bu varsayım altında $A'_s = A_{s2}$; $\rho' = \rho_2$ olduğu görülür. Şu halde (5.55)'deki sol taraf, gerçekte $\rho - \rho' = \rho - \rho_2 = \rho_1$ 'i göstermektedir. Çekme kırılmasını belirleyen koşul, birinci kuvvet çiftinin

aldığı momenti karşılamak için gerekli donatı oranının, dengeli donatı oranından küçük olmasıdır.

$$\rho_1 \leq \rho_{b1} \quad (5.56)$$

Basınç donatısının akmaması durumunda, yine ikinci kuvvet çiftinin dengesinden hareketle:

$$A'_s \sigma'_s = A_{s2} f_{yd}$$

$$A_{s2} = A'_s \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \quad (5.57)$$

$$\rho_2 = \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \quad (5.57a)$$

$$\rho_1 = \rho - \rho_2 = \rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \quad (5.58)$$

bulunur. ρ_1 'in (5.58)'deki değeri (5.56)'da yerine yazılırsa, çift donatılı kesitlerde çekme kırılması koşulu:

$$\sigma'_s < f_{yd} \text{ ise:} \quad (5.59)$$

$$\rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \leq \rho_{b1}$$

$$\sigma'_s = f_{yd} \text{ ise:}$$

$$\rho - \rho' \leq \rho_{b1} \quad (5.60)$$

olur. Analitik olarak elde edilmiş olan (5.59) ve (5.60) ifadelerinin fiziksel anlamı Şekil 5.6'dan kolayca görülebilir: Çift donatılı kesitte kırılmanın biçimi, ikinci kuvvet çiftinden tamamen bağımsız olup doğrudan birinci kuvvet çifti için gerekli ρ_1 donatı yüzdesine bağlıdır. Bu sonuç doğaldır. Çünkü ikinci kuvvet çifti, bütünüyle, çelik donatı tarafından karşılanmaktadır ve taşıma gücü çeliğin akmasıyla sınırlıdır; bu kuvvet çiftinde güç tükenmesi ancak sünek biçimde oluşabilir.

Bunlara dayanarak TS-500/84, 8.2.5'de çift donatılı kesitlerde dengeli donatı oranı:

$$\rho_b = \rho_{b1} + \rho' \frac{\sigma'_{sb}}{f_{yd}} \quad (5.61)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada σ'_{sb} dengeli duruma göre hesaplanan basınç donatısındaki gerilmedir. $\sigma'_{sb} = f_{yd}$ ise, (5.61) aşağıdaki şekli alır:

$$\rho_b = \rho_{b1} + \rho' \quad (5.62)$$

Basınç donatısının akma koşulu ve σ'_s nün hesabı

Basınç donatısının akma koşulu: $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_{yd}$

$$0,003(1-k_1 \frac{d'}{a}) \geq f_{yd} / E_s, \quad E_s = 2.10^5 \text{ MPa ile;}$$

$$600 - 600 k_1 \frac{d'}{a} \geq f_{yd} \text{ ve buradan,}$$

$$\frac{d'}{a} \leq \frac{600 - f_{yd}}{600} \frac{1}{k_1} \quad (5.63)$$

"a"nın (5.52)'deki değeri (5.63)'de yerine yazılırsa,

$$\frac{1}{\rho - \rho'} \leq \frac{1}{0,85k_1} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \frac{d'}{d} \frac{600 - f_{yd}}{600}$$

$$\rho - \rho' \geq 0,85k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{d'}{d} \frac{600}{600 - f_{yd}} \quad (5.64)$$

bulunur. (5.64)'den, basınç donatısının akma koşulunun, kesit geometrisi ve malzeme mukavemetinin fonksiyonu olduğu görülmektedir; (d'/d) oranının büyük değerleri (basık, yassı kiriş yada döşeme) ve yüksek malzeme mukavemeti için sağ taraf büyür ve akma gerçekleşmeyebilir.

$(\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \alpha_c = 0,85k_1 \frac{d'}{d} \frac{600}{600 - f_{yd}}$ ile gösterilerek bir akma indeksi belirlenebilir ve (d'/d) nin ve f_{yd} 'nin değişik değerleri için sınır α_c değerleri



hesaplanabilir /5.9/. Burada ise farklı bir yol izlenmiştir. (5.54) ve (5.64) ifadelerinin sol tarafları eşittir. (5.64)'ün sağ tarafına $\beta\rho_b$ denilirse:

$$\rho - \rho' \geq \beta\rho_b \quad (5.64a)$$

$$\beta = \frac{600 + f_{yd}}{600 - f_{yd}} \frac{d'}{d} \text{ bulunur. } \beta \text{ değerleri değişik çelik türleri için}$$

kolayca hesaplanabilir. Buna göre basınç donatısının akma koşulları:

$$S 220 \text{ için } \beta = 1,93 \frac{d'}{d} \quad \rho - \rho' \geq 1,93 \frac{d'}{d} \rho_b$$

$$S 420 \text{ için } \beta = 4,11 \frac{d'}{d} \quad \rho - \rho' \geq 4,11 \frac{d'}{d} \rho_b$$

$$S 500 \text{ için } \beta = 6,27 \frac{d'}{d} \quad \rho - \rho' \geq 6,27 \frac{d'}{d} \rho_b$$

olarak bulunur. Farklı beton-çelik türleri için ρ_b değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.1'de verilmiştir; burada ise, (d'/d) oranının uygulamada karşılaşılabilecek geniş bir değişim bölgesi için basınç donatısının akma sınırı olan, $\rho - \rho' = \beta\rho_b$ değerleri hesaplanıp Çizelge 5.13'de verilmiştir.

$\rho - \rho' \geq \beta\rho_b$ ise basınç donatısı akmıştır; $\rho - \rho' \leq \beta\rho_b$ ise basınç donatısı akmadığına göre, bu esasla hesabı yenilemek gerekir. Özetle, (5.49) ve (5.50) ifadeleri ile bulunan moment taşıma gücü (5.54) ve (5.64) koşulları sağlanıyorsa geçerlidir.

Çekme donatısı akıyor, basınç donatısı akmıyorsa; artık (5.49)'dan bulunun "a", F_{cs} ve (5.50)'den hesaplanan M_r değerleri doğru değildir. (5.48) ve (5.48a)'dan:

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = 600(1 - k_1 \frac{d'}{a}) \leq f_{yd} \quad \text{MPa} \quad (5.65)$$

$$F_{cs} = A'_s \sigma'_s = 600A'_s (1 - k_1 \frac{d'}{a}) \quad (5.66)$$

ve (5.43) denge şartı yazılırsa:

$$0,85 f_{cd} b_w + 600A'_s (1 - k_1 \frac{d'}{a}) = A_s f_{yd} \quad (5.67)$$

bulunur. "a"ya göre düzenlenirse:

$$(0,85 f_{cd} b_w) a^2 + (600 A'_s - A_s f_{yd}) a - 600 A'_s k_1 d' = 0 \quad (5.68)$$

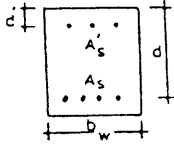
olur. (5.68)'deki 2° denklem çözülerek "a" bulunur. Bulunan "a" değeri (5.65)'de yerine yazılarak σ'_s ; "a" ve σ'_s değerleri (5.46)'ya yerleştirilerek M_r taşıma gücü hesaplanır.

σ'_s değerleri ardışık yaklaşık bir yöntem kullanılarak ve boyutlandırma için hazırlanmış hesap çizelgeleri yardımıyla da bulunabilir. Ancak, çizelgelerdeki değerlerde ve interpolasyonda yapılacak yuvarlatma hataları nedeniyle sonuç kesin değil yaklaşık olur. Aslında çizelge yardımıyla yapılan taşıma gücü hesapları, aynı nedenlerle, hiçbir zaman hesapla bulunan sonuçlara tam olarak uymaz. Yöntem şöyle uygulanır:

- Çizelgelerdeki σ'_s değerleri d'/d ve ρ_1 değerine karşılık k_a değerleri için hesaplanmıştır. $\sigma'_s = f_{yd}$ olsaydı $\rho_1 = \rho - \rho'$ olacaktı.
- Başlangıçta $\rho_1 = \rho - \rho'$ varsayılır ve gerekirse interpolasyon yapılarak çizelgeden σ'_s değeri okunur.
- $\rho_1 = \rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}}$ hesaplanır, çizelgeden yeni σ'_s okunur.
- Yeni ρ_1 hesaplanır.
- Bu işleme, σ'_s ve k_a için yeterince yaklaşık değer bulununcaya kadar devam edilir. Hesap çizelgelerinden (5.3 -5.10) basınç donatısının akıp akmadığı da hemen görülebilir. Ancak çizelge yardımıyla taşıma gücü hesabı açıklanan nedenlerle önerilmez.
- Eğer çekme donatısı da akmamışsa, kiriş yanlış donatılmış demektir. Basınç kırılması söz konusudur. Yine de taşıma gücü bulunmak istenirse; (5.45), (5.47a), (5.48a)'dan a , σ_s , σ'_s bulunur, (5.46)'da yerlerine yazılarak M_r hesaplanır.

ÇİZELGE 5.13

ÇİFT DONATILI DİKDÖRTGEN KESİTLERDE BASINÇ DONATISININ AKMA KOŞULUNUN ($\rho - \rho'$) ALT SINIR DEĞERLERİ



baskınç donatısı akma koşulları
 $S-220 (\rho - \rho') \geq (1,93d'/d)\rho_b$
 $S-420 (\rho - \rho') \geq (4,11d'/d)\rho_b$
 $S-500 (\rho - \rho') \geq (6,27d'/d)\rho_b$
 $\rho = A_s/b_w d, \quad \rho' = A'_s/b_w d$

| | | | |
|--------|----------|------|------|
| d'/d | S 220 | | |
| | C 14 | C 16 | C 20 |
| 0,10 | → 0,0061 | | |

| d'/d | S 220 | | | S 420 | | | S 500 | | | d'/d | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | C 14 | C 16 | C 20 | C 14 | C 16 | C 20 | C 14 | C 16 | C 20 | | |
| 0.025 | .0013 | .0015 | .0018 | .0024 | .0012 | .0014 | .0016 | .0022 | .0017 | .0026 | 0.025 |
| 0.030 | .0015 | .0018 | .0022 | .0028 | .0014 | .0017 | .0020 | .0026 | .0020 | .0024 | 0.030 |
| 0.035 | .0019 | .0021 | .0025 | .0033 | .0016 | .0019 | .0023 | .0030 | .0023 | .0027 | 0.035 |
| 0.040 | .0021 | .0024 | .0029 | .0038 | .0019 | .0022 | .0026 | .0034 | .0027 | .0031 | 0.040 |
| 0.045 | .0023 | .0027 | .0032 | .0042 | .0021 | .0025 | .0030 | .0039 | .0030 | .0035 | 0.045 |
| 0.050 | .0026 | .0030 | .0036 | .0047 | .0023 | .0028 | .0033 | .0043 | .0033 | .0039 | 0.050 |
| 0.055 | .0028 | .0034 | .0040 | .0052 | .0026 | .0031 | .0036 | .0047 | .0037 | .0043 | 0.055 |
| 0.060 | .0031 | .0037 | .0044 | .0057 | .0028 | .0033 | .0040 | .0052 | .0040 | .0047 | 0.060 |
| 0.065 | .0033 | .0040 | .0047 | .0061 | .0030 | .0036 | .0043 | .0056 | .0043 | .0051 | 0.065 |
| 0.070 | .0036 | .0043 | .0050 | .0066 | .0033 | .0039 | .0046 | .0060 | .0047 | .0055 | 0.070 |
| 0.075 | .0039 | .0046 | .0054 | .0071 | .0035 | .0042 | .0049 | .0064 | .0050 | .0059 | 0.075 |
| 0.080 | .0041 | .0049 | .0057 | .0075 | .0037 | .0044 | .0053 | .0069 | .0053 | .0063 | 0.080 |
| 0.085 | .0044 | .0052 | .0061 | .0080 | .0040 | .0047 | .0056 | .0073 | .0056 | .0067 | 0.085 |
| 0.090 | .0046 | .0055 | .0065 | .0085 | .0042 | .0050 | .0059 | .0077 | .0060 | .0071 | 0.090 |
| 0.095 | .0049 | .0058 | .0068 | .0089 | .0045 | .0053 | .0063 | .0082 | .0063 | .0075 | 0.095 |
| 0.100 | .0051 | .0061 | .0072 | .0094 | .0047 | .0055 | .0066 | .0086 | .0067 | .0078 | 0.100 |
| 0.105 | .0054 | .0064 | .0076 | .0099 | .0049 | .0058 | .0069 | .0090 | .0070 | .0082 | 0.105 |
| 0.110 | .0056 | .0067 | .0079 | .0104 | .0052 | .0061 | .0072 | .0095 | .0073 | .0086 | 0.110 |
| 0.115 | .0059 | .0070 | .0083 | .0108 | .0054 | .0064 | .0076 | .0099 | .0076 | .0090 | 0.115 |
| 0.120 | .0062 | .0073 | .0086 | .0113 | .0056 | .0067 | .0079 | .0103 | .0080 | .0094 | 0.120 |
| 0.125 | .0064 | .0076 | .0090 | .0118 | .0059 | .0069 | .0082 | .0107 | .0083 | .0098 | 0.125 |
| 0.130 | .0067 | .0079 | .0094 | .0122 | .0061 | .0072 | .0086 | .0112 | .0086 | .0102 | 0.130 |
| 0.135 | .0069 | .0082 | .0097 | .0127 | .0063 | .0075 | .0089 | .0116 | .0090 | .0106 | 0.135 |
| 0.140 | .0072 | .0085 | .0101 | .0132 | .0066 | .0078 | .0092 | .0120 | .0093 | .0110 | 0.140 |
| 0.145 | .0074 | .0088 | .0104 | .0137 | .0068 | .0080 | .0095 | .0125 | .0096 | .0114 | 0.145 |
| 0.150 | .0077 | .0091 | .0108 | .0141 | .0070 | .0083 | .0099 | .0129 | .0100 | .0116 | 0.150 |
| 0.155 | .0080 | .0095 | .0112 | .0146 | .0073 | .0086 | .0102 | .0133 | .0103 | .0122 | 0.155 |
| 0.160 | .0082 | .0098 | .0115 | .0151 | .0075 | .0089 | .0105 | .0137 | .0106 | .0125 | 0.160 |
| 0.165 | .0085 | .0101 | .0119 | .0155 | .0077 | .0092 | .0109 | .0142 | .0110 | .0129 | 0.165 |
| 0.170 | .0087 | .0104 | .0122 | .0160 | .0080 | .0094 | .0112 | .0146 | .0113 | .0133 | 0.170 |

5.1.3.3. Özet

Verilenler: $b_w, d, f_{cd}, f_{yd}, A_s, A'_s$

İstenen: M_r ?

Çift donatılı kesitlerin taşıma gücünü bulmak için;

i) $\rho = A_s/b_w d, \quad \rho' = A'_s/b_w d$ ve $(\rho - \rho')$ hesaplanır.
 $\rho - \rho' \leq \rho_{b1}$ ise (basınç donatısı akmamış ise $\rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \leq \rho_{b1}$)
çekme kırılması, $\rho - \rho' > \rho_{b1}$ ise basınç kırılması söz konusu demektir.

ii) $(\rho - \rho') \geq \beta \rho_b$ ise basınç donatısı akmıştır (Genellikle karşılaşılan durum); $\rho - \rho' = \rho_1$ alınarak bu durum hesap çizelgelerinden de bulunabilir:

- $A'_s = A_{s2}$
- $A_{s1} = A_s - A_{s2} = A_s - A'_s$
- $a = \frac{(A_s - A'_s) f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w}$
- $M_2 = A'_s f_{yd} (d - d')$
- $M_1 = A_{s1} f_{yd} (d - 0,5a) = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a)$
- $M_r = M_1 + M_2$ ile hesap taşıma gücü bulunur.

iii) $\rho - \rho' < \beta \rho_b$ ise basınç donatısı akıyor demektir; (5.68) 2° denklemleri çözülerek "a" bulunur, (5.65)'den σ'_s hesaplanır. Kesitin hesap taşıma gücü momenti ise;

$$M_r = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a) + A'_s \sigma'_s (d'/d)$$

olacaktır.

iv) Basınç kırılması durumunda:

$$\rho - \rho' > \rho_{b1}$$

$$\sigma_s = 600 \left(k_1 \frac{d}{a} - 1 \right) \leq f_{yd} \quad \text{MPa}$$

$$\sigma'_s = 600 \left(k_1 \frac{d'}{a} - 1 \right) \leq f_{yd} \quad \text{MPa}$$

$$0,85 f_{cd} b_w a + A'_s \sigma'_s = A_s \sigma_s$$

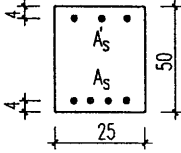
denklemlerinden a , σ_s , σ'_s hesaplanır. Hesap taşıma gücü momentini :

$$M_r = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a) + A'_s \sigma'_s (d - d')$$

olarak bulunur.

5.1.3.4. Çift donatılı kesitlerin taşıma gücü ile ilgili sayısal uygulamalar

- 5.14. 25/50 cm boyutlarında dikdörtgen kesitli bir kirişte çekme donatısı $A_s = (4 \phi 20)$, basınç donatısı $A'_s = (3 \phi 14)$ olarak kullanılmıştır. Malzeme C16/S220'dir. Bu kirişin hesap taşıma gücünü momentini bulunuz.



Verilenler: $b_w = 25$ cm; $h = 50$ cm ($d = 46$ cm)
 $A'_s = 3 \phi 14 = 4,62$ cm²; $A_s = 12,57$ cm²

Malzeme: C 16/S 220

İstenen: $M_r = ?$

Çözüm:

$$\rho = 12,57 / (25 \cdot 46) = 0,011; \rho' = 4,62 / (25 \cdot 46) = 0,004$$

$\rho - \rho' < \rho_b = 0,0268$; taşıma gücüne ulaşıldığında çekme donatısı akacak demektir: $\sigma_s = f_{yd}$

$$d'/d = 4/46 = 0,086 \text{ için Çizelge 5.13'ten } \beta_{\rho_b} = 0,0052$$

$\rho - \rho' = 0,007 > \beta_{\rho_b} = 0,0052$; şu halde basınç donatısı da akacak demektir: $\sigma'_s = f_{yd}$

$$A'_{s2} = A'_s = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2} = 12,57 - 4,62 = 7,95 \text{ cm}^2$$

Her iki kuvvet çiftinin taşıyabileceği momentler ayrı ayrı hesaplanıp, sonra toplanarak kirişin hesap taşıma gücü momentini hesaplanır.

$$M_2 = A_s f_{yd} (d - d') = 4,62 \cdot 19,1 (46 - 4) = 3706,2 \text{ kNcm}$$

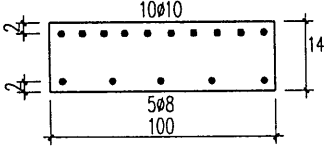
Birinci kuvvet çiftinde eşdeğer gerilme bloğunun derinliği:

$$a = \frac{A_{s1} f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w} = \frac{7,95 \cdot 19,1}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 25} = 6,50 \text{ cm}$$

$$M_1 = A_{s1} f_{yd} (d - 0,5a) = 7,95 \cdot 19,1 (46 - 0,5 \cdot 6,50) = 6491,4 \text{ kNcm}$$

$$M_r = 3706,2 + 6491,4 = 10197,6 \text{ kNcm} = 101,98 \text{ kNcm}$$

5.15. Bir betonarme döşeme sisteminin mesnet bölgesinde, 1 m genişlikte, üstte $10\phi 10$, altta $5\phi 8$ donatı bulunmaktadır. Döşeme yüksekliği 14 cm, $d' = 2$ cm, malzeme C16/S420 olduğuna göre, bu kesitin taşıyabileceği momenti hesaplayınız.



Verilenler: $b_w = 100$ cm

$h = 14$ cm

($d = 12$ cm)

$A_s = 10\phi 10 / m = 7,9$ cm²/m

$A'_s = 5\phi 8 / m = 2,50$ cm²/m

Malzeme C 16/S 420

İstenenler: $M_r = ?$

Çözüm:

$$\rho = 7,90 / (100 \cdot 12) = 0,0066; \rho' = 2,50 / 1200 = 0,002;$$

$$\rho - \rho' = 0,0046$$

$$\rho - \rho' < \rho_b = 0,0135; \text{ çekme donatısı akar.}$$

$$d'/d = 2/12 = 0,167 \approx 0,165 \text{ ve C16/S420 için } \beta_{\rho_b} = 0,0092$$

$$\rho - \rho' < \beta_{\rho_b}; \text{ şu halde basınç donatısı akmaz.}$$

(5.65) 'ten:

$$\sigma'_s = 60 \left(1 - k_1 \frac{d'}{a} \right) = 60 \left(1 - 0,85 \frac{2}{a} \right) < f_{yd} \quad \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_s = 60 - 102/a \leq f_{yd}$$

(5.43) denge şartı :

$$0,85 f_{cd} b_w a + A'_s \sigma'_s = A_s f_{yd}$$

$$0,85 \cdot 1,1 \cdot 100 a + 2,5 \cdot 60 - \frac{102}{a} = 7,90 \cdot 36,5$$

$$93,5a + 150 - \frac{255}{a} = 288,35$$

$$93,5a^2 - 138,35a - 255 = 0$$

$$a^2 - 1,48a - 2,73 = 0$$

$$a = 0,74 + \sqrt{0,55 + 2,73} = 2,55 \text{ cm}$$

$$\sigma'_s = 60 - 102/2,55 = 20 \text{ kN/cm}^2$$

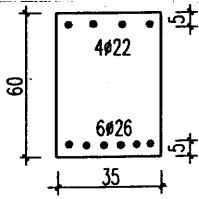
$$\begin{aligned} M_r &= 0,85f_{cd}b_w a(d - 0,5a) + A'_s \sigma'_s (d - d') \\ &= 0,85 \cdot 1,1 \cdot 100 \cdot 2,55 (12 - 0,5 \cdot 2,55) + 2,5 \cdot 20 (12 - 2) \\ &= 3057,1 \text{ kNcm} = 30,57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sonuç: $M_r = 30,57 \text{ kNm}$

5.16. Şekilde geometrisi ve donatısı verilen dikdörtgen kesitte C20/S220 kullanılmıştır. Kesitin;

- Pozitif moment taşıma gücünü
- Negatif moment taşıma gücünü bulunuz.

Çözüm.



$$6 \phi 26 = 31,86 \text{ cm}^2$$

$$4 \phi 22 = 15,21 \text{ cm}^2$$

$$f_{cd}/f_{yd} = 13/191$$

a) Pozitif moment ($6\Phi 26$ nın çekme donatısı olması hali) için:

$$\rho = 31,86 / (35 \cdot 55) = 0,0166$$

$$\rho' = 15,21 / (35 \cdot 55) = 0,0079$$

$$\rho - \rho' = 0,0087$$

$d'/d = 5/55 = 0,09$ ve C20/S 220 için Çizelge 5.13'den

$\beta_{\rho_b} = 0,0065$;

$\rho - \rho' > \beta_{\rho_b}$ olduğundan basınç donatısı akıyor demektir.

$\rho - \rho' = 0,0087 < \rho_m = 0,0317$ olduğundan çekme donatısı akıyor demektir.

$\sigma_s = \sigma'_s = f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2$ (Çizelge 5.5'den de $\rho_1 = 0,009$ karşılığı)
 $\sigma'_s = 19,1 \text{ kN/cm}^2$ olduğu görülebilir)

- $A_{s1} = A_s - A'_s = 31,86 - 15,21 = 16,65 \text{ cm}^2$
- $a = \frac{(A_s - A'_s)f_{yd}}{0,85f_{cd}b_w} = \frac{16,65 \cdot 19,1}{0,85 \cdot 1,3 \cdot 35} = 8,22 \text{ cm}$
- $M_2 = A'_s f_{yd} (d - d') = 15,21 \cdot 19,1 \cdot 1,50 = 14525,55 \text{ kNcm}$
- $M_1 = 0,85f_{cd}b_w a (d - 0,5a) = 0,85 \cdot 1,3 \cdot 35 \cdot 8,22 (55 - \frac{8,22}{2}) = 16178,36$
kNcm
- $M_r = M_1 + M_2 = 30703,91 \text{ kNcm} = 307,03 \text{ kNm}$

b) Negatif moment (4Φ22 yi çekme donatısı kabul eden hal) için:

Örnekte basınç donatısı çekme donatısından fazla olduğundan, basınç donatısının akmayacağı ve σ'_s 'nin değerinin akma hesap dayanımından küçük kalacağı açıktır. Aksi halde denge sağlanamazdı. σ'_s 'nin küçük olması tarafsız eksenin basınç donatısı dolaylarında olduğunu ve "a"nın da çok küçük olacağını gösterir.

$$F_T = A_s f_{yd} = 15,21 \cdot 19,1 = 290,51 \text{ kN}$$

$$F_{cs} = A'_s \sigma'_s = 31,86 \sigma'_s$$

$$F_{cc} = 0,85 f_{cd} b_w a = 0,85 \cdot 1,3 \cdot 35 a = 36,68 a$$

Birim deformasyon diyagramından uygunluk şartı yazılırsa:

$$\frac{\epsilon'_s}{0,003} = \frac{x - d'}{x} \rightarrow \epsilon'_s = 0,003 \left(1 - \frac{d'}{x}\right) = 0,003 \left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right)$$

$$\sigma'_s = 60 \left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) = 60 \left(1 - 0,85 \frac{5}{a}\right) = 60 - \frac{255}{a}$$

Denge denklemi:

$$1) 31,86 \sigma'_s + 36,68 a = 290,51$$

Uygunluk denklemi:

$$2) \sigma'_s = 60 - \frac{255}{a} \quad \text{kN/cm}^2$$

de σ'_s değeri 1)'de yerine yazılır ve a'ya göre düzenlenirse:

$$a^2 + 41,91a - 2.10 = 0 \rightarrow a = 4.52 \text{ cm } (x = 5.32 \text{ cm} > 5 \text{ cm}) \quad (\text{̇})$$

$$\sigma'_s = 60 - 255/4,52 = 3,58 \text{ kN/cm}^2 < 19,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_r = 0,85.1,3.35.4,52 \left(55 - \frac{4,52}{2}\right) - 31,86.3,58(55 - 5)$$

$$M_r = 14922,47 \text{ kNcm} = 149,22 \text{ kNm}$$

Sonuç: $M_r = 149,22 \text{ kNm}$

(̇) Çift donatılı dikdörtgen bir kesitte taşıma gücü momenti altında dikdörtgen basınç gerilmesi blok derinliğinin örtü (kabuk) betonu kalınlığının altına düşmesi, kırılmanın, uygulamada "kabuk atması" olarak ifade edilen biçimde ortaya çıkma ihtimalini arttırır. Bu nedenle; $a < 2d$ kalan basınç derinlikleri halinde, çift donatılı dikdörtgen bir kesitin hesap taşıma gücü momentinin, hiçbir zaman,

$$M_r = A_s f_{yd} (d - d') \quad (\text{örnekte: } +304,26 \text{ kNm ve } -145.26 \text{ kNm})$$

değerinden daha yüksek alınmaması tavsiye edilir; benzeri kısıtlamalara klasik betonarme metinlerinde de rastlanır (ZP).

Problemler

Verilenler:

1) $b_w = 25\text{cm}$; $h = 60\text{cm}$; $A_s = 4\Phi 22$;
 A'_s

Malzeme: C16/S220

2) $b_w = 30\text{ cm}$; $h = 60\text{ cm}$; $A_s = 4\Phi 20$;
 $A'_s = 3\Phi 16$

Malzeme: C16/S420

3) $b_w = 20\text{ cm}$; $h = 40\text{ cm}$;
 $A_s = 3\Phi 20$; $A'_s = 3\Phi 20$

Malzeme: C 20/S420

4) $b_w = 100\text{ cm}$; $h = 15\text{ cm}$; $A_s = 8\Phi 12$;
 $A'_s = 8$

Malzeme: C16/S220

İstenenler:

$M_r = ?$
 $= 3\Phi 14$

(Cevap: $M_r = 150,4\text{ kNm}$)

$M_r = ?$

(Cevap: $M_r = 238,0\text{ kNm}$)

$M_r = ?$

(Cevap: $M_r = 111,6\text{ kNm}$)

$M_r = ?$

ϕ 18

(Cevap: $M_r = 21,1\text{ kNm}$)

5.1.4. Çift donatılı dikdörtgen kesitlerin boyutlandırılması

5.1.4.1. Genel bilgiler ve donatı sınıflandırılmaları:

Kirişlerin açıklığındaki donatının en az 1/3'ü -çoğu zaman 1/2'si- mesnetten mesnete düz uzatılır. Bilindiği gibi, düşey yüklerden, mesnet kesitlerinde, negatif moment etkisiyle kesitin üst yüzünde çekme, alt yüzünde basınç gerilmeleri oluşur. Kirişlerin mesnet momentlerine göre ön-boyutlandırıldığı daha önce açıklanmıştı. Deprem Yönetmeliği (1997) gereği; kirişlerin eleman sünekliğini artırmak amacıyla, kiriş mesnetlerinde, mukavemet hesapları gerektirmese de, çekme donatısının, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde en az yarısı kadar, üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde en az üçte biri kadar basınç donatısı (alt donatı) kullanılması gerekir. Böylece, mesnet bölgelerinde kendiliğinden çift donatılı kesit oluştuğuna göre, ön boyutlandırmanın da çift donatılı kesit için yapılabileceği görülür. Gerçekten de, belirli ρ' / ρ oranları seçilerek, ön tasarım için hesap katsayıları ve abaklar geliştirilmiştir. Yazar, ön boyutlandırılmada, çift donatılı kesitin dikkate alınması görüşüne katılmamaktadır. Belirli bir ön tasarım momentini çift donatı ile karşılamak, tek donatılı kesite oranla, daha basık bir kiriş kesiti verir. Daha ince basık kiriş kesiti, açıklıkta daha çok donatı demektir. Oysa memleketimizde, göreceli olarak, beton ucuz, çelik pahalıdır. Tasarımcı mühendisin, boyutlandırmada, olabildiğince ince kiriş kesitleri bulmak gibi bir amacı yoktur. Amaç güvenilir ve ekonomik boyutlandırma olmalıdır. Ayrıca, yurdumuzdaki uygulamalardaki yetersiz denetim düşünüldüğünde, mesnet kesitlerinin ne derecede kendiliğinden çift donatılı sayılabileceği sorgulamaya değer bir durumdur.

Basınç donatılarının gerekli bindirme boylarının bulunması, çekme ve basınç bölgelerinin yeterli sıklıkta etriyelerle bağlanması, şantiyelerde, ancak kritik kesitlerde, özenle denetlenerek, sağlanabilen koşullardır. Taşıma gücü yöntemiyle, klasik yöntemle oranla daha ince kesitler elde edilebilmektedir. TS-500/84'de sehim denetimi gerektirmeyen sınır, bunun için öngörülmüştür. Bütün bu nedenlerle, beton kesite ön boyut verilirken, çift donatıyı dikkate almak bir mühendislik fantezisi gibi görülmektedir. Kesite ön boyut verirken basit donatılı gibi düşünmek, tasarım ve uygulamada ise sünek davranışı sağlamak üzere, mesnet kesitlerine özen göstermek, yazara daha uygun gelmektedir.

Taşıma gücü incelenirken, çift donatılı kesitlerde, çekme kırılması oluşması için, basınç donatısının akmaması söz konusu ise (5.59);

$$\rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \leq \rho_{b1}$$

Buna karşın basınç donatısı akmışsa (5.60);

$$\rho - \rho' \leq \rho_{b1}$$

Sünek davranış için izin verilen üst sınır:

$$\rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \leq 0,85\rho_{b1} = \rho_{m1} \quad (5.69)$$

$\sigma'_s = f_{yd}$ ise;

$$\rho - \rho' \leq 0,85\rho_{b1} = \rho_{m1} \quad (5.70)$$

dir. Benzer şekilde deprem bölgelerinde:

$$\rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \leq 0,60\rho_{b1} = \rho_{d1} \quad (5.71)$$

$\sigma'_s = f_{yd}$; ise

$$\rho - \rho' \leq 0,60\rho_{b1} = \rho_{d1} \quad (5.72)$$

olur. Sehim denetimi gerektirmeyen donatı yüzdesi:

$$\rho - \rho' \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} \leq \rho_i = 0,235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5.73)$$

$\sigma'_s = f_{yd}$; ise

$$\rho - \rho' \leq \rho_{i1} \quad (5.74)$$

dir.

5.1.4.2. Kesit hesabı

Tek donatılı kesit için hazırlanan hesap çizelgelerine, çift donatılı kesitler için, basınç donatısının akmaması durumları için σ'_s gerilmelerinin kolay hesabını sağlayacak sütunlar eklenmiştir. Böylece bu amaçla özel bir hesap yapmadan, basınç donatısının akıp akmadığı da denetlenebilmektedir. (5.65)'den.

$$\sigma'_s = 60\left(1 - k_1 \frac{d'}{a}\right) \leq f_{yd} \quad (\text{kN/cm}^2)$$

$a = k_a d$; $d' = d - z_s$ yazılırsa

$$\sigma'_s = 60\left(1 - k_1 \frac{d - z_s}{k_a d}\right) = 60 \left[1 - \frac{k_1}{k_a} \left(1 - \frac{z_s}{d}\right) \right] \quad (5.75)$$

bulunur. $f_{ck} \leq 25$ MPa betonlar için, $k_1 = 0,85$ ile;

$$\sigma'_s = 60 \left[1 - \frac{0,85}{k_a} \left(1 - \frac{z_s}{d} \right) \right] \quad (5.76)$$

olur. k_a değerleri tek donatılı kesitlerde ρ değerleri için hesaplanmış durumdadır. Çift donatı için, çizelge kullanılırken $\rho = \rho_1$ alınmalıdır. k_a 'nın küçük değerleri için, köşeli parantezin ikinci terimi 1'den büyük olabilmektedir; bunun anlamı, böyle bir durumda $\sigma'_s =$ gerilmesi de çekme olacak demektir ($x < d'$ hali). Bu durumda basınç donatısı, farklı düzeye konmuş çekme donatısına dönüşmektedir. Uygulamada, normal donatılmış bir kesitin, bu kadar küçük moment etkisiyle kırılma durumuna gelmesine rastlanmaz.

Uygulamada bir tasarım probleminde; kesit boyutları, malzeme ve hesap momenti bilinmektedir. Ayrıca hangi koşullara uyulacağı -sünek davranış; deprem bölgesi, sehim denetimi- bilinir. Çekme ve gerekiyorsa basınç donatısı hesabı gerekmektedir.

Verilenler: $b_w, d, f_{cd}, f_{yd}, M_d$, tasarım (davranış) koşulları.

İstenen: $A_s = ?$, $A'_s = ?$

Çözüm: Başlangıçta kesitin çift donatılı olup olmayacağı belirli değildir.

- $K = b_w d^2 / M_d$ hesaplanır. K değeri, istenen koşula göre sınırdaki $K_{sınır}$ değeri - K_f, K_d yada K_m - ile karşılaştırılır.
- $K > K_{sınır}$ ise tek donatılı kesit yeterlidir; bu takdirde, çekme donatısı hesaplanır; süneklik sağlamak ve benzeri gerekçelerle ayrıca; örneğin kesit mesnet kesiti ve yapı birinci veya ikinci derece deprem bölgesinde ise, en az çekme donatısının yarısı kadar da basınç donatısı öngörülür.
- $K < K_{sınır}$ ise çift donatılı kesit, dayanım yönünden de gereklidir.
- Birinci kuvvet çiftine ait M_1 momenti ve bu moment için gerekli A_{s1} donatısı hesaplanır:

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_{sınır}} \quad A_{s1} = \frac{M_1}{k_z d f_{yd}} = k_s \frac{M_1}{d} = \rho_1 b_w d$$

- İkinci kuvvet çiftinin karşılayacağı M_2 momenti bulunur:

$$M_2 = M_d - M_1$$



- $A_{s2} = \frac{M_2}{(d - d')f_{yd}}$ hesaplanır.

- Çekme donatısı $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ ile çekme donatısı bulunur.

- Basınç donatısı A'_s için:

Hesap çizelgelerinden $z/d = (d - d')/d$ için σ'_s okunur.

$$\sigma'_s = f_{yd} \text{ ise, } A'_s = A_{s2}$$

$$\sigma'_s < f_{yd} \text{ ise, } A'_s = A_{s2} \frac{f_{yd}}{\sigma'_s}$$

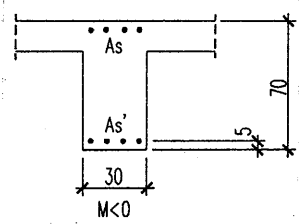
ile basınç donatısı bulunur (').

- Ek çizelge 1 ve 2'den donatı seçilir.

(¹) Deprem Yönetmeliği (1997)'nin giriş mesnetlerinde çekme donatısının belirli bir miktarından az olmamak üzere karşı yüze donatı yerleştirilmesini öngörmüş olması, bu gibi hallerde çift donatılı dikdörtgen donatı hesabına bir başka yaklaşım ve kolaylık getirir. Kesitin ikinci kuvvet çifti denilen kısmının, $\beta \approx A_{s1}/A_s$ olmak üzere (birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $\beta = 1/2$, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde $\beta = 1/3$), kesite etkiyen tasarım momenti M_d , A_{s1} ve A_{s2} ile karşılanacağı düşünülen $M_1 = (1 - \beta)M_d$ ve $M_2 = \beta M_d$ kısımlarına ayrılabilir. M_1 , tek donatılı olarak karşılayabileceği sınır momentten (burada $M(0,60\rho_b)$) küçük ya da ona eşit olmalıdır; bu şartla, M_1 için tek donatılı dikdörtgen kesit hesabı yapılır; " a_1 " ve A_{s1} hesaplanır. " a_1 " ile $\sigma'_s \leq f_{yd}$ bulunur. $A_{s2} = M_2 / [f_{yd}(d - d')]$ ve $A_s = M_2 / [\sigma'_s(d - d')]$ hesaplanır; $A_s = A_{s1} + A_{s2}$. $a_1 \leq 2d$ ise, önceki dip notta değinildiği üzere, doğrudan doğruya $A_s = M_d / [f_{yd}(d - d')]$ ile hesaplanmalıdır. Mukavemet gereği değilse, $A_s = A_{s2}$ alınması yeterlidir; hesap gereği ise, M_1 tek donatı ile taşınabilecek sınır moment alınabilir; bu da yeniden dağılım sınırı olabilir. TS500'de yeniden dağılım için sınır değerler $(0,4 - 0,6)\rho_b$ verilmiştir; $0,5\rho_b$ iyi bir ortalamaadır. Ayrıca, DY(1997) ve TS500/2000 gereği, $A_s/(b_w d) \leq 0,02$ olmalıdır. Aksi hâlde kesit büyütülmelidir (ZP).

5.1.4.3. Çift donatılı dikdörtgen kesit hesapları ile ilgili sayısal uygulamalar

5.17. Şekilde kesiti verilen kirişe $M_d = -450,0$ kNm mesnet momenti etki etmektedir. Malzeme C20/S420'dir. Deprem bölgesinde yapılacak bu kirişin donatısını hesaplayınız.



Verilenler:

$M_d = -450,0$ kNm; $b_w = 30$ cm; $h = 70$ cm;
 $d' = 5$ cm; Malzeme: C20/S420; deprem bölgesi : 3 ($\beta = 1/3$)

İstenen:

Deprem bölgesindeki kirişin donatısının (A_s , A_s') hesabı.

Çözüm:

$$M_1 = 2M_d/3 = 300 \text{ kNm}, M_2 = M_d/3 = 150 \text{ kNm},$$

$$K_1 = b_w d^2 / M_1 = 30 \cdot 65^2 / 300000 = 4,225 > K(0,60\rho_b) = 3,80 ; \text{Çizelge 5.9:}$$

$$k_{a1} = 0,248 - 0,0036 = 0,2444; a_1 = 0,2444 \cdot 65 = 15,886 \text{ cm} > 2d' = 10 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = M_1 / [(1 - k_{a1}/2)d f_{yd}] = 14,41 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = M_2 / [f_{yd} (d - d')] = 6,85 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 14,41 + 6,85 = 21,26 \text{ cm}^2$$

$$A_s / b_w d = 0,0109 < 0,02 \quad \text{ok}$$

$$\sigma_s' = 0,003 \cdot [(15,886 - 5) / 15,886] \cdot 2 \cdot 10^5 = 411 \text{ MPa} > f_{yd}$$
$$\sigma_s' = f_{yd} = 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s' = M_2 / [\sigma_s' (d - d')] = M_2 / [f_{yd} (d - d')] = 6,85 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = \text{maks} (A_s/3 ; 6,85) = 7,09 \text{ cm}^2$$

Kirişin bu kesitinde üstte $21,26 \text{ cm}^2$, altta $7,09 \text{ cm}^2$ donatı gereklidir; Açıklıktan gelen donatılar, bu alanları karşılamıyorsa, ek donatı yerleştirilir.

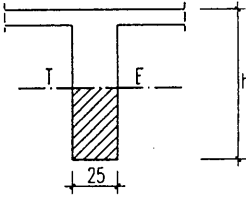
5.18. 25 cm genişliğinde bir betonarme kirişin mesnet kesitinde, ön hesap sonucu $M_{\text{ön}} = -206.0$ kNm, kesin hesap sonucu ise $M_d = -240,0$ kNm eğilme momenti bulunmuştur. Malzeme C20/S220'dir.

a)Ön hesap sonucuna göre, bu kesite, sehimsiz denetimi gerektirmeyecek şekilde ön boyut veriniz.

b)Kesin hesap momentine göre ve yine sehimsiz denetimi gerektirmeyecek şekilde donatısını hesaplayınız.

Verilenler:

$b_w = 25$ cm; Malzeme: C 20/S220
 $M_{\text{ön}} = -206,0$ kNm; $M_d = -240,0$ kNm;



İstenenler:

a) Tek donatıyla ön hesaba göre boyutlandırma,

b) Kesin hesaba göre $A_s = ?$

Çözüm:

a) Sehimsiz denetimi gerektirmeyecek K_f değeri: Çizelge 5.1 yada 5.5'den $K_f = 3,80$, $\rho_f = 0,016$

$$d_{\text{min}} = \sqrt{K_f M_{\text{ön}} / b_w} = \sqrt{3,8 \cdot 20600 / 25} = 55,96 \approx 56 \text{ cm}$$

$$d_{\text{min}} = 56 \text{ cm}, \quad h_{\text{min}} = 56 + 4 = 60 \text{ cm}$$

b) $M_d = 240$ kNm, $b_w = 25$ cm, $d = 56$ cm, ön hesaba göre sehimsiz denetimi gerektirmeyecek minimum yükseklik verildiğinden, hesap momentinin tek donatı ile karşılanamayacağı açıktır.

$$M_1 = 25 \cdot 56^2 / 3,8 = 20631 \text{ kNcm}$$

$$A_{s1} = 0,016 \cdot 25 \cdot 56 = 22,4 \text{ cm}^2$$

$$M_2 = M_d - M_1 = 24000 - 20631,6 = 3368,4 \text{ kNcm}$$

Basınç donatısının da aktığı kabul edilerek:

$$A_{s2} = A'_s = 3368,4 / (56-4) \cdot 19,1 = 3,39 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 25,79 \text{ cm}^2$$

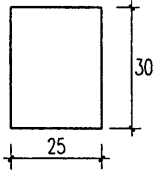
$$A'_s = 3,40 \text{ cm}^2$$

Çözümün geçerli olması için basınç donatısının da aktığının gösterilmesi gereklidir, $\rho_f = 0,016$; $d'/d = 4/56 = 0,07$ için $\beta\rho_b = 0,005$; $\rho_f > \beta\rho_b$; şu halde $\sigma'_s = f_{yd}$ ve çözüm geçerlidir (Çizelge 5.5'den de $\sigma'_s = f_{yd}$ olduğu açıkça görülebilir).

Basınç donatısının aktmadığı durumda kesit hesabı:

5.19. Şekilde kesit geometrisi verilen kirişe $M_d = 50,0$ kNm hesap momenti etkimektedir. Malzeme: C16/ S420'dir. Sehim denetimi gerekmeyecek biçimde kesitin donatısını hesaplayınız ve seçiniz.

Verilenler:



$M_d = 50$ kNm; $b_w = 25$ cm; $h = 30$ cm ($d = 26$) Malzeme: C 16/S420

İstlenen:

Sehim kontrolü gerektirmeyecek donatı

Çözüm:

C16/S420 için sehim kontrolü gerektirmeyen sınır; Çizelge 5.1 yada 5.8'den $K_f = 4,49$; $\rho_f = 0,071$

$K = 25 \cdot 26^2 / 5000 = 3,38 < K_f$ olduğundan çift donatılı kesit gereklidir.

$$\rho_f = \rho_1 = 0,0071 < \rho_m = 0,0115; \sigma'_s = f_{yd}$$

$$d'/d = 4/26 = 0,154 = 0,155 \text{ için } \beta\rho_b = 0,0086$$

$\rho_1 < \beta\rho_b$ olduğundan basınç donatısı aktmıyor demektir; $\sigma'_s < f_{yd}$

$$M_1 = b_w d^2 / K_\ell = 25.26^2 / 4,49 = 3763,9 \text{ kNcm}; A_{s1} = 0,0071.25.26 = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$M_2 = M_d - M_1 = 5000 - 3763,9 = 1236,1 \text{ kNcm}$$

$$A_{s2} = 1236,1 / [(26 - 4) \cdot 36,5] = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 4,62 + 1,54 = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon'_s = 0,003(1 - k_1 \frac{d'}{a})$$

$$\sigma'_s = 60(1 - k_1 \frac{d'}{a}) \text{ kN/cm}^2$$

$$a = \frac{f_{yd}(A_s - A'_s \sigma'_s / f_{yd})}{0,85 f_{cd} b_w} = \frac{\rho_1 f_{yd}}{0,85 f_{cd}} d = \frac{\omega_1}{0,85} d$$

$$\sigma'_s = 60(1 - \frac{0,85 k_1 d'}{\omega_1 d})$$

$$\sigma'_s = 60(1 - \frac{0,85^2}{0,0071 \cdot 36,5 / 1,1 \cdot 26} \cdot \frac{4}{1}) = 31,69 \cong 31,7 < 36,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$A'_s = A_{s2} \frac{f_{yd}}{\sigma'_s} = 1,54 \frac{36,5}{31,7} = 1,77 \text{ cm}^2$$

σ'_s ' nün Çizelge 5.8'den hesabı:

$$d'/d = 0,154 \text{ için } z_s/d = 0,846$$

$$\sigma'_s = 27,8 + \frac{21}{25} (32,4 - 27,8) = 31,66 \text{ kN/cm}^2 \approx 31,7 \text{ kN/cm}^2$$

Problemler

Verilenler:

1) $M_d = 162,15 \text{ kNm}$; $b_w = 20 \text{ cm}$
Malzeme: C20/S420

2) $M_{\text{işletme}} = 120,7 \text{ kNm}$;
 $M_d = 180,0 \text{ kNm}$; $h = 50 \text{ cm}$
Malzeme: C16/S220; 3. derece
deprem bölgesi

3) $M_d = 100,0 \text{ kNm}$; $b_w = 25 \text{ cm}$
 $h = 40 \text{ cm}$; C16/S220
2. derece deprem bölgesi

4) $M_d = 200,0 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$
 $h = 50 \text{ cm}$; Malzeme: C 20/S 420

5) $M_d = -300 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$;
 $h = 60 \text{ cm}$; $d' = 4 \text{ cm}$;
Malzeme: C 16/S 420

6) $M_d = -250 \text{ kNm}$; $b_w = 30 \text{ cm}$
 $+ 150 \text{ kNm}$; $h = 50 \text{ cm}$
 $d' = 4 \text{ cm}$
Malzeme: C 20/S 420

İstenenler:

a) Tek donatılı sünek davranış
sağlayacak $h_{\text{min}} = ?$
(Cevap: $h_{\text{min}} = 50 \text{ cm}$)

b) Aynı kiriş 2. deprem bölgesinde
yapılıyorsa donatısı ne olurdu?
(Cevap: $A_s = 10,74 \text{ cm}^2$;
 $A'_s = 5,37 \text{ cm}^2$)

a) İşletme momentini tek donatıyla
karşılması için gerekli $b_{w\text{min}} = ?$
(Cevap: $b_w = 25 \text{ cm}$)

b) Hesap momentine göre donatı?
(Cevap: $A_s = 19,81 \text{ cm}^2$;
 $A'_s = 6,60 \text{ cm}^2$)

$A_s = ?$; $A'_s = ?$
(Cevap: $A_s = 16,09 \text{ cm}^2$;
 $A'_s = 8,05 \text{ cm}^2$)

Sehim denetimi gerekmeyecek
şekilde kiriş donatısı = ?
(Cevap: $13,74 \text{ cm}^2$; $A'_s = 2,15 \text{ cm}^2$)

a) Sehim denetimi gerekmeyecek
şekilde kiriş donatısı
(Cevap: $A_s = 16,70 \text{ cm}^2$; $A'_s = 4,77$
 cm^2)

b) Bu donatı ile kirişin pozitif
moment taşıma gücü (Cevap:
 $\text{max}M = + 5739,33 \text{ kNm}$)

Sehim denetimi gerekmeyecek
şekilde üst ve alt donatı

(Cevap: $M = -250 \text{ kNm}$;
 $A_s = 17,0 \text{ cm}^2$; $A'_s = 5,41 \text{ cm}^2$)

$M = + 150 \text{ kNm}$;

$A_s = 10,23 \text{ cm}^2$

Sonuç: Üst donatı: $17,00 \text{ cm}^2$;

Alt donatı: $10,23 \text{ cm}^2$)

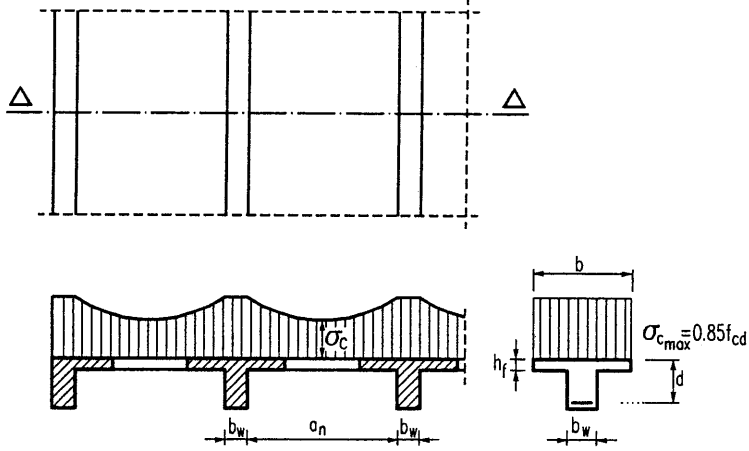
5.2. T Kesitler (Tablalı Kesitler)

5.2.1. Genel

Betonarme yapılarda, kirişlerin ve döşemelerin betonlarının birlikte dökülmesi kiriş ve döşemelerin monolitik olarak bağlanmasını sağlar. Kirişlerin pozitif moment bölgelerinde, çekme- donatısının karşıladığı F_T çekme kuvvetini dengeleyen F_c basınç kuvvetinin büyük bölümünü döşemeler karşılar. Diğer bir deyişle, döşemeler, bağlı oldukları kiriş için bir "basınç tablası" oluştururlar. Böylece basınç bölgesi T yada Γ biçiminde kesitler ortaya çıkar. Bunlar kısaca T kesit yada tablalı kesit olarak adlandırılır. Kiriş enkesitinin iki yanında da betonarme döşeme varsa iki tarafı tablalı kesit (simetrik kesit), yalnız bir tarafında döşeme varsa, örneğin -tabliyenin kenarındaki bir kiriş ise- tek tarafı tablalı kesit (simetrik olmayan kesit) ismini alır.

Kirişlerin negatif moment kesiminde ise (mesnet kesiti), döşemeler çekme bölgesinde kaldıklarından kirişe bir katkıları olmaz; basınç bölgesi dikdörtgen olduğundan, dikdörtgen kesit gibi hesabı gerekir (Hatırlanacağı gibi, Şekil 4.13'de bir sürekli kirişte T kesitli ve dikdörtgen kesitli olarak hesaplanması gereken bölgeler gösterilmiştir).

Döşemelerde basınç gerilmelerinin oluşumu ve bu gerilmelerin kiriş eksenine dik doğrultuda dağılımı incelenirse; üzerindeki yük altında kiriş eğilince üstteki liflerde basınç gerilmeleri oluşacak ve bu lifler kısılacaktır. Kısalan lifler kirişe bitişik döşeme liflerini de kısalmaya zorlayacak, sonuç olarak döşemede de basınç gerilmeleri ortaya çıkacaktır. Bu gerilmeler, kiriş eksenine dik doğrultuda, döşemenin bir kesitinden diğerine kayma gerilmeleri aracılığıyla aktarılır ve döşemenin kayma deformasyonu nedeniyle kirişten uzaklaştıkça gerilmelerin şiddeti azalır. Şekil 5.7'de, kiriş eksenine dik doğrultuda, döşemedeki basınç gerilmelerinin dağılımı gösterilmektedir. Kiriş eksenine dik doğrultudaki döşemelerin mesnet bölgelerinde, üstte eğilme çatlakları oluşması doğaldır. Bu çatlakların gelişmesini önlemek üzere, bu bölgelerde, kirişle döşemeyi bağlayacak yeterli donatı bulundurulması gerekir; bu gereksinme, genelde döşeme donatısı ile karşılanır.



Şekil 5.7. Basınç tablasındaki gerilmelerin dağılımı ve etkili tabla genişliğinde kabul edilen eşdeğer basınç gerilme yayılımı

Böyle değişken basınç gerilmeleri dağılımı ile basınç tablasının karşıladığı basınç kuvvetini bulmak olanaksızdır. Bunun yerine basınç gerilmelerinin daha küçük bir genişliğe fakat üniform olarak dağıldığı kabul edilir. Bu genişlik, "etkili tabla genişliği" olarak adlandırılır ve "b" ile gösterilir. Etkili genişlik her memleketin yürürlükteki yönetmeliğine göre hesaplanır. TS-500/2000'de öngörülen etkili tabla genişliği:

T kesitli kirişlerde:

$$b = b_w + \frac{\ell_p}{5} \quad (5.77)$$

Γ kesitli kirişlerde:

$$b = b_w + \frac{\ell_p}{10} \quad (5.78)$$

$$\ell_p = \alpha \ell$$

TS/500/2000'de önerilen α değerleri şöyledir:

Tek açıklıklı basit mesnetli kirişlerde $\alpha = 1,0$

Sürekli kirişlerde

kenar açıklık için $\alpha = 0,8$

iç açıklık için $\alpha = 0,6$

Konsol kirişlerde $\alpha = 1,5$

Ancak kesit gövdesinin dışına taşan tabla genişliği, kesitin her bir yanında tabla kalınlığının 6 katından ve komşu kiriş gövde yüzüne olan uzaklığın yarısından fazla olamaz ($\leq 6h_f; \leq a_n/2$). Bu ifadelerde:

a_n : Paralel iki kiriş arasındaki serbest uzaklık,

ℓ_p : Hesaplanan kirişin moment sıfır noktaları arasındaki uzaklık,

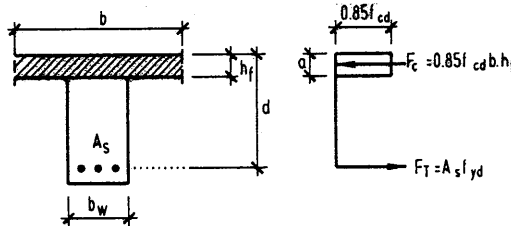
ℓ : Hesap açıklığı anlamındadır.

5.2.2. T kesitli kirişlerin taşıma gücü

Tarafsız eksen derinliği x , basınç tablası alanı büyük olduğundan, dikdörtgen kesitlere oranla çok küçüktür. Tarafsız eksenin konumuna göre iki ayrı durum söz konusu olabilir.

- Tarafsız eksen basınç tablasının içinden geçer.
- Tarafsız eksen basınç tablasının altından (gövdeden) geçer.

Her iki durum için kesitin çalışma biçimi ve taşıma gücünün hesabı farklı olduğundan öncelikle tarafsız eksenin konumu belirlenmelidir. Limit durum olarak, eşdeğer gerilme bloğunun derinliğinin, döşeme kalınlığına eşit olması alınabilir, ($a = h_f$).



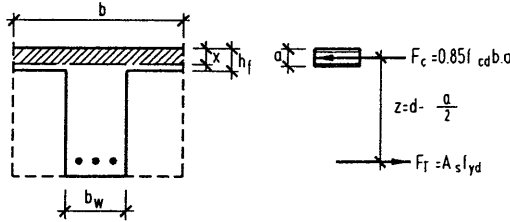
Şekil 5.8. $a=h_f$ limit durumu için bileşke iç kuvvetler

Denge koşulu olarak, tarafsız eksenin her durumu için, $F_c = F_T$ olmalıdır. $F_c \neq F_T$ çıkıyorsa bu tarafsız eksenin konumunun doğru saptanmadığını gösterir. Şekil 5.8'de gösterilen $a = h_f$ limit durumunda çekme ve basınç bileşke kuvvetleri kolayca hesaplanabilir. Bir taşıma gücü problemi söz konusu olduğuna göre kesit ve donatı bilinmektedir. $F_T = A_s f_{yd}$ değeri kesindir, "a" ya bağlı olarak değişen F_c 'dir. $a = h_f$ için $F_c = 0,85 \cdot f_{cd} b h_f$.

$F_c > F_T$ ise, $F_c = F_T$ olması için $a < h_f$ olmalıdır; tarafsız eksen tablanın içindedir.

$F_c < F_T$ ise, $F_c = F_T$ olması için basınç alanı büyümelidir; $a > h_f$ tarafsız eksen tablanın daha altından geçer.

i) Tarafsız eksen basınç tablasının içinde: ($a = k_1 x < h_f$)



Şekil 5.9. $a \leq h_f$ durumu için bileşke kuvvetler

Şekil 5.9'dan görüldüğü gibi; tarafsız eksenin basınç tablası içine düşmesi durumunda, basınç bölgesi dikdörtgendir; dikdörtgen kesitler için bulunan bağıntılar burada da geçerlidir. Şu farkla ki " b_w " yerine " b " tabla genişliği kullanılmalıdır. Gerçekten de, betonun çekme mukavemeti yok sayıldığı için çekme bölgesinin biçimi önemli değildir. Yani bu durumda kesit b genişliğinde bir dikdörtgen kesite eşdeğer sayılabilir. Gerçekte var olmayan bu eşdeğer kesit "soyut dikdörtgen kesit" olarak adlandırılır.

Şekil 5.9'dan:

$$0,85 f_{cd} a b = A_s f_{yd} \quad (5.79)$$

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0,85 f_{cd} b} \quad (5.80)$$

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (5.81)$$

$$\bar{\rho} = \frac{A_s}{bd} \quad (5.82)$$

ile gösterilir ve (5.81) de yerine konular ve düzenlenirse;

$$M_r = \bar{\rho} b d^2 f_{yd} \left(1 - 0,59 \bar{\rho} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right) \quad (5.83)$$

bulunur.

$$\frac{b d^2}{M_r} = \bar{K} = \frac{1}{\bar{\rho} f_{yd} \left(1 - 0,59 \bar{\rho} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right)} \quad (5.84)$$

ile gösterilir ve (5.83)'de

$$\bar{\omega} = \bar{\rho} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (5.85)$$

değeri yerine yazılırsa;

$$M_r = b d^2 f_{cd} \bar{\omega} (1 - 0,59 \bar{\omega}) \quad (5.86)$$

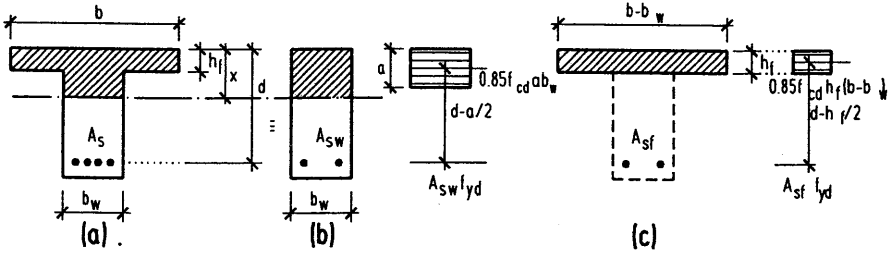
bulunur; boyutsuz eğilme momenti endeksi ise,

$$\frac{M_r}{b d^2 f_{cd}} = \bar{\omega} (1 - 0,59 \bar{\omega}) \quad (5.87)$$

olur. (5.79-5.87) ifadelerinden, $\bar{\rho} = \frac{A_s}{bd}$ alınmak koşulu ile, tarafsız eksenin tablanın içinde kalması durumunda, tek donatılı dikdörtgen kesitler için hazırlanmış çizelgeler kullanılabileceği açıktır.

ii) Tarafsız eksen tablanın altında: ($x > h_f$)

Kiriş yüksekliğinin, döşeme kalınlığına oranla çok büyük yada donatının çok fazla olduğu durumlarda, tablalı kesitlerde beton gerime bloğu derinliği tabla kalınlığından büyük olabilir: $x > h_f$. Çift donatılı kesitlere benzeşim yapılarak; kesit eğilme momentinin yine iki kuvvet çiftinden oluştuğu düşünülebilir; bu kez basınç donatısının yerini basınç tablası almaktadır.



$$A_s = A_{sw} + A_{sf}$$

$$A_{sw} = A_s - A_{sf}$$

$$A_{sf} = 0,85 f_{cd} h_f (b - b_w) / f_{yd}$$

$$M_r = M_w + M_f$$

$$M_w = A_{sw} f_{yd} (d - 0,5a)$$

$$M_f = A_{sf} f_{yd} (d - 0,5h_f)$$

Şekil 5.10. T kesitli kirişlerin taşıma gücü: a) $x > h_f$ durumunda basınç Bölgesi, b) Gövdenin taşıdığı moment M_w , c) Basınç tablasının (flanşın) taşıdığı moment M_f

Birinci kuvvet çifti, gövdenin karşıladığı basınç kuvveti ile çekme donatısının bir bölümünden oluşur. Taşıdığı moment, tek donatılı dikdörtgen kesitin taşıyabildiği momenttir ve M_w ile (kiriş gövdesinin taşıyabildiği moment), bu momentin gerektirdiği çekme donatısı kısmı ise A_{sw} ile gösterilir (Şekil 5.10). Birinci kuvvet çifti için denge denklemleri:

$$(1) F_{cw} = F_{T1}$$

$$(2) M_w = F_{cw} (d - 0,5a) = F_{T1} (d - 0,5a)$$

F_{cw} : Gövdenin karşıladığı basınç kuvveti, F_{T1} : Bunun karşılığı donatıdaki çekme kuvvetidir.

İç kuvvetler yerine hesap mukavemetleri cinsinden eşdeğerleri ile;

$$F_{cw} = 0,85 f_{cd} b_w a \quad (5.88)$$

$$F_{T1} = A_{sw} f_{yd} \quad (5.89)$$

$$0,85 f_{cd} b_w a = A_{sw} f_{yd} \quad (5.90)$$

$$M_w = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a) \quad (5.91)$$

$$= A_{sw} f_{yd} (d - 0,5a) \quad (5.91a)$$

ifadeleri yazılabilir. (5.90)'dan:

$$a = A_{sw} f_{yd} / 0,85 f_{cd} b_w \quad (5.92)$$

bulunur. Şu halde, A_{sw} bilinirse, (5.92)'den "a" ve (5.91) yada (5.91a)'dan M_w hesaplanabilir.

İkinci kuvvet çifti ise; $(b-b_w)$ genişliğindeki tablanın kanatlarının karşıladığı basınç kuvveti ile çekme donatısının kalan bölümünden oluşur. Basınç tablası kanatları, benzeşim bakımından, tablanın ortasına yerleştirilmiş fiktif basınç donatısı gibi düşünülebilir ($d' = h_f / 2$). İkinci kuvvet çifti için denge denklemleri:

$$(1') \quad F_{cf} = F_{T2}$$

$$(2') \quad M_f = F_{cf} (d-0,5h_f) = F_{T2} (d-0,5h_f)$$

F_{cf} :Tablanın (flanşın) karşıladığı basınç kuvveti, F_{T2} : bunun karşılığı çekme donatısı kısmının çekme kuvveti; M_f ise, ikinci kuvvet çiftinin değeridir (flanşın karşıladığı moment). Bu iç kuvvet bileşenleri de malzeme hesap mukavemetleri ile,

$$F_{cf} = 0,85f_{cd}(b-b_w)h_f \quad (5.93)$$

$$F_{T2} = A_{sf}f_{yd} \quad (5.94)$$

yazılabilir. A_{sf} : M_f momentini karşılamak için gerekli donatıyı gösterir. Bunlarla (1') ve (2') tekrar yazılırsa;

$$0,85f_{cd}(b-b_w)h_f = A_{sf}f_{yd} \quad (5.95)$$

$$M_f = 0,85 f_{cd} (b-b_w)h_f (d-0,5 h_f) \quad (5.96)$$

$$= A_{sf}f_{yd} (d-0,5 h_f) \quad (5.96a)$$

olur. Görüldüğü gibi (5.96) ile tabla kanatların karşıladığı moment hemen bulunabilir. Bu momenti karşılamak için gerekli donatı da (5.95) yada (5.96a) yardımıyla hesaplanabilir.

Buna göre; kesitin moment taşıma gücünün hesabında aşağıdaki adımlar izlenebilir:

i) $M_f = 0,85 f_{cd}h_f (b-b_w) (d-0,5 h_f)$ hesaplanır; bununla,

ii) $A_{sf} = \frac{M_f}{(d-0,5h_f)f_{yd}} = \frac{0,85f_{cd}h_f (b-b_w)}{f_{yd}}$ bulunur.

iii) $A_{sw} = A_s - A_{sf}$ hesaplanır.

iv) $a = \frac{A_{sw} f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w}$ ile dikdörtgen basınç bloğu derinliği bulunur.

v) $M_w = A_{sw} f_{yd} (d - 0,5a)$ hesaplanır. M_r taşıma gücü momenti;

vi) $M_r = M_w + M_f$ olur.

Basınç tablasının karşılayabildiği büyük basınç kuvveti nedeniyle ϵ_{cu} değeri 0,003'e erişmeden donatı genellikle akacağından; kırılmanın çekme kırılması biçiminde olup olmadığının denetimi, dikdörtgen kesitlerdeki kadar önemli değildir. TS-500/84, 8.2.5'e göre tablalı kesitlerde dengeli donatı yüzdesi şu ifadeden hesaplanabilir:

$$\rho_b = \rho_{b1} + 0,85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \frac{h_f}{d} \quad (5.97)$$

Burada ρ_{b1} , tek donatılı dikdörtgen kesitler için tanımlanan dengeli donatı yüzdesini göstermektedir, Çizelge 5.1'den alınabilir. Sağ taraftaki ikinci terim ise,

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d} \quad (5.98)$$

değerine eşittir. Demek ki; tablalı kesit için dengeli donatı oranı, dikdörtgen kesit haline ait dengeli donatı oranına ρ_f eklenerek bulunabilir; yani ikinci kuvvet çiftinin davranışı sünek kabul edilmektedir:

$$\rho_b = \rho_{b1} + \rho_f \quad (5.99)$$

(5.99)'daki ρ değerlerinin soyut dikdörtgen kesit incelenirken (5.82)'de tanımlanan $\bar{\rho}$ değeri ile karıştırmaması gerekir ($\rho = A_s/b_w d$, $\bar{\rho} = A_s/bd$).

5.2.3. Özet

Kesiti ve donatısı bilinen T kesitli kirişin taşıma gücünü bulmak için;

i) Tarafsız eksenin konumu belirlenir.

$$F_c = 0,85 f_{cd} b h_f \quad F_T = A_s f_{yd}$$

$$F_c \geq F_T \text{ ise } a \leq h_f$$

+

$$F_c < F_T \text{ ise } a > h_f$$

ii) $a < h_f$ ise soyut dikdörtgen kesit hesabı yapılır:

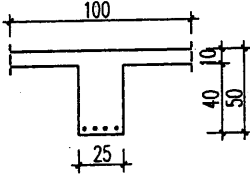
$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0,85 f_{cd} b}; \quad M_r = 0,85 f_{cd} b a (d - 0,5a)$$

iii) $a > h_f$ ise T kesit hesabı söz konusudur:

- $M_f = 0,85 f_{cd} (b - b_w) h_f (d - 0,5 h_f)$
- $A_{sf} = \frac{M_f}{(d - 0,5 h_f) f_{yd}}$
- $A_{sw} = A_s - A_{sf}$
- $a = \frac{A_{sw} f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w}$
- $M_w = A_{sw} f_{yd} (d - 0,5a) = 0,85 f_{cd} b_w a (d - 0,5a)$
- $M_r = M_f + M_w$

5.2.4. T kesitli kirişlerin taşıma gücü ile ilgili sayısal uygulamalar

5.20. Şekilde kesit geometrisi ve çekme donatısı verilen tablalı kirişin moment taşıma gücünü bulunuz. Malzeme C16/S220'dir.



Verilenler :

$A_s = 4 \phi 20 = 12,57 \text{ cm}^2$; $b_w = 25 \text{ cm}$; $b = 100 \text{ cm}$
 $h = 50 \text{ cm}$ ($d = 46 \text{ cm}$); $h_f = 10 \text{ cm}$
Malzeme C16/S220

İstenen:

$M_r = ?$

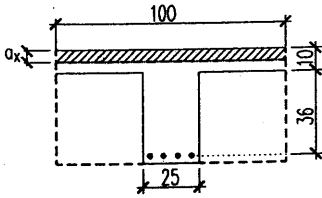
Çözüm:

Çalışma biçimini belirlemek için, önce eşdeğer gerilme bloğunun derinliğinin döşeme kalınlığına eşit olduğu kabulü ($a = h_f$) ile;

$$F_c = 0,85f_{cd}bh_f = 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10 = 935 \text{ kN}$$

$$F_T = A_s f_{yd} = 12,57 \cdot 19,1 = 240 \text{ kN}$$

Hesaplanır. Görüldüğü gibi, bu durumda $F_c > F_T$ dir. Oysa denge şartından $F_c = F_T$ olmalıdır. Şu halde $a < h_f$ olmalıdır; basınç bölgesi dikdörtgendir. Kesit $b_w = 100 \text{ cm}$ genişliğinde soyut bir dikdörtgen kesit olarak hesaplanabilir:



$$A_s f_{yd} = 0,85 f_{cd} b a$$

$$a = A_s f_{yd} / (0,85 f_{cd} b)$$

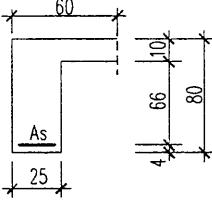
$$a = 12,57 \cdot 19,1 / (0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 100)$$

$$a = 2,568 \text{ cm}$$

$$M_r = A_s f_{yd} (d - 0,5a) = 12,57 \cdot 19,1 (46 - 0,5 \cdot 2,568) \\ = 10735,7 \text{ kNcm} = 107,36 \text{ kNm}$$

5.21. Şekilde geometrisi ve donatısı verilen tek tarafı tablalı kesitin moment taşıma gücünü hesaplayınız. Malzeme C16/S420.

Verilenler:



$$b_w = 25 \text{ cm}; b = 60 \text{ cm}; h = 80 \text{ cm}; h_f = 10 \text{ cm}$$

$$A_s = 6\Phi 22 = 22,81 \text{ cm}^2; \text{ Malzeme C16/S420}$$

İstenen:

$$M_r = ?$$

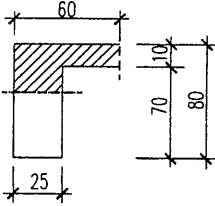
Çözüm:

$a = h_f$ için basınç ve çekme kuvvetleri hesaplanırsa;

$$F_c = 0,85f_{cd}bh_f = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 10 = 561 \text{ kN}$$

$$F_T = A_s f_{yd} = 22,81 \cdot 36,5 = 832,6 \text{ kN}$$

$F_c < F_T$ olduğundan $a > h_f$ dir; tablalı kesit hesabı yapılacaktır.



$$M_f = (b - b_w)h_f 0,85f_{cd}(d - 0,5h_f)$$

$$M_f = 35 \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 1,1 (76 - 5) = 23234,8 \text{ kNcm}$$

$$A_{sf} = M_f / ((d - 0,5h_f) f_{yd}) = 23234,8 / (71 \cdot 36,5)$$

$$A_{sf} = 8,79 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw} = A_s - A_{sf} = 22,81 - 8,97 = 13,84 \text{ cm}^2$$

$$a = A_{sw} f_{yd} / (b_w 0,85 f_{cd}) = 13,84 \cdot 36,5 / (25 \cdot 0,85 \cdot 1,1) = 21,62 \text{ cm}$$

$$M_w = A_{sw} f_{yd} (d - 0,5a) = 13,84 \cdot 36,5 (76 - 0,5 \cdot 21,62) = 32932,0 \text{ kNcm}$$

$$M_r = M_f + M_w = 23234,8 + 32932,0 \approx 56166 \text{ kNcm} \approx 561,67 \text{ kNm}$$

$$M_r = 561,67 \text{ kNm}$$

Problemler

Verilenler:

1) $b = 60 \text{ cm}$; $h = 40 \text{ cm}$; $b_w = 25 \text{ cm}$;
 $h_f = 10 \text{ cm}$; $A_s = 4 \phi 14 = 6,16 \text{ cm}^2$
Malzeme: C20/S420

2) $b = 45 \text{ cm}$; $h = 50 \text{ cm}$; $b_w = 25 \text{ cm}$;
 $A_s = 4\Phi22 = 15,21 \text{ cm}^2$
Malzeme: C16/S420

3) $b = 80 \text{ cm}$; $h = 70 \text{ cm}$; $b_w = 25 \text{ cm}$;
 $h_f = 10 \text{ cm}$; $A_s = 4 \phi 20 = 12,57 \text{ cm}^2$
Malzeme: C16/S220

4) $b_w = 25 \text{ cm}$; $h_f = 10 \text{ cm}$; $a_n = 450 \text{ cm}$;
 $\ell_p = 400 \text{ cm}$; $A_s = 4 \phi 16 = 8,04 \text{ cm}^2$
Malzeme: C20/S220

İstenenler:

$M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 77,22 \text{ kNm}$)

a) $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 217,1 \text{ kNm}$)
b) Sehim kontrolü
gerekir mi?
(Cevap: Gerekir)

a) $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 154,6 \text{ kNm}$)
b) Sünek davranış
sağlanır mı?
(Cevap: Sağlanır)

a) $M_r = ?$
(Cevap: $M_r = 85 \text{ kNm}$)
b) Deprem bölgesinde
kullanılabilir mi?
(Cevap: Kullanılabilir)

5.2.5. T kesitli kirişlerin tasarımı (Kesit hesabı)

5.2.5.1. Donatı sınırlandırmaları

Üst sınır değerleri:

(5.99)da tablalı kesitlerdeki dengeli donatı oranı:

$$\rho_b = \rho_{b1} + \rho_f$$

olarak belirtilmişti.

Sünek davranış için uyulması zorunlu koşul:

$$\rho \leq 0,85 \rho_b \text{ ile,}$$

$$0,85 \rho_b = 0,85 \rho_{b1} + 0,85 \rho_f$$

$$\rho \leq 0,85 \rho_{b1} + 0,85 \rho_f$$

$$\rho - 0,85 \rho_f \leq 0,85 \rho_{b1} = \rho_m \quad (5.100)$$

bulunur. Burada ρ ve ρ_f şu anlamdadır:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}; \quad \rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d}$$

Benzer şekilde deprem bölgelerinde kullanılacak kirişlerde, yeniden dağılım oluşabilmesi için, hiç değilse,

$$\rho - 0,60 \rho_f \leq 0,60 \rho_{b1} = \rho_{d1} \quad (5.101)$$

sağlanmalıdır. Sehim denetimi gerektirmeyecek donatı oranı sınırı ise benzer şekilde,

$$\rho - \rho_f \leq \rho_{f1} \quad (5.102)$$

olarak yazılabilir.

Genellikle olduğu gibi, tarafsız eksenin tablanın içine düşmesi durumunda, donatı oranının tamamı ρ_f sayılabileceğinden, üst sınır değerler kendiliğinden sağlanmış olmaktadır. Özel olarak, sınır koşullardan herhangi biri karşılanamıyorsa kesit gerçekten çok küçük seçilmiş demektir, büyütülmelidir. Teorik olarak basınç donatısı ile hesap mukavemeti artırılabilir. Ancak uygulamada, T kesitli kirişlerde, hesap

Momentini karşılayabilmek için basınç donatısı kullanma yoluna, kesinlikle gidilmemelidir. Buna karşılık, kirişlerin T kesit olarak çalıştığı açıklık bölgelerindeki montaj donatısı, kendiliğinden basınç donatısı durumundadır. Sünekliliği arttırmak için bu donatı arttırılabilir, fakat hesap mukavemetine katkısı dikkate alınmaz.

Alt sınır değerleri:

Dikdörtgen kesitler için verilen minimum donatı oranları T kesitler için de aynı gerekçelerle geçerlidir; $\rho_{\min} = \frac{A_s}{b_w d}$ olarak anlaşılacak üzere;

- Açıklık kesitinde : $\rho_{\min} = 0,8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$
- Mesnet kesitinde : $\rho_{\min} = \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$

5.2.5.2. Kesit Hesabı

Betonarme kirişlerin daha elverişsiz olan mesnet bölgelerinde ve dikdörtgen kesit hesabı ile boyutlandırıldığı belirtilmişti. Bu durumda kesit boyutları bu mesnet bölgelerinde yapılan bu hesaplardan biliniyor demektir; sadece gerekli donatının hesabı gerekmektedir:

Bilinenler: $b, b_w, d, h_f, f_{yd}, f_{cd}, M_d$

Aranan: $A_s = ?$

Taşıma gücü bölümünde, tarafsız eksenin (TE) konumuna göre hesap biçiminin değiştiği açıklanmıştı. Öyleyse ise, çözüme TE'nin konumunu belirlemekle başlamak gerekir. Oysa A_s değeri bilinmediğinden başlangıçta tarafsız eksenin konumu çekme ve basınç kuvvetlerinin dengesinden bulunamaz. Bunun yerine uygulamada, tasarımda şu yol izlenir:

$a = h_f$ varsayılarak, kesitin taşıyabileceği M_v yardımcı momenti hesaplanır.

- $M_v > M_d$ ise (yani sadece tabladaki basınç gerilmeleri alınarak bulunan moment, hesap momentinden büyükse) $a < h_f$ demektir; çünkü M_v 'den daha küçük M_d etkisiyle tablanın bütün yüksekliği basınca çalışmayacaktır; bu halde soyut dikdörtgen hesabı yeterlidir.
- $M_v < M_d$ ise TE tablanın altındadır. T kesit hesabı gereklidir

i) $a < h_f$, soyut dikdörtgen kesit hesabı

b_w yerine b kullanılarak dikdörtgen kesit çizelgelerinden yararlanılabilir:

- $K = \frac{bd^2}{M_d}$ hesaplanır.
- $K > K_{sınır}$ ise kesit uygundur.
- İlgili çizelgeden K değerinin karşısındaki k_z (yada k_s) okunur; bunlarla; eğilme momentinin gerektirdiği donatı, aşağıdaki ifadelerin biri ile hesaplanır:
- $A_s = \frac{M_d}{k_z df_{yd}} = k_s \frac{M_d}{d}$ hesaplanır.
- Gerekli donatı alanı ve b_w genişliği göz önünde tutularak donatı seçilir.

Dikdörtgen kesit çizelgeleri T kesitlerde soyut dikdörtgen kesit hesapları için kullanılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1) K değeri hesaplanırken " b_w " yerine " b " kullanıldığında çok büyük K değerleri bulunabilir; çizelgenin üst sınırına dayanabilir, hatta dışına çıkabilir. Bu, minimum donatı sınırının altına düşüldüğü anlamına gelmez; " b " değeri kullanıldığında, çizelgeden okunun ρ , $\bar{\rho} = A_s/bd$ dir (Donatı miktarının soyut dikdörtgenin faydalı kesitine oranı). Oysa minimum donatı oranında donatının gövde kesitine oranı söz konusudur: $\rho_{min} = A_s / b_w d$.

2) Çizelge değerleri ile donatı hesaplarında, kesinlikle, ρ 'dan gidilmemelidir. $A_s = \bar{\rho} bd$ ifadesinden bulunacak donatı alanı, ρ 'da kaçınılması olanaksız küçük yuvarlatma hataları, gerçekte mevcut olmayan (soyut) ve büyük bir kesit ile çarpılarak büyüdüğü için, yanlış olabilir.

3) Çizelgeler incelenirse k_z ve k_s 'deki değişim çok yavaş olduğu görülür. Bu nedenle K nın çizelge dışına düşmesi durumunda en üst satırdaki k_z değeri kullanılarak bulunacak donatı alanı pratik olarak yeterli olur.

ii) $a > h_f$, T kesit hesabı

- Önce basınç tablası kanatlarının karşılayabileceği taşıma gücü momenti hesaplanır:

$$M_f = 0,85 f_{cd} (b - b_w) h_f (d - 0,5h_f)$$

- M_f momentinin gerektirdiği donatı miktarı bulunur:

$$A_{sf} = \frac{M_f}{\left(d - \frac{h_f}{2}\right) f_{yd}}$$

- Gövdenin karşılaması gereken moment bulunur:

$$M_w = M_d - M_f$$

- Gövde momenti (M_w) için tek donatılı dikdörtgen kesit hesabı yapılır:

$K_w = \frac{b_w d^2}{M_w}$ hesaplanır. Çizelgeden k_z okunur. Gövde momenti için gerekli donatı hesaplanır

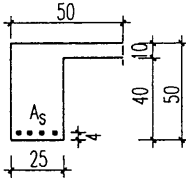
$$A_{sw} = \frac{M_w}{k_z d f_{yd}}$$

- $A_s = A_{sf} + A_{sw}$ olur.
- Donatı seçilir.

5.2.5.3. T kesitli kirişlerin kesit hesaplarıyla ilgili sayısal uygulamalar

5.22. Şekilde kesit geometrisi verilen tablalı kirişe $M_d = 200$ kNm hesap momenti etkimektedir. Malzeme C16/S420'dir. Sehim denetimi gerekmeyecek şekilde kesit donatısını hesaplayınız.

Verilenler:



$M_d = 200$ kNm; $b_w = 25$ cm; $b = 50$ cm; $h = 50$ cm;

$h_f = 10$ cm;

İstenen:

$A_s = ?$

Çözüm:

Kesitin çalışma biçimini belirlemek için $a = h_f$ kabul ederek bir yardımcı moment hesaplanır ve bunu hesap momenti ile karşılaştırılır.

$$M_y = 0,85f_{cd}bh_f (d - 0,5h_f) = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 50 \cdot 10 (46 - 5) = 19167,5 \text{ kNcm}$$

$$M_d = 20000 \text{ kNcm} > M_y$$

Şu halde TE basınç tablasının altındadır, T kesit hesabı yapılacaktır. Flanşın karşıladığı moment:

$$M_f = 0,85f_{cd} (b-b_w) h_f (d-0,5h_f) = 0,85 \cdot 1,1 (50-25) 10 (46-5) = 9583,8 \text{ kNcm}$$

Bu momenti karşılamak için gerekli donatı:

$$A_{sf} = M_f / [(d - 0,5h_f) f_{yd}] = 9583,8 / (41 \cdot 36,5) = 6,40 \text{ cm}^2$$

Gövdenin karşılayacağı moment

$$M_w = M_d - M_f = 20000 - 9583,8 = 10416,2 \text{ kNcm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_w} = 25 \cdot 46^2 / 10416,2 = 5,08; \text{ Çizelge 5.8 : } k_z = 0,880$$

$$A_{sw} = \frac{10416,2}{0,880 \cdot 46 \cdot 36,5} = 7,05 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{sf} + A_{sw} = 6,40 + 7,05 = 13,45 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seçilen } A_s = (2 \phi 22 + 2 \phi 20) = 13,88 \text{ cm}^2$$

Sehim kontrolü gerekmemesi için; $\rho - \rho_f \leq \rho_\ell$ olmalıdır.

$$\rho - \rho_f = \rho_w = 7,05 / (25 \cdot 46) = 0,0061; \text{ C16/S420 için } \rho_\ell = 0,0071$$

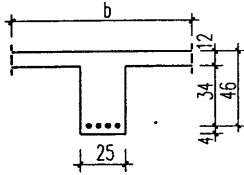
$\rho - \rho_f = \rho_\ell$ olduğuna göre çözüm geçerlidir.

5.23. Şekilde verilen tablalı kirişin malzemesi C16/S420'dir. Bu kirişin donatısını,

a) $M_d = 200 \text{ kNm}$

b) $M_d = 600 \text{ kNm}$ moment etkisine göre hesaplayınız.

Verilenler:



$$b_w = 25 \text{ cm}; h = 50 \text{ cm}; a_n = 400 \text{ cm}; \ell_p = 500 \text{ cm};$$

$$h_f = 12 \text{ cm}; \text{ Malzeme C16/S420}$$

İstenenler:

a) $M_d = 200 \text{ kNm}$ $A_s = ?$

b) $M_d = 600 \text{ kNm}$ $A_s = ?$

Çözüm:

Basınç tablası genişliği $b = b_w + \frac{\ell_p}{5} = 25 + \frac{500}{5} = 125 \text{ cm}$; aynı zamanda $0,5 (b - b_w) \leq 6 h_f$ ve $0,5 (b - b_w) < a_n / 2$ olmalıdır:

$0,5 (b - b_w) = 50 \text{ cm} < 6 h_f = 72 \text{ cm}$; $50 < 400 / 2 = 200 \text{ cm}$; şu halde $b = 125 \text{ cm}$ uygundur.

a) $a = h_f$ kabulü ile kesitin taşıyacağı moment:

$$M_y = 0,85 f_{cd} b h_f (d - 0,5 h_f) = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 125 \cdot 12 (46 - 6) = 56100 \text{ kNcm} > M_d = 20000 \text{ kNcm}$$

Şu halde $a < h_f$, dir ve soyut dikdörtgen kesit hesabı yapılacaktır.

$$K = bd^2 / M_d = 125 \cdot 46^2 / 20000 = 13,2 \text{ , Çizelge 5.08: } k_z = 0,957$$

$$A_s = 20000 / (0,957 \cdot 46 \cdot 36,5) = 12,45 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seçilen } A_s = 4\Phi 20 = 12,57 \text{ cm}^2$$

Bu durumda süneklik şartının kontrolüne gerek yoktur.

b) $M_d = 60000 \text{ kNcm} > M_v = 56100 \text{ kNcm}$ olduğundan $a > h_f$ dir ve T kesit hesabı yapılması gerekir:

$$M_f = 0,85 f_{cd} h_f (b - b_w)(d - 0,5 h_f) = 0,85 \cdot 1 \cdot 1,12(125-25) 40 = 44880 \text{ kNcm}$$

$$A_{sf} = 44880 / (40 \cdot 36,5) = 30,74 \text{ cm}^2$$

$$M_w = M_d - M_f = 60000 - 44880 = 15120 \text{ kNcm}$$

$$K_w = 25 \cdot 46^2 / 15120 = 3,50 \text{ ; Çizelge 5.08: } k_s = 0,0338 \text{ ;}$$

$$A_{sw} = 0,0338 \cdot 15120 / 46 = 11,10 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{sw} + A_{sf} = 11,10 + 30,74 = 41,84 \text{ cm}^2$$

Çözümün geçerli olması için, kesitin süneklik şartını sağladığı gösterilmeli, yani $\rho - 0,85\rho_f \leq \rho_m$ olmalıdır.

$$\text{C16 / S420 için } \rho_m = 0,0115$$

$$\rho = 41,84 / (25 \cdot 46) = 0,036; \quad \rho_f = 30,74 / (25 \cdot 46) = 0,027$$

$$\rho - 0,85 \rho_f = 0,036 - 0,85 \cdot 0,027 = 0,013 > \rho_m$$

Bu durumda çözüm geçersizdir. Kesit, $M_d = 600 \text{ kNm}$ lik momenti sünek karşılamaya yetersizdir; kesit boyutları büyütülmelidir.

Problemler

Verilenler:

1) $b=40\text{cm}; b_w=20\text{cm}; h=50\text{cm};$
 $h_f = 8 \text{ cm}; M_d = 150 \text{ kNm}$
Malzeme C16/S420

2) $b = 70 \text{ cm}; b_w = 20 \text{ cm}, h = 50 \text{ cm}$
 $h_f = 10 \text{ cm}; M_d = 180 \text{ kNm}$
Malzeme C16/S420

3) $b=50 \text{ cm}; b_w=25 \text{ cm}; h=60 \text{ cm};$
 $h_f = 10 \text{ cm}; M_d = 320 \text{ kNm}$
Malzeme C16/S420

4) $b=50 \text{ cm}; b_w=30 \text{ cm}; h=65 \text{ cm};$
 $h_f = 10 \text{ cm}; M_d = 300 \text{ kNm}$
Malzeme C16/S420

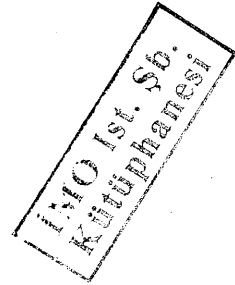
İstenenler:

a) Kesitin çalışma biçimi
(Cevap: T kesit)
b) $A_s = ?$ (Cevap: $A_s = 10,05 \text{ cm}^2$)
c) Sünek davranış kontrolü
(Cev.: Sünek davranış sağlanıyor)

a) Kesitin çalışma biçimi
(Cevap: Soyut dikdörtgen)
b) $A_s = ?$ (Cevap: $11,39 \text{ cm}^2$)

a) Kesitin çalışma biçimi
(Cevap: T kesit)
b) $A_s = ?$ (Cevap: $18,14 \text{ cm}^2$)

a) Kesitin çalışma biçimi
(Cevap: T kesit)
b) $A_s = ?$ (Cevap: $A_s = 14,88 \text{ cm}^2$)
c) Deprem bölgesinde yapılabilir mi?
(Cevap: Yapılabilir)

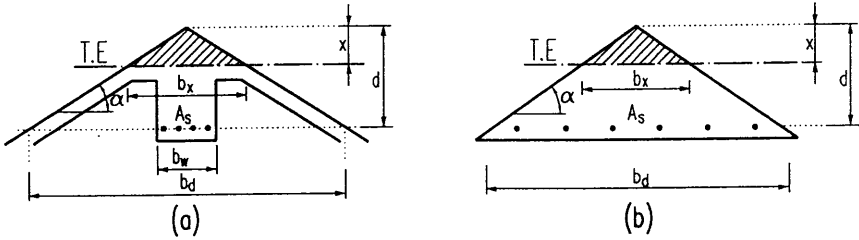


5.3. Üçgen Kesitler

5.3.1. Genel

Basınç bölgesi üçgen olan kesitlerdir. Betonarme çatıların mahya kirişlerinde yada silolarda karşılaşırlar. Betonarme yapılarda sıkça rastlanan bir kesit şekli değildir. Çekme bölgesinin geometrisinin önem taşımadığı açıklanmıştır.

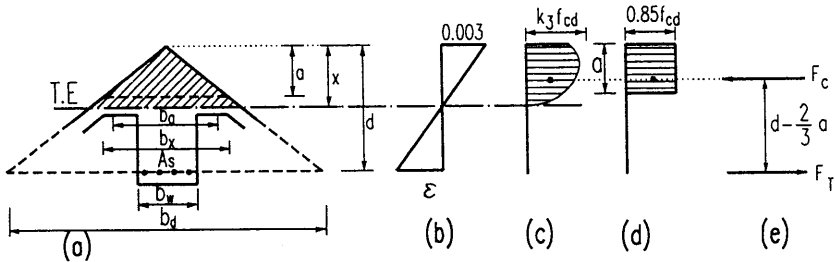
Şekil 5.11'de basınç bölgesi üçgen bir mahya kirişi ile, kendisi üçgen şeklinde olan bir kesit üzerinde, kullanılan semboller gösterilmiştir.



Şekil 5.11. a) Basınç bölgesi üçgen kesit b) Üçgen kesitli kiriş

Basınç bölgesinin genişliği değişkendir. Bunun bir sorun yaratmaması için genişlikler, üçgenin tepe noktasından olan uzaklığına göre tanımlanmıştır: x derinliğindeki genişlik b_x , d derinliğinde b_d gibi. Üçgen yan yüzlerinin yatayla yaptığı açı α 'dır.

5.3.2. Üçgen kesitlerin moment taşıma gücü



Şekil 5.12 Taşıma gücüne ulaşmış üçgen kesit a) Enkesit genişlikleri b) Birim deformasyonlar c) Gerçek gerilme dağılımı d) Eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı e) Bileşke iç kuvvetler ve moment kolu

4. Bölümde Rüşch /5.1/, Hognestad, Mattock ve Kriz /5.2/'in çalışmaları sonucunda, dikdörtgen kesitler için bulunan hesap parametrelerinin, basit eğilme etkisindeki, basınç bölgesi dikdörtgen olmayan kirişlerde de, kullanılabileceği açıklanmıştır. Ayrıca, kırılma anında en dış beton basınç lifindeki birim deformasyona, kesit şeklinin etkisini belirten Şekil 4.8'de üçgen kesitlerin ezilme birim deformasyonunun T kesitlerin iki katı mertebesinde olduğu da hatırlanacaktır. Betondaki bu büyük birim deformasyon karşılığı çekme donatısının da akması normaldir. Güvenlik tarafında kalmak üzere $\epsilon_{cu} = 0,003$ alınmıştır.

Kesitin taşıma gücü incelendiğine göre; kesit geometrisi, malzeme ve çekme donatısı alanı bilinmektedir. Özetle:

Verilenler: h (d); b (b_d); α ; f_{cd} ; f_{yd} ; A_s

Aranan: M_r = ?

İç kuvvetler için, basit eğilme hali söz konusu olduğuna göre,

$$F_c = F_T \quad (1)$$

$$M_r = F_c \left(d - \frac{2}{3} a \right) = F_T \left(d - \frac{2}{3} a \right) \quad (2)$$

yazılabilir. Bileşke kuvvetler, limit durumda, hesap mukavemetleri cinsinden ifade edilirse:

$$F_c = 0,85f_{cd}ab_a / 2 \quad (5.103)$$

$$F_T = A_s f_{yd} \quad (5.104)$$

dir. Şekil (5.12)'den $\text{tg } \alpha = 2a/b_a = 2d/b_d$ ile (5.105)

$$\frac{b_a}{2} = \frac{a}{\text{tg } \alpha} \quad (5.106)$$

bulunur. (b_a)'nın (5.106)'daki değeri (5.103)'de yazılırsa:

$$F_c = 0,85f_{cd}a^2 / \text{tg } \alpha \quad (5.103a)$$

İç kuvvetlerin iz düşüm dengesinden,

$$0,85f_{cd}a^2 / \text{tg } \alpha = A_s f_{yd} \quad (5.107)$$

ile,

$$a = \sqrt{\frac{A_s f_{yd}}{0,85 f_{cd}}} \operatorname{tg} \alpha \quad (5.108)$$

bulunur, a değeri (5.108)'den hesaplanıp moment ifadesinde yerine yazılırsa:

$$M_r = 0,85 f_{cd} \frac{a^2}{\operatorname{tg} \alpha} \left(d - \frac{2}{3} a \right) \quad (5.109)$$

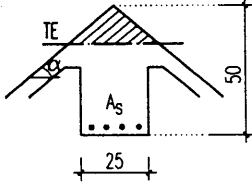
$$= A_s f_{yd} \left(d - \frac{2}{3} a \right) \quad (5.109a)$$

Şu halde kesitin moment taşıma gücünü bulmak için önce (5.108)'den " a " bulunup, (5.109) yada (5.109a)'dan M_r taşıma gücü hesaplanabilir.

Sayısal uygulama

5.24. Şekilde verilen mahya kirişinde malzeme C16/S220'dir. $b_w = 25$ cm; $h = 50$ cm; $\alpha = 30^\circ$; çekme donatısı $A_s = 4 \phi 14$ 'dür. Kesitin pozitif moment taşıma gücünü hesaplayınız.

Çözüm:



$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 30^\circ = 0,577; f_{cd}/f_{yd} = 11/191 \text{ MPa}$$

$$A_s = 4 \phi 14 = 6,15 \text{ cm}^2$$

$$a = \sqrt{\frac{6,15 \cdot 191}{0,85 \cdot 11}} \cdot 0,577$$

$$Z = d - \frac{2}{3} a = 46 - \frac{2}{3} \cdot 8,52 = 40,32 \text{ cm}$$

$$M_r = 6,15 \cdot 191 \cdot 40,32 = 4736,2 \text{ kNcm} \approx 47,36 \text{ kNm}$$

5.3.3. Üçgen kesitlerin boyutlandırılması (kesit hesabı)

Geometrisi belirli bir üçgen kesitin M_d hesap momenti etkisinde donatısı hesaplanacaktır.

$$\rho = A_s / (b_d d / 2) \quad (5.110)$$

olarak tanımlanırsa, A_s in ve (5.105)'den $\tan \alpha = 2d/b_d$ değerleri (5.108)'de yazılırsa:

$$a = \sqrt{\frac{\rho b_d d}{2} \cdot \frac{f_{yd}}{0,85 f_{cd}} \cdot \frac{2d}{b_d}} = \sqrt{\frac{\rho}{0,85} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}} \cdot d$$

$$a = \sqrt{\frac{\omega}{0,85}} \cdot d \quad (5.111)$$

$$z = d - \frac{2}{3} a = d - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{0,85}} d$$

$$z = k_z d \quad (5.112)$$

$$k_z = 1 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{0,85}} = 1 - 0,723 \sqrt{\omega} \quad (5.113)$$

$$M_d = F_c k_z d = F_T k_z d$$

(5.103a), (5.111) ve (5.105)'den:

$$F_c = 0,85 f_{cd} \frac{\omega}{0,85} \frac{d^2}{\tan \alpha} = \frac{1}{2} f_{cd} \omega b_d d$$

$$M_d = b_d d^2 f_{cd} \frac{\omega}{2} (1 - 0,723 \sqrt{\omega}) \quad (5.114)$$

$$= A_s f_{yd} (1 - 0,723 \sqrt{\omega}) \quad (5.114a)$$

$$m = \frac{M_d}{b_d d^2 f_{cd}} = \frac{\omega}{2} (1 - 0,723 \sqrt{\omega}) \quad (5.115)$$

Görüldüğü gibi; dikdörtgen kesitlerdeki Çizelge 5.11'e benzer şekilde ω ya değerler vererek m değerleri hesaplanabilir. Yada m değeri hesaplandıktan sonra ω değeri deneme-yanılma yöntemiyle (tatonmanla) bulunur. (5.114a)'dan,

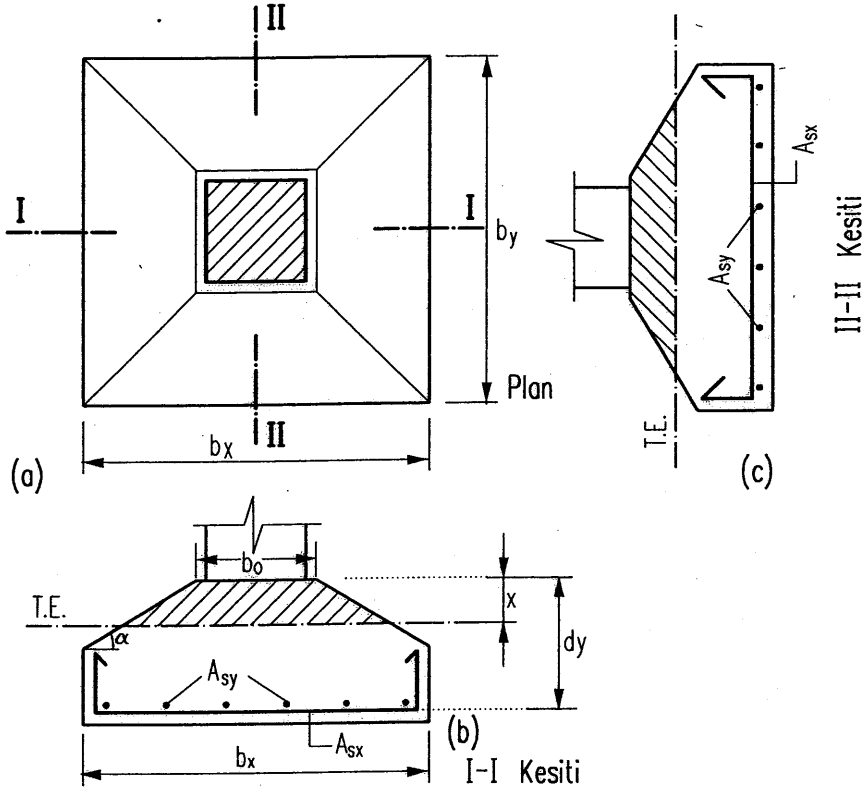
$$A_s = \frac{M_d}{d(1 - 0,723\sqrt{\omega})f_{yd}} \quad (5.116)$$

hesaplanır.

5.4. Trapez Kesitler

5.4.1. Genel

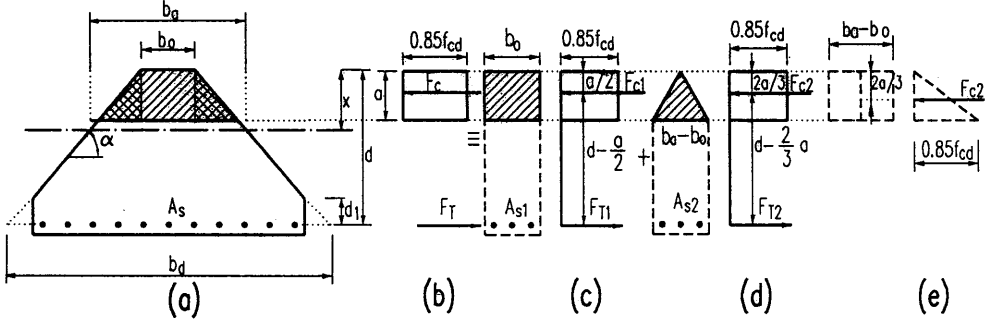
Basınç bölgeleri trapez olan kesitlerdir. Tekil temelerde yükseklik arttıkça, betondan ekonomi yapmak için trapez kesite gidilebilir. Bu yüzden sık karşılaşılan bir kesit şeklidir.



Şekil 5.13 Trapez kesitli tekil temel

5.4.2. Trapez kesitlerin moment taşıma gücü

Kesit geometrisi ve donatısı bilinmektedir; M_r hesaplanacaktır.



Şekil 5.14. Trapez kesitin iç kuvvetlerinin iki kuvvet çiftinin toplamına Dönüştürülmesi : a) Kesit geometrisi, b) Bileşke iç kuvvetler, c) 1. kuvvet çifti - dikdörtgen basınç bölgesi, d) 2. kuvvet çifti - üçgen basınç bölgesi, e) 2. kuvvet çifti basınç bölgesi için alternatif benzeşim

Basınç bölgesinin dikdörtgen ve üçgen olarak ikiye ayrılması hesaplarda kolaylık ve açıklık sağlar. Böylece trapez kesit hesabı, bir dikdörtgen kesitle (Şekil 5.14c), tabla yüksekliği "a" fakat kesiti üçgen olan tabla kanatlarının (Şekil 5.14d) toplamına dönüşür. İkinci kuvvet çiftinin basınç bölgesi şöyle de düşünülebilir: Genişliği $(b_a - b_o)$, derinliği "a" olan basınç tablası, tepede sıfır, "a" derinliğinde $0,85f_{cd}$ olan eşdeğer bir gerilme bloğu etkisi (Şekil 5.14e).

Bilinenler: b_o ; b ; d ; α ; A_s ; f_{cd} ; f_{yd}

Aranan: $M_r = ?$

Bileşke kuvvetlerin değerleri:

$$F_{C1} = 0,85f_{cd}b_o a$$

$$F_{C2} = 0,85f_{cd}a (b_a - b_o)$$

$$F_c = F_{C1} + F_{C2}$$

$$F_{T1} = A_{s1} f_{yd}$$

$$F_{T2} = A_{s2} f_{yd}$$

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} = A_s f_{yd}$$

İç kuvvet izdüşüm denge denklemi ve eğilme momenti:

$$F_T = F_{C1} + F_{C2} \quad (1)$$

$$M_r = F_{C1} (d - 0,5a) + F_{C2} (d - \frac{2}{3}a) \quad (2)$$

$$A_s f_{yd} = 0,85f_{cd}b_o a + 0,425f_{cd}ab_a - 0,425f_{cd}ab_o$$

$$A_s f_{yd} = 0,425f_{cd}a (b_o + b_a) \quad (5.117)$$

$$M_r = 0,85f_{cd}b_o a (d - 0,5a) + 0,425f_{cd}a (b_a - b_o) (d - \frac{2}{3}a) \quad (5.118)$$

bulunur. Kesit geometrisinden,

$$b_a = b_o + 2 \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (5.119)$$

yazılarak değeri (5.118)'de yerine yazılırsa;

$$M_r = 0,85f_{cd}b_o a (d - 0,5a) + 0,85f_{cd} \frac{a^2}{\operatorname{tg}\alpha} (d - \frac{2}{3}a)$$

Ve, diğer taraftan (5.119)'daki b_a değeri (5.117)'de yazılırsa;

$$A_s f_{yd} = 0,85f_{cd}a (b_o + \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha}) \quad (5.120)$$

ve "a"ya göre düzenlenirse,

$$(0,85f_{cd}/\operatorname{tg}\alpha)a^2 + (0,85f_{cd}b_o)a - A_s f_{yd} = 0 \quad (5.121)$$

ifadesine ulaşılır. Denklemin çözümünden "a" değeri elde edilir. (5.119)'dan b_a ve (5.118)'den M_r hesaplanır; yada (5.121)'den "a" bulunduktan sonra M_r değeri (5.118a)'dan hesaplanır.

Sayısal uygulama:

- 5.25. Şekilde geometrisi verilen tekil temelin çekme donatısı $A_s = 20 \phi 14$ dür. Malzeme C14/S220 olduğuna göre bu temelin moment taşıma gücünü bulunuz.

Verilenler:

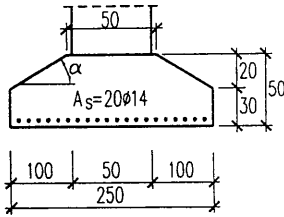
$$b_0 = 50 \text{ cm}; b = 250 \text{ cm}; h = 50 \text{ cm} (d = 45 \text{ cm})$$

$$A_s = 20 \phi 14 = 30,80 \text{ cm}^2;$$

$$f_{cd}/f_{yd} = 9,5/191 \text{ MPa}$$

Aranan:

$$M_r = ?$$



Çözüm:

$$\text{tg } \alpha = 20/100 = 0,20;$$

Denge şartı:

$$A_s f_{yd} = 0,85 f_{cd} a (b_0 + \frac{a}{\text{tg } \alpha})$$

$$30,80 \cdot 191 = 0,85 \cdot 0,95 a (50 + \frac{a}{0,20})$$

Düzenlenip sadeleştirilirse;

$$a^2 + 10a - 145,7 = 0$$

$$a = -5 + \sqrt{25 + 145,7} = 8,06 \text{ cm}$$

$$(5.119)'\text{dan } b_a = b_0 + 2 \frac{a}{\text{tg } \alpha} = 50 + 2 \frac{8,06}{0,20} = 130,6 \text{ cm}$$

$$(5.118)'den \quad M_r = 0,85 f_{cd} b_0 \cdot a (d - 0,5a) + 0,425 f_{cd} a (b_a - b_0) (d - \frac{2}{3} a) \\ = 0,85 \cdot 0,95 \cdot 50 \cdot 8,06 (45 - 4,03) + 0,425 \cdot 0,95 \cdot 8,06 \cdot \\ (130,6 - 50) (45 - \frac{2}{3} \cdot 8,06) =$$

$$M_r = 13332,56 + 10393,7 \approx 23726 \text{ kNcm} = 237,26 \text{ kNm}$$

5.4.3. Trapez kesitlerin boyutlandırılması (kesit hesabı)

Geometrisi belirli bir trapez kesitin, M_d hesap momenti etkisinde donatısı hesaplanacaktır.

Verilenler:

$$b_o; b; \alpha; M_d; f_{cd}; f_{yd}$$

Aranan:

$$A_s = ?$$

(5.118a) da M_r yerine M_d ve $a = k_a d$ yazılırsa;

$$M_d = 0,85f_{cd}b_o d^2 k_a (1 - 0,5k_a) + 0,85f_{cd} \frac{k_a^2 d^3}{\text{tg}\alpha} \left(1 - \frac{2}{3} k_a\right)$$

bulunur. İki taraf $(b_o d^2 f_{cd})$ 'ye bölünürse;

$$m = \frac{M_d}{b_o d^2 f_{cd}} = 0,85 \left[k_a - 0,5k_a^2 + k_a^2 \cdot \frac{d}{b_o \text{tg}\alpha} \left(1 - \frac{2}{3} k_a\right) \right]$$

$$m = \frac{M_d}{b_o d^2 f_{cd}} = 0,85 \left[k_a + \left(\frac{d}{b_o \text{tg}\alpha} - 0,5\right) k_a^2 - \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{b_o \text{tg}\alpha} \cdot k_a^3 \right] \quad (5.122)$$

boyutsuz moment endeksi bulunur. (5.122) ifadesi boyutsuzdur ve sol tarafı hesaplanabilir. Buna göre k_a 'ya göre 3° denklem çözülerek k_a bulunur; elle çözüm halinde deneme yanılma-yanılma yöntemi de kullanılabilir.

$a = k_a d$ ile "a" hesaplanıp (5.120)'den

$$A_s = 0,85f_{cd}a \left(b_o + \frac{a}{\text{tg}\alpha}\right) / f_{yd} \quad (5.123)$$

bulunur.

5.5. Betonarme Kirişlerin Eğilme Donatılarının Hesabı

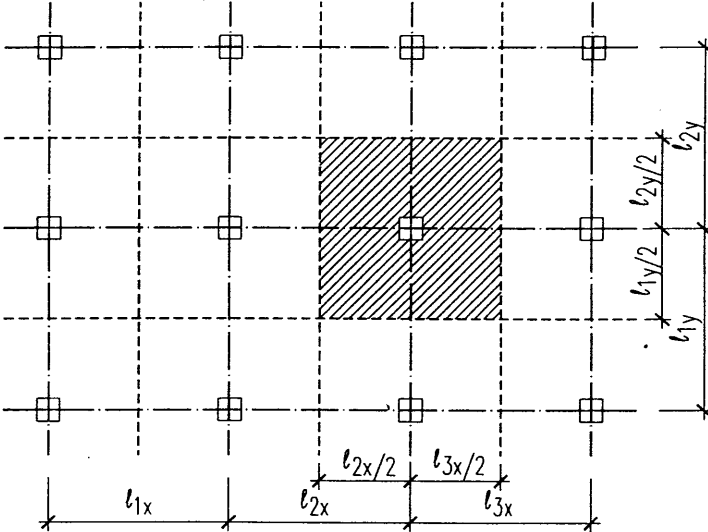
5.5.1. Genel

Basit eğilme etkisindeki elemanların kesit hesapları, uygulamada, kiriş ve döşemelerde kullanılır. Bu nedenle, buraya kadar bağımsız olarak incelenen kesit tiplerinin -özellikle tablalı ve dikdörtgen kesitlerin- kiriş betonarme hesabı içinde bir araya getirilip bağlanmasında yarar görülmüştür. Çünkü söz konusu olan, soyut kesitlerin incelenmesi değil gerçekte, bir kiriş içinde birlikte var olan kesitlerin, sonuç olarak, kirişin betonarme tasarımının yapılmasıdır. Tasarımda, betonarme kesit hesaplarına başlayabilmek için şu işlemlerin bitirilmesi gerekir:

- i) Ön boyutlandırma,
- ii) Yüklerin -düşey ve yatay- saptanması,
- iii) Düşey ve yatay yüklerden gelebilecek en elverişsiz kesit zorlamalarının bulunması.

İ) Kiriş ve kolonlara ön boyut verilmesine ilgili bölümlerde değinilmiştir. Özetlenirse:

Kolonlara aksenal yüke göre ön boyut verilir. Yaklaşık kolon yükleri yaklaşık yük alanları yardımıyla bulunur.



Şekil 5.15. Kolonların yaklaşık yük alanları

İki doğrultuda kolon açıklıklarının orta noktaları birleştirilerek her kolonun yük aldığı bölgeler yaklaşık olarak bulunur. Bu bölge içinde kalan bütün yüklerin, -döşeme, kiriş, duvar- o kolona gittiği varsayılır. Böylece her kattan gelen kolon yükleri ve bunların toplanarak toplam kolon yükleri elde edilir. Özenle uygulanırsa, gerçeğe yakın sonuç veren bir yöntemdir. Daha sonra, 3. Bölümde açıklandığı gibi, gerçekte kolonların bileşik eğilme etkisinde olacağı düşünülerek, bu yükler 1'den büyük amprik katsayılarla çarpılarak yada malzeme hesap mukavemetleri daha düşük tutularak, kolonlara ön boyut verilir. Kolonlardaki hesap eksenel yükünün şu bağıntıları sağlaması istenir:

- TS500/2000, 7.6 bağıntısı $N_d \leq 0,6f_{ck}A_c$ (5.124a)

- Deprem Yönetmeliği, 7.3.1.2 $N_d \leq 0,5f_{ck}A_c$ (5.124b)

Buradan, yapının 1. ve 2. deprem bölgesinde yer alıp almadığına da bağlı olarak;

$$A_c \geq \frac{N_d}{0,9f_{cd}} \quad (\text{TS500}) \quad \text{ve} \quad A_c \geq \frac{N_d}{0,75f_{cd}} \quad (\text{DY-1997}) \quad (5.125a,b)$$

ile, yönetmelikler yönünden, gerekli minimum beton kesit alanı denetlenir.

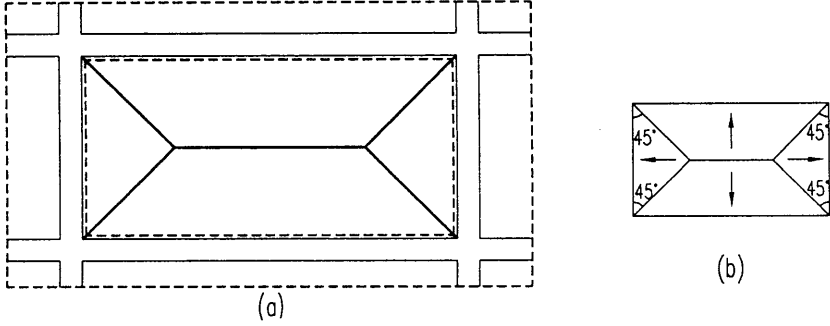
Kirişlerde ise, döşemeden, duvardan ve kirişin kendi ağırlığından gelen yükler toplanır. Ön tasarım olduğu için sabit-hareketli yük ayırımına gerek yoktur. Toplam yük 1,5'la çarpılarak yaklaşık hesap yükü bulunur. Yük açısından, özellikle de açıklığı açısından -büyük açıklık- kritik kesitlerde, yaklaşık bir yöntemle mesnet momentleri hesaplanır. Genellikle ankastrelik momentleri ile yetinilir; böylece güvenlik tarafında kalınmış olur. Kirişin duvar kalınlığı içinde saklanabilmesinin arzu edilebileceğinden, gövde genişliği (20, 25, 30 cm gibi yuvarlatılmış) seçilir. Böyle bir durum yoksa ve gerekiyorsa daha geniş de alınabilir. Ancak kolonları bağlayan çerçeve kirişlerinin genişliği 20 cm (TS500), 25 cm (DY-1997) den, kiriş yüksekliği ise döşeme kalınlığının 3 katından ve 30 cm den az olamaz. Daha sonra uygun bir donatı yüzdesi -minimumdan az değil- seçilerek ilgili

çizelgeden K değeri okunur. $d = \sqrt{\frac{KM_d}{b}}$ hesaplanır. Gerekli paspayı (4, 5

cm gibi) eklenir. Bulunan değer yuvarlatılarak kiriş yüksekliği bulunur. Eğer kiriş küçük açıklıklı fakat çok yüklü ise kesme kuvveti açısından boyutların denetimi gerekir. Açıklık büyük ise, boyutlandırmada eğilme momenti her zaman etkin olur.

ii) Kiriş yükleri için detaylı bir analiz gerekir. Kirişin kendi ağırlığı ve varsa üzerindeki duvardan gelen yükler düzgün yayılı sabit yüklerdir; döşemeden kirişe gelen yüklerin ise bir bölümü sabit, diğer bölümü hareketlidir. TS-498 'Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yükler' de, yapının kullanımına göre alınacak hareketli yükün şiddeti belirtilmiştir -konutlarda 2.0 kN/m², sınıflarda 3.5 kN/m² gibi-.

TS-500/84, 10.2.3 b'ye göre, döşemelerden kirişlere gelen yükler, köşelerin açısı ortasından 45° çizilen doğrularla uzun kenara paralel plak orta çizgisinin ayırdığı alana göre hesaplanır. Şekil 5.b'de bu dağılım görülmektedir. Döşemeden kirişe yük aktarımı için kabul edilen dağılım,



Şekil 5.16 a) Taşıma gücüne ulaşmış bir betonarme döşemede kırılma çizgileri (yield-lines) b) TS-500/84'e göre döşeme yükünün kirişlere dağılışı

çok sayıda deney sonucuna dayanmaktadır. Gerçekten de, Şekil 5.16a'da belirtilen kırılma figürü, döşemenin taşıma gücünü eğilme etkisiyle kaybettiği bütün deneylerde gözlenmiştir. Alt yüzde pozitif momentten gelen çatlaklar köşelere doğru ilerler, üst yüzde, sürekli döşemelerde, döşeme-kiriş birleşiminde gittikçe derinleşen negatif moment çatlakları görülür. Sonunda çatlaklar döşeme sınırlarına kadar ilerler ve döşeme bir plastik hamak gibi taşıma gücünü kaybeder ve göçer. Üzerine rastlayan bütün donatının aktığı ve döşemeyi bölgelere ayıran bu çizgiler, bu konudaki teorisinin kurucusu Johansen /5.12/ tarafından, "kırılma çizgileri" olarak adlandırılır. İngilizce kaynaklarda ise üzerine rastlayan donatı aktığı için "akma çizgileri" (yield lines) olarak anılır /5.13/.

Şekilde görülen kırılma figürü TS-500/84'de kabul edilen yük dağılımının gerekçesini açıklamaktadır. Demek ki döşemelerden, kendisine mesnet olan kirişlere, kiriş kısa kenarda ise üçgen, uzun kenarda ise trapez şeklinde yük aktarılır. O zaman kiriş üzerinde yayılı yükün yanında üçgen yada trapez yük de vardır. Farklı yüklerle çalışmak, hesaplarda biraz güçlük yaratır. Mesnet momentlerinin hesabında bir sorun çıkmaz, ancak açıklık momentlerinin hesabında zaman kaybına yol açar. Bu nedenle TS-500/84'de üçgen ve trapez yük yerine, eşdeğer düzgün (eşit) yayılı yük alınmasına izin verilmiştir. Ancak üçgen yada trapez yük, açıklığın ortasına doğru yoğunlaştığı için, bunlarla eşit açıklık momenti verecek düzgün yayılı yükün şiddeti gerçekten biraz fazladır. Bu da kesme kuvvetlerinin, mesnet reaksiyonları ve kolon yüklerinin gerçek

durumdan fazla bulunmasına yol açar. Yapı az katlı ise bir sorun olmaz. Fakat çok katlı yapılarda, eşdeğer yayılı yük kullanılsa da mesnet tepkileri için gerçek değerler alınmalıdır (Bununla beraber, üçgen ve trapez yüklerle de hesap yapılmasının önü açıktır). TS-500/84'e göre:

$$\text{Üçgen yüke eşdeğer yük için } p_{esd} = \frac{p \ell_k}{3} \quad (5.126)$$

$$\text{Trapez yüke eşdeğer yük için } p_{esd} = \frac{p \ell_k}{3} \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2m^2} \right) \quad (5.127)$$

alınmalıdır. Bu ifadelerde:

ℓ_k : Döşemenin kısa kenarını,

p : Döşeme üzerindeki yayılı yükün şiddetini (sabit yada hareketli),

m : Döşeme uzun kenarının kısa kenara oranını gösterir.

Böylece bulunan yükler işletme yükleridir : g ve q . Değişik yük birleşiminde kullanılacak hesap yükleri de hazırlanmalıdır : $1,4g+ 1,6q$; $0,9g$ gibi.

Yatay yükler ise genelde rüzgâr yada deprem etkileridir. Özel durumlarda toprak yada su itkisi söz konusu olabilir. Rüzgâr ve deprem etkileri dinamikdir. Hesaplarda, genellikle, eşdeğer statik yüke dönüştürülürler. Rüzgâr her yönden yönden esebilir; deprem her yönde etkileyebilir; her ikisinden gelen etkiler de tersinirdir, yön değiştirirler. Rüzgâr yükleri yine TS-498'den alınır. Rüzgârın yapı yüzeylerine yaptığı basınç, rüzgârın esiş hızı ve doğrultusuna, yapının yerden yüksekliğine ve geometrisine, yakınındaki yapıların konumuna bağlıdır. Rüzgâr dinamik basıncı,

$$q = v^2 / 0,16 \text{ kN/m}^2 \quad (5.128)$$

ile hesaplanabilir. Burada v m/s olarak rüzgâr hızını gösterir. Buna göre değişik yüksekliklerde yapıya etkimesi beklenen rüzgâr yükleri bir çizelge ile verilmiştir. Bunlar minimum değerlerdir. Özellik gösteren bölgelerde meteorolojik ölçülerden ve (5.126)'dan yararlanılarak hesap yapılmalıdır.

Deprem etkisi ise değişik etkenlere bağlıdır. Sırasıyla bölgenin sismisitesi (depremselliği), yapının titreşim özellikleri, zemin karakteristikleri deprem yüklerinin şiddetini etkiler. 1998 de yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğine (DY) göre, bir binaya etkiyen eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti);

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0,10 A_0 I W \quad (5.129)$$

ifadesinden bulunur. Burada:

W : DY'ne göre tanımlanan yapı ağırlı,

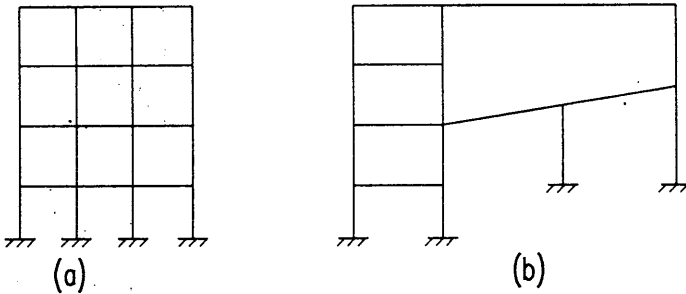
$A(T_1) = A_0 I S(T_1)$; A_0 etkin yer ivmesi katsayısı, $S(T_1)$ spektrum katsayısı, T_1 binanın birinci doğal titreşim periyodu [s], I yapı önem katsayısı,

$R_a(T_1) = 1.5 + (R-1,5)T/T_A$ ($0 \leq T_1 \leq T_A$ için), $R_a(T_1) = R$ ($T_1 > T_A$ için), deprem yükü azaltma katsayısı; R taşıyıcı sistemin tipine bağlı taşıyıcı sistem davranış katsayısı; T_A spektrum karakteristik periyodu anlamındadır.

Bulunan deprem yükü katlara dağıtılır. Deprem ve rüzgâr yüklerinin katlar düzeyinde tekil yükler olarak etkideği varsayılır. Deprem ve rüzgâr etkilerinin eş zamanlı oluşmayacağı varsayılır ve ayrı yük birleşimlerinde (kombination) değerlendirilir.

iii) Düşey ve yatay yüklerden gelebilecek en büyük kesit tesirlerinin bulunması bu kitabın konusu dışındadır, yapı statiği bilim dalının alanına girmektedir. Yine de betonarme tasarımı ilgilendirdiği için çok kısa değinilecektir.

Düşey yükler için, kolonların üst kat ve alt kat döşemeleri düzeyinden ankastre varsayılarak, "kat çerçevesi" hesabı yapılmasına yönetmelikte izin verilmektedir. Bu düşey yüklerden ötürü, katların göreceli yatay ötelemelerinin yok sayılması demektir. Genelde geçerli bir varsayımdır. Ancak her özel durum için uygun olmayabilir. Şekil 5.17a'daki çok katlı çerçeve, kat çerçevesi biçiminde ayrılıp çözümlenebilir.



Şekil 5.17 a) Düzgün yapı çevresi b) Düzgün olmayan yapı çevresi

Şekil 5.17b'deki çerçevede ise düşey yüklerden gelecek yatay ötelemeler yok sayılamaz. Bu örnek, tasarımcı-yönetmelik ilişkisinin nasıl olması gerektiğine dair işaretler taşımaktadır. Yönetmeliğe uyulmalı, fakat ona bağımlı kalınmamalıdır!

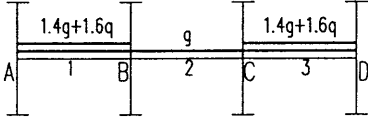
Çerçeve hesaplarında hem farklı yük grupları kullanılır, hem de aranan kesit zorlamalarını verecek en elverişsiz yüklemeler yapılır. Bu da gerekli çerçeve çözümü sayısını attırır. Bir örnek üzerinde açıklamak daha uygun olacaktır. Düşey yük ve deprem etkilerine göre hesaplanacak

3 açıklıklı bir kat çerçevesinde gerekli yük birleşimleri, TS500'de,

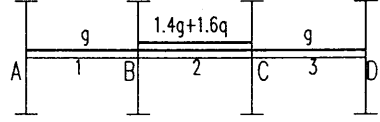
- I. $1,4G + 1,6 Q$
- II. $G + O + E$
- III. $0,9G + E$

olarak sayılmıştır. Deprem yüklerinin yatay bileşenleri önemlidir; yatay yükler ise yapıda antimetrik etkiler oluşturur; düğümlerdeki etkileri büyük, açıklıklarda azdır. Bu nedenle maksimum açıklık momentlerini I. birleşimden bulmak yeterlidir. Deprem mesnet momentlerine etkisi ise büyüktür. Deprem momentleri, yön değiştirdiklerinden, II. birleşimde işletme yüklerinden gelen negatif momenti artırırlar, III. birleşimde ise deprem momentinin mutlak değeri, $0,9G$ 'den gelen negatif momentinkinden büyükse, mesnette, aynı zamanda pozitif (alt yüzde çekme yapan) moment oluşmasına neden olurlar. Düşey yükler için gerekli yüklemeler ve bu yüklemelerden bulunacak kesit etkileri şekil 5.18'de gösterilmiştir.

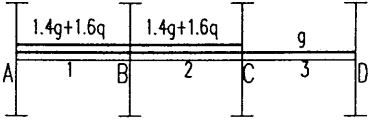
Üç açıklıklı bir kiriş için 8 yükleme gereklidir. Elle yapılan hesaplarda genellikle Cross yöntemi kullanılır. Ancak bilgisayar yardımı olmazsa bir çerçevenin çözümü oldukça zaman alır. Bu nedenle yurdumuzda tasarım bürolarında, kısaltılmış Cross yöntemi 1950 li yıllardan bu yana kullanılmaktadır. 1949 yılında meslektaşı G. Ronai ile birlikte yayınladıkları kitabın yazarlarından olan G. Biro /5.14/nun adıyla anılmakta olan bu yaklaşık yöntem işlemleri çok azaltır. Bilinçli kullanılırsa yaklaşıklık düzeyi iyidir. Açıklıkların çok farklı olması ve simetrik olmayan tekil yük bulunması halinde iyi sonuç vermez.



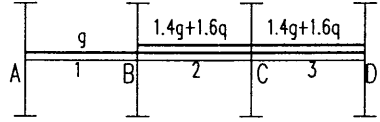
① $\max M_1, \max M_3, \min M_2, X_A, X_D$



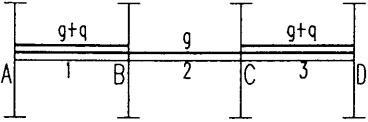
② $\max M_2, \min M_1, \min M_3$



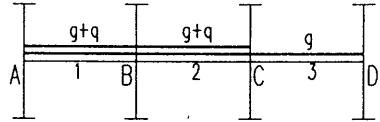
③ X_B, V_{Bl}, V_{Br}



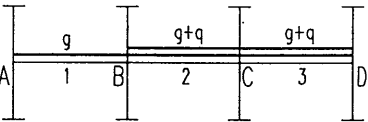
④ X_C, V_{Cl}, V_{Cr}



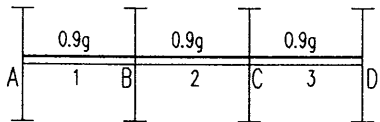
⑤ X_A, X_D, V_A, V_D



⑥ X_B, V_{Bl}, V_{Br}



⑦ X_C, V_{Cl}, V_{Cr}



⑧ X_A, X_B, X_C, X_D

Şekil 5.18. Üç açıklıklı bir kat çerçevesinde en elverişsiz yüklemeler

Deprem hesapları düzlemsel çerçeveler için değil, bütün bina için yapılır. Kat döşemeleri, kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilir. Bu, burulmasız bir yapıda, yatay kuvvetler etkisiyle bir kattaki bütün kolonların aynı ötelemeyi yapması demektir. Buna dayanılarak kata gelen yatay kuvvet, o katın kolonlarına yatay rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtılır. Buradan kolon momentleri ve düğüm noktalarındaki denge şartından giriş momentleri bulunur. Çerçevelerden oluşan yapılarda, elle yapılan hesaplarda, "D değerleri metodu" yada kurucusunun adıyla "MUTO" metodu", yeterli yaklaşıklıkta sonuç verir. Alt katlara inildikçe kolonların karşılaması gereken yatay kuvvet arttığından kolon ve giriş momentleri, buna bağlı olarak kesitleri büyür. Ayrıca taşıyıcı olmayan kısımların zarar görmemesi için yatay ötelemelerin sınırlı kalması istenir. Bütün bu nedenlerle çok katlı yapılarda deprem perdeleri yapmak zorunluluğu doğar. Yatay kuvvetler perdeler ve çerçevelerce birlikte karşılanır. Bu çözümü daha karmaşık bir sistemdir. Çünkü perde ve çerçevelerin yatay kuvvet etkisinde davranışları farklıdır. Farklı iki sistem, birlikte çalışmaya zorlanırsa, birbirlerinin serbestçe deformasyon yapmasını önler ve aralarında bağ kuvvetleri doğar. Problem, bazı varsayımlarla ve kuvvet metodu kullanılarak çözülebilir /5.15/, /5.16/.

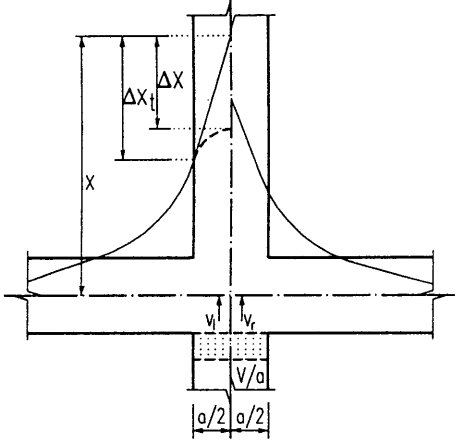
5.5.2. Hesap kesit tesirlerinin bulunması

Açıklık ve mesnet kesitlerinde, betonarme kesit hesaplarına temel alınacak kesit tesirlerine "**hesap (tasarım) kesit tesirleri**" denir.

Açıklık kesitlerindeki en büyük moment I. Yük birleşimlerinin en elverişsiz şekilde yerleştirilmesi ile bulunmuştur ve o açıklık için hesap momentidir. Mesnet kesitlerinde ise durum, değişiktir. Statik hesap sonucu bulunan momentler kolon eksenindeki momentlerdir.

Bu kesitte beton yüksekliği yapı yüksekliği kadardır. Kritik kesit ise kolon yüzünden geçen kesittir. Mesnet momentleri, açıklık momentinden ayırt edilmek için X ile gösterilir. Kolon yüzündeki momente X' ile gösterilirse;

$$-X' = -X + \Delta X \quad (5.130)$$



Şekil 5.19. Kiriş mesnetlerinde moment düzeltmesi

Şekilden görüldüğü gibi:

$$\Delta X = \frac{Va}{2} \quad (5.131)$$

kadardır. Ancak bu hesap, mesnet tepkisinin bir bölümü olan kesme kuvvetinin kolon eksenine noktasal yük olarak etkimesi durumunda doğrudur. Kolon kesiti boyunca düzgün yayılı alınırsa, moment diyagramının sivriliği kalkar ve

$$\Delta X = \frac{Va}{4} \quad (5.132)$$

olur.

TS500/2000'de ise bu amaçla (5.133) öngörülmüştür. Aynı zamanda $a > 0,175l$ ise $a = 0,175l$ alınması istenmektedir. Gerçekte kirişin kolona saplandığı bölge "sonsuz rijit" ($EI = \infty$) sayılabilir; bu durum hesaplarda göz önüne alınmamış olabilir (EI sabit). Sonsuz rijit bölge moment diyagramını mesnete doğru çeker -mesnet momentleri mutlak değerce büyür, açıklık momentleri küçülür-. Bütün bunlar düşünülerek, (5.131) ve (5.132) ile hesaplanan iki limit arasında ortalama değer olarak,

$$\Delta X = Va/3 \quad (5.133)$$

alınması uygun olur ve güvenlik tarafında kalır. Bu işleme "mesnetlerde moment düzeltilmesi" denir.

Hiçbir durumda, düzeltilmiş mesnet momenti, kiriş kolon yüzlerinden ankastre sayılarak bulunacak momentten küçük alınmamalıdır; düzgün yayılı yük için bu değer,

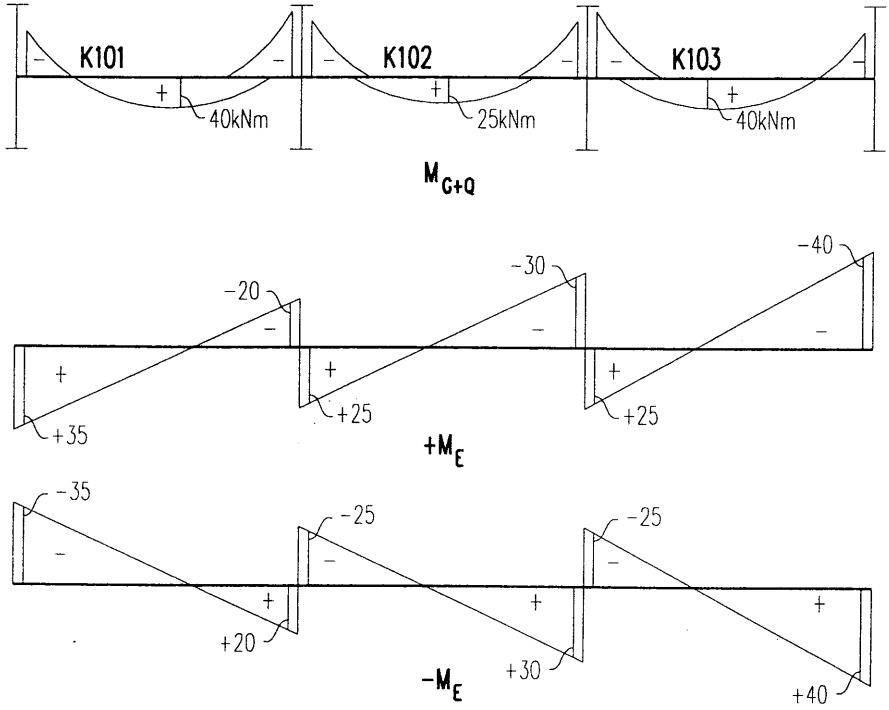
$$|X'| \geq p_d \ell^2 n / 12 \quad (5.134)$$

dir. Mesnetlerde hesap momentlerinin bulunmasında bir araştırma yapmak gerekir. Mutlak değerce en büyük (-) moment ya I birleşiminden (1,4G + 1,6Q) yada II'den (G + Q ± E) bulunabilir. Her mesnet için durum değişebilir. Deprem etkisi genellikle kenar mesnetlerde belirgindir.

Basit bir örnek incelenerek konu daha iyi anlaşılabilir.

Örnek:

Üç açıklıklı bir kat çerçevesinde, yük grupları ve bunların en elverişsiz düzende yerleştirilmeleri ile düşey yüklerden gelen açıklık ve mesnet momentleri ve deprem momentleri bulunmuştur. Mesnet momentleri için verilen değerler düzeltilmiş momentlerdir. Bu kirişin hesap momentleri bulunacaktır (Şekil 5.20) (Momentlerin boyutu kNm). Şeklin altındaki değerlendirme çizelgesinde M_{II} ile "G+Q" yük birleşiminden, M_{III} ile ise "0,9G" yüklemesinden ileri gelen mesnet hesap kesiti momentleri gösterilmiştir.



| kNm | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| M_I | -30 | (+40) | -70 | -60 | (+25) | -50 | -60 | (+30) | -20 |
| M_{II} | -20 | | -40 | -30 | | -25 | -35 | | -10 |
| M_{III} | -15 | | -25 | -20 | | -15 | -20 | | -5 |
| M_E | ±35 | | ±20 | ±25 | | ±30 | ±25 | | ±40 |
| M_d | -55 | (+40) | -70 | -60 | (+25) | -55 | -60 | (+30) | -50 |
| | +20 | | - | +5 | | +15 | +5 | | +35 |

Şekil 5.20. Üç açıklıklı bir çerçevede hesap momentlerinin bulunması

5.5.3. Eğilme donatısı kesitlerinin hesabı ve donatı seçimi

Kirişin eğilme donatısı iki bölge için hesaplanır:

i) Açıklık, ii) Mesnet.

- i) Açıklık, kirişin kolonlar arasındaki bölgesidir. Şekil 5.20'den görüldüğü gibi, özel durumlar dışında -büyük açıklıktan sonra gelen küçük açıklık-açıklıklar, pozitif moment bölgesidir, altta çekme üstte basınç gerilmelerine zorlanırlar. (Şekilde moment diyagramları çekme yüzüne taşınarak çizilmiştir.) Şu halde döşeme basınç bölgesinde kalmaktadır. Tablalı kesit hesabı yapmak gerekir. Kesit hesabının nasıl yapılacağı bölüm 5.2'de açıklanmıştır.

Donatının seçiminde dikkat edilecek noktalar vardır. TS-500/2000 ve DY-1997, kirişlerde minimum çekme donatısı çapını, montaj donatısı dahil 12 mm olarak vermektedir. İnce çaplı donatı betonla aderansı artırır, çünkü çevre yüzeyi kesitine oranla fazladır. Örneğin 4 ϕ 12 ve 1 ϕ 24'ün kesit alanı aynıdır: $A_s = 4,52 \text{ cm}^2$. Fakat birim boydaki çevre yüzeyleri aşağıdaki gibidir:

$$4 \phi 12 \text{ için } A_c = 3,77.4 = 15,08 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$1 \phi 24 \text{ için } A_c = 7,55 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Görüldüğü gibi kesit alanları aynı olduğu halde 4 ϕ 12'nin çevre yüzeyi 1 ϕ 24'ün 2 katıdır. Ancak genişlik olarak fazla yer tutar. Donatının arasına betonun rahatça girip sıkıştırılabilmesi için, iki donatı çubuğu arasındaki serbest uzaklık, donatı çapından ve 2 cm'den ve maksimum agrega boyutunun 4/3 katından az olmamalıdır. Aynı örneğe dönülürse 1 ϕ 24'ün tuttuğu yer sadece 2,4 cm iken, 4 ϕ 12'nin $4.1,2 + 3.2 = 10,8 \text{ cm}$ 'dir. Şu halde, çoğu kez olduğu gibi, probleme bir optimum çözüm gereklidir. Hem aderansı fazla azaltmayacak, hem de sıkışıklık nedeniyle beton yerleşimini zorlayarak kalitesini düşürmeyecek çap ve donatı sayısı seçilmelidir. Bu seçim Ek çizelge 1 ve 2 yardımıyla yapılabilir. Ek çizelge 1'den donatı kesit alanları, 2'den ise seçilen çapa göre kaç donatının, kaç cm kiriş genişliğine sığacağı bulunabilir. Çizelgedeki donatı alanları, gerekli çekme donatısı alanına her zaman eşit olamaz; böyle durumda gerekli alanın biraz büyüğü seçilir.

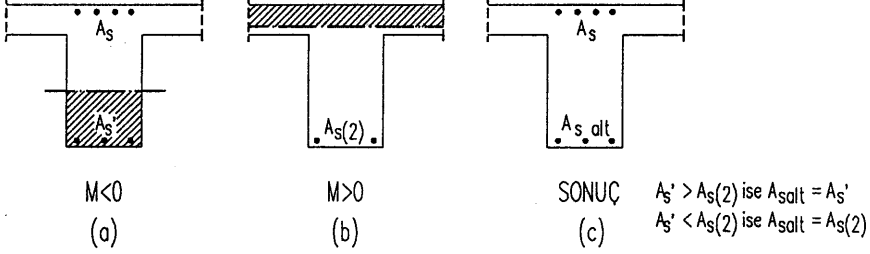
Ayrıca farklı iki çapta donatı da kullanılabilir. Bununla beraber, bir kesitte aynı amaçla kullanılan donatıların çap farkı büyük olmaması gerekir. Aksi halde yan yana iki donatıdan, aderansla betona aktarılan çekme kuvvetleri çok farklı olur ve betonda çatlamaya neden olabilir.

Ayrıca; farklı donatı, şantiyede belirsizliğe ve karışıklığa yol açma-

malıdır. Hangi donatının nereye yerleştirileceği konusunda hiçbir kuşku bulunmamalıdır. Farklı çapta donatı kullanılacaksa, en iyisi, uygulama resimlerinin net, eksiksiz ve anlaşılır çizilmiş olması, farklı çaplı ve pozlu donatıların farklı yerlere istif edilmesi olabilir.

Bölüm 1.5, Şekil (1.13)'de bir betonarme kirişin donatısı, açılımı ile verilmiş ve düz donatı ile pliye gösterilmiştir. Dilimizde çoğu kez "pliye" de denilen "pliye", -Fransızca kökeni "plier"- bükülmüş eğik donatıyı anlatmak için kullanılır ve genellikle 45° -bazen 60°- bükülmüş bir bölümü içerir. Bu özellikleri ile çok amaçlı bir donatıdır (bkz. Şekil 1.13). Aynı donatı, açıklıkta altta, mesnette üstte çekme donatısı görevini yapar. Ayrıca 45°'lik eğik bölümü ile kesme kuvvetine karşı kayma donatısı işlevini üstlenir. Geçmiş yıllarda, özellikle Batı Avrupa'da, pliyelerin kesme kuvvetini karşılamadaki rolü 1. dereceden önemli görülür, kesme kuvvetinin en az yarısının pliyelerce karşılanması yönetmeliklerle zorunlu tutulurdu. Sonraki yıllarda yapılan deneysel araştırmalar bu görüşü doğrulamadı ve kesmeye karşı etriyelerin rolünün daha önemli olduğu anlaşıldı. Gelişmiş ülkelerde, özellikle Anglo-Sakson ülkelerinde pliye kullanımı, işçiliğin pahalı olması nedeniyle, hemen tamamen terkedilmiştir. Memleketimizde ise durum tersinedir. Çelik pahalı, işçilik ucuzdur. Ayrıca pliye kullanımı öylesine yerleşmiştir ki, tasarımcı bir kirişte pliye kullanmasa, şantiyede demirci bir yanlışlık olduğu kuşkusuyla danışacak mühendis arar, bulamazsa kendiliğinden bir pliye ekler. Yazar, Türkiye için, bunun yararlı ve ekonomik bir alışkanlık olduğu görüşündedir. Düz donatıdan biraz fazla çelik kullanarak, bu donatıdan hem açıklık hem mesnette yararlanmak ekonomik bir çözümdür. Böylece kirişin alt donatısı da, moment diyagramına uygun olarak, mesnete yaklaştıkça azaltılmış olur. Kiriş donatı kafesinin montajı bakımından köşelerinde en az birer düz donatı bulunmalıdır. Buna bir de pliye eklenirse -çok küçük açıklıkların dışında- kirişlerde en az 3φ 12 lik açıklık donatısı oluşur. Diğer minimum donatı koşulları, kesit hesaplarında, etraflıca incelenmiştir.

ii) Mesnet bölgelerinde ise, düşey yüklerden negatif momentler oluşur. Üstte çekme, altta basınç oluşur (Şiddetli depremlerde moment yön değiştirebilir). Negatif moment için, döşeme çekme bölgesinde kalır, basınç tablası işlevini yitirir; basınç bölgesi dikdörtgendir. Dikdörtgen kesit hesabı gereklidir. Moment büyükse ve aranan sınır koşulları – sehim denetimi, yeniden dağılım (deprem bölgesi), yada sünek davranış- tek donatı ile karşılanamıyorsa çift donatıya gidilir, -çekme donatısı üstte, basınç donatısı altta-. Şekil 5.21'de görüldüğü gibi, deprem etkisiyle mesnette pozitif moment de olabiliyorsa, (+) moment için T kesit hesabı yapıp donatı hesaplanır; bu hesapta, kesit tablalı olduğundan, üst yüzdeki donatının basınç donatısı gibi dikkate alınması gerekmez. Mesnetin alt yüzü için ise, (-) moment için bulunan basınç donatısı alanı ile (+) moment için bulunan çekme donatısı alanından büyük olanı, gerekli donatı alanıdır; ancak, DY-1997 gereği, alt donatı, hiçbir zaman üst donatının 1/3'ünden (3.,4. derece deprem bölgesi) ve 1/2'inden (1.,2. derece deprem bölgesi) az alınmaz.



Şekil 5.21. Momenti yön değiştirebilen mesnette donatı hesabı

Mesnette donatı seçimi açıklıktan farklıdır. Gerekli donatının yanında bir de mevcut donatı vardır. Bunlar, montaj donatısı ile bir yada iki yandaki kirişten gelen pilyelerdir. Mevcut donatı alanı, gerekli donatı alanından büyük yada ona eşitse sorun yoktur; mevcut donatı, mesnet momentini karşılamaya yetiyor demektir. Mevcut donatı alanı, gerekli donatı alanından küçükse, aradaki fark kadar ek mesnet donatısı gereklidir:

i) $A_{s,\text{mev}} \geq A_{s,\text{ger}}$ ise mevcut donatı yeter

ii) $A_{s,\text{mev}} < A_{s,\text{ger}}$ ise ek donatı gerekli

$$A_{s,\text{ek}} = A_{s,\text{ger}} - A_{s,\text{mev}}$$

Donatının b_w genişliğine sığması, mesnetlerde açıklıktan daha önemlidir. Çünkü, montaj donatısı, iki yandan gelen pilyeler ve varsa mesnet ekleri ile çok sayıda donatı çubuğu bu bölgededir. Tasarım aşamasında önlem alınmamışsa şantiyede güçlük çıkar. Betonarme inşaatların büyük çoğunluğunda, düşünülmeden yerleştirilmiş donatının, mesnet bölgelerinde, ne betonun ne vibratör iğnesinin geçebileceği çelik bir perde oluşturduğu, bu yüzden en kritik kesitlerde betonda boşluklar kaldığı, ne yazık ki, bilinen bir gerçektir. Yazar, uzun yıllar önce çalıştığı bir büroda, birinci sınıf desinatörlerin çizdiği kiriş detaylarının birleşim bölgelerinin, yapımcı Alman firmasının konstrüktörü tarafından 1/5 ve hatta 1/1 ölçeğinde yeniden çizilip, her donatıya ayrı poz numarası verilerek hangisinin alttan hangisinin üstten geçeceğini belirlendiğini nasıl hayretle izlediğini, ilginç bir anı olarak hatırlamaktadır.

İyi detaylandırılmış ve bir kiriş çiziminde, bunun için:

i) Montaj donatıları kesinlikle mesnette eklenmemelidir; ek için uygun kesit açıklık ortasıdır.

ii) Donatı seçilirken özen gösterilmeli, ince ve çok donatının mesnette yığılmaya neden olacağı unutulmamalıdır.

iii) Yine de donatı bir sıraya sığmıyorsa, bir bölümü tasarım aşamasında ikinci sıraya yerleştirilmelidir. Şantiyede donatı detaylarına azami özen gösterilmelidir. Yapım sırasında, iki sıra arasına, enine kısa çubuklar bağlanarak, beton dökümü sırasında donatıların konumunu koruması sağlanmalıdır.

5.5.4. Eğilme donatısının yerleştirilmesi

Eğilme donatısı, kirişe o şekilde yerleştirilmelidir ki, bu donatının sağladığı eğilme mukavemeti zarfı her noktada, maksimum momentler diyagramını örtsün. Hatırlanacağı gibi kesit ve donatısı bilinen bir kesitin moment taşıma gücü;

$$k_z = (1 - 0,59 \rho f_{yd} / f_{cd}) \quad \text{ile, mevcut donatı oranına göre } k_z \text{ bulunarak, bunun yardımıyla,}$$

$$M_r = A_s f_{yd} k_z d \quad \text{ile hesaplanabilir.}$$

Yada k_z çizelgelerden alınabilir; k_z 'in değişimi çok yavaş olduğundan $k_z = 0,87$ gibi yaklaşık bir değer almakla yapılan hata büyük olmaz, o zaman kirişin eğilme mukavemeti zarfı doğrudan A_s ile değişir ve her pliye büküldükçe bir basamak yapan kademeli bir çizgiye dönüşür. Buna "moment kapama diyagramı" denir. TS-500/84, 6.7'de moment diyagramının moment kapama diyagramı dışına çıkmamasını güvenceye almak için, eğilme kırılmalarının yaklaşık z kadar bir kiriş boyuna yayıldığı dikkate alınarak, "moment diyagramı, tepe noktası değişmemek koşulu ile, sağa ve sola $0,9d$ kadar genişletilmelidir" denilmektedir. Şu halde moment kapama diyagramı, genişletilmiş moment diyagramını örtmelidir (Şekil 5.22).

Bir diğer sorun kendisine gereksinme kalmayan donatının kesilmesidir. Çekme bölgesinde donatıyı kesmekten olabildiğince kaçınmak gerekir. Aksi halde betona aktarılan çekme kuvveti, kanca uçlarında gerilme yığılmalarına ve çatlamalara neden olur. Bazı yapılarda -istinat duvarları, silindirik su depoları gibi- bundan kaçınmaya olanak yoktur. O zaman donatının kenetlenme boyunu uzun tutmak ve donatı eklerini şaşırtmalı yapmak yoluna gidilir. Kirişlere gelince, açıklık donatısı için, pliyelede sorun kendiliğinden çözülmektedir, düz donatı ise gereksinme kalmasa bile mesnete kadar uzatılmalıdır. Pliye uçları ve mesnet donatıları ise moment sıfır noktası geçildikten sonra kesilmelidir. Bu boy kolon yüzünden başlaya-

rak $\ell/4$ 'den az olmamalıdır. Herhangi bir donatı, gereksinme kalmadığı kesitten bir kenetlenme boyu uzatıldıktan sonra kesilebilir. Kenetlenme boyu, TS-500/2000'de düz kenetlenme için, nervürlü çubuklarda:

$$\ell_b = \left(0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi\right) \geq 20 \phi$$

olarak verilmektedir. Bu denklem ile bulunan kenetlenme boyları, Konum II'ye giren çubuklar için 1,4 ile çarpılması gerekir. Donatının ucu bükülerek kanca veya fiyong yapılırsa, kenetlenme boyu, yukarıda verilen formülle bulunacak değerin $\frac{3}{4}$ ü alınabilir.

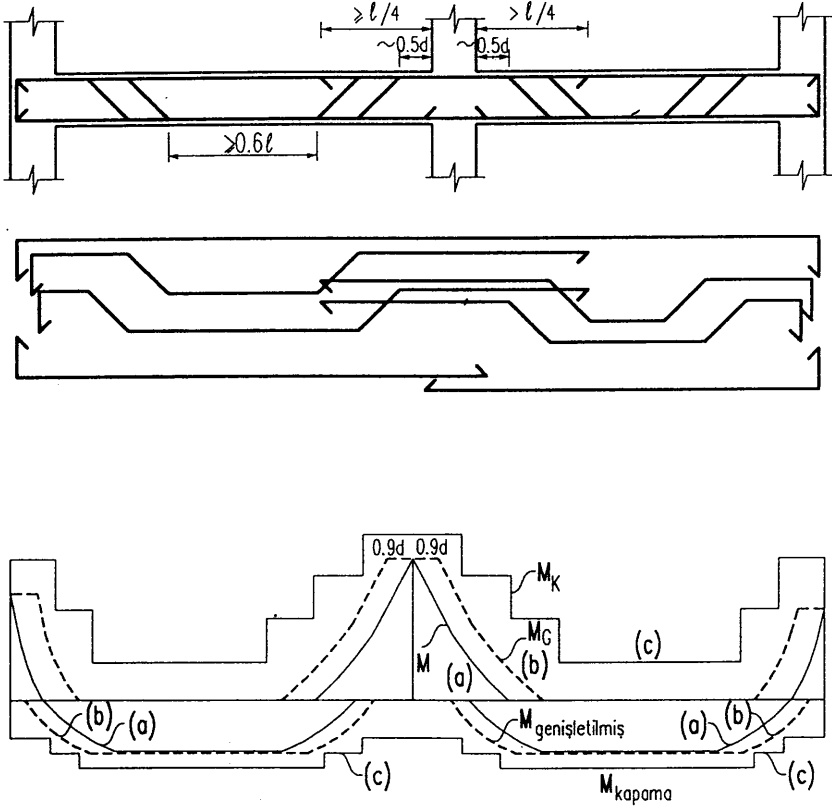
Yazar bindirme boylarında yapılacak küçük tasarrufların bir yarar sağlamayacağı fakat büyük zararlara yol açabileceğini düşünmektedir. Donatı kancalı da olsa:

- Bir kesitte çalışıyor varsayılabilmesi için, en az 40ϕ kadar uzatıldıktan sonra kesilmesini,

- Ara mesnetlerde altta ve açıklığın ortasında üstte yapılan bindirmeli eklerde en az 25ϕ bindirme boyu alınmasını,

- Ara mesnetlerde altta her iki yandan gelen düz donatının toplamına basınç donatısı olarak gereksinme duyuluyorsa, üst donatı gibi açıklığın $1/4$ 'üne kadar uzatılmalarını,

- Kenar mesnetlerde alttaki ve üstteki donatının 90° bükülerek karşı köşeye kadar uzatılmasını doğru bulmaktadır.



Şekil 5.22. Kirişlerde eğilme donatılarının yerleştirilmesi, a) Moment Diyagramı, b) Genişletilmiş moment diyagramı, c) Moment kaplama diyagramı

TS-500/2000'nin dışında, Deprem Yönetmeliği (1997) de kiriş boyut ve donatıları için bazı sınırlamalar getirmektedir. Buna göre çerçeve kirişleri en az 25 x 30 cm kesitinde olmalı ve gövde genişliği saplandıkları kolonun genişliğine kiriş yüksekliği eklemekle bulunan değeri geçmemelidir.

Çift donatılı kiriş mesnet kesitlerinde çekme donatısı oranı 0,02 den çok, basınç donatısı olarak hesaplanan donatı, bunun yarısından fazla olamaz. Ayrıca, kiriş mesnet kesitlerinde, kesit altında basınç yada işaret değiştiren eğilme momenti yüzünden çekme donatısı gerekirse de, kesit üst yüzüne yerleştirilen donatının; 1. ve 2. deprem bölgelerinde en az yarısı kadar, 3. ve 4. deprem bölgelerinde en 1/3 ü kadar donatı yerleştirilmesi öngörülmüştür. Açıklıkta üst donatı, kirişin iki mesnedinde üst donatılardan daha büyük olanın 1/4'ünden ve 2Φ12 den az alınmaz. Modern deprem ve betonarme yönetmeliklerinde de benzer düzenlemeler yer almaktadır.

5.5.5. Sayısal uygulamalar

İki açıklıklı sürekli kiriş

- 5.26. Şekilde moment diyagramı verilmiş iki açıklıklı kirişin malzemesi C16/S220'dir. Açıklık ve mesnet kesitlerinde eğilme donatısını, sehim denetimine gerek kalmayacak şekilde hesaplayınız, seçiniz ve kiriş üzerinde gösteriniz.

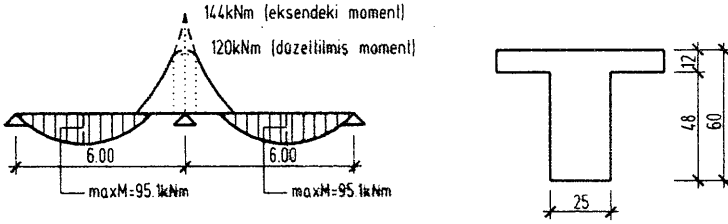


Tabla genişliğinin hesabı:

Kenar kirişlerde moment sıfır noktaları arası uzaklık ℓ_p

$$\ell_p = 0,8\ell = 0,8 \cdot 6,0 = 4,80 \text{ m}$$

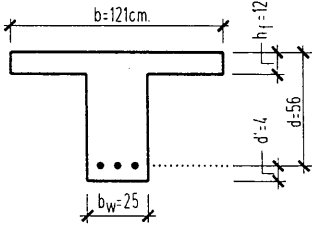


Tabla genişliği b:

$$b = b_w + \frac{\ell_p}{5} = 25 + \frac{480}{5} = 121 \text{ cm}$$

Kesitin çalışma biçiminin belirlenmesi:

Malzeme C16/S220 için çizelge 5.4'den,

$$f_{cd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2, f_{yd} = 19,1 \text{ kN/cm}^2 \text{ değerleri okunur.}$$

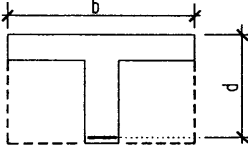
$a = h_f$ için tablanın karşıladığı moment (hesapta karşılaştırma yapmak için yardımcı moment):

$$M_v = 0,85f_{cd}bd(d-h_f/2) = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 121 \cdot 12 (56-12/2) = 67881 \text{ kNcm}$$

$$M_v = 67881 \text{ kNcm} > \max M_{ac} = 9510 \text{ kNcm}$$

Şu halde $a < h_f$ dir; tarafsız eksen tabla içine düşer, soyut dikdörtgen kesit gibi hesaplanır.

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{121 \cdot 56^2}{9510} = 39,9 \rightarrow \text{Çizelge 5.4'den } k_s = 0,0532 \text{ okunur.}$$



$$A_s = k_s \frac{M_d}{d} = 0,0532 \frac{9510}{56} = 9,03 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı = $3 \phi 20$ ($=9,42 \text{ cm}^2$)

Mesnet kesitinde donatı hesabı:

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{25 \cdot 56^2}{12000} = 6,53 ; \text{Çizelge 5.4'den}$$

$K = 6,53 > K_\ell = 4,49$; sehim denetimine gerek yoktur. Tek donatılı kesit hesabı yapılacaktır.

Mesnette gerekli donatı alanı:

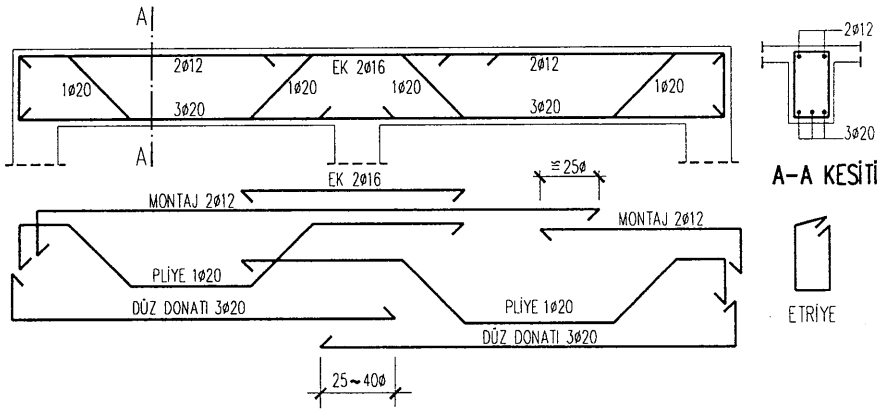
$$k_s = 0,0576, \quad A_s = 0,0576 \frac{12000}{56} = 12,34 \text{ cm}^2$$

Mesnette mevcut donatı = $2 \phi 12$ montaj + $(1 \phi 20 + 1 \phi 20)$ pliyeler
 $= 8,54 \text{ cm}^2 < 12,34 \text{ cm}^2$ ek donatı gerekli

Ek donatı alanı:

$$A_{\text{sek}} = 12,34 - 8,54 = 3,8 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \phi 16 (=4,02 \text{ cm}^2)$$

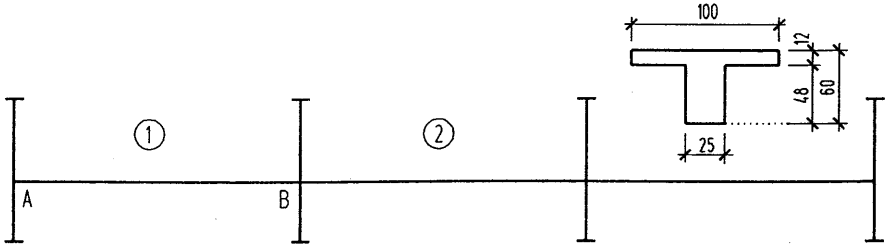
- Donatı ekleri mümkün olduğu kadar sıfır noktalarında yapılmalıdır.
- Donatı çubuğu boyu 12m'yi aşmaması için montaj donatısı ekli yapılmıştır.



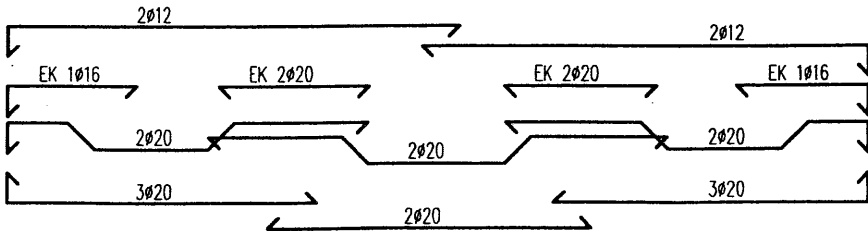
5.27 Şekilde verilen 3 açıklıklı kat çerçevesinde düşey yüklerden gelen momentler ile deprem momentleri aşağıdadır (Mesnet momentlerinin düzeltilmiş değerleri verilmiştir).

Malzeme C14/S220'dir. M_I ($1,4g + 1,6q$), M_{II} ($g+q$) ve M_{III} ($0,9g$) yüklemelerinden gelen en elverişsiz yükleme durumlarını da içeren momentler olduğuna göre;

- Hesap momentlerini bulunuz.
- Açıklık ve mesnette eğilme donatısını sehim denetimine gerek kalmayacak şekilde hesaplayınız ve seçiniz.
- Donatıyı şematik olarak yerleştiriniz.



| | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|----------|-----------------|----------|----------|--------|-------------|
| M_I | -40 | (+160) | -200 | -180 | (+120) | -180 | -200 | (+160) | -40 |
| M_{II} | -25 | | -120 | -100 | | -100 | -120 | | -25 |
| M_{III} | -15 | | -80 | -60 | | -60 | -80 | | -15 |
| M_E | ± 75 | | ± 50 | ± 50 | | ± 50 | ± 50 | | ± 75 |
| M | -100 +60 | (+160) | -200 | -180 | (+120) | -180 | -200 | (+160) | -100 +60 |
| b/d | 25/56 | (100/56) | 25/56 | 25/56 | (100/56) | | | | |
| A_s | 10,23cm ² EK(1Ø16) | 15,45 (5Ø20) | 21,23cm ² EK(2Ø20) | | 11,49 (4Ø20) | | | | |
| A'_s | 5,67cm ² yeter | | 5,27cm ² yeter | | | | | | |



a) Hesap momentlerinin bulunuşu

$$1. \text{ Açıklıkta} \quad M_d = M(1,4g + 1,6q) = 160 \text{ kNm}$$

$$A \text{ Mesnedinde} \quad M_d = M(g + q \pm E) = -25 - 75 = -100 \text{ kNm}$$

$$-25 + 75 = +50 \text{ kNm}$$

$$= M(0,9g \pm E) = -15 - 75 = -90 \text{ kNm}$$

$$-15 + 75 = +60 \text{ kNm}$$

$$= M(1,4g + 1,6q) = -40 \text{ kNm}$$

A mesnedinde hesapta dikkate alınacak momentler: $M_d = -100 \text{ kNm}$
 $+ 60 \text{ kNm}$

B mesnedinin solunda: $M(1,4g + 1,6q) = -200 \text{ kNm}$

$$M(g + q \pm E) = -120 - 50 = -170 \text{ kNm}$$

$$-120 + 50 = -70 \text{ kNm}$$

$$M(0,9g \pm E) = -80 - 50 = -130 \text{ kNm}$$

$$-80 + 50 = -30 \text{ kNm}$$

B mesnedinin solunda $M_d = -200 \text{ kNm}$; moment işaret deęiřtirmemektedir.

$$\begin{aligned} B \text{ mesnedinin saęında} \quad M(1,4g + 1,6q) &= -180 \text{ kNm} \\ M(g + q \pm E) &= -100 - 50 = -150 \text{ kNm} \\ &= -100 + 50 = -50 \text{ kNm} \\ M(0,9g \pm E) &= -60 - 50 = -110 \text{ kNm} \\ &= -60 + 50 = -10 \text{ kNm} \end{aligned}$$

B mesnedinin sağında $M_d = -180 \text{ kNm}$; moment işaret değiştirmemektedir.

2. açıklıkta $M_d = M(1,4g + 1,6q) = 120 \text{ kNm}$

b) 1. açıklıkta eğilme donatısının hesabı

$$M_d = 160 \text{ kNm} = 16000 \text{ kNcm}$$

$$\begin{aligned} \text{Malzeme C14/S220; Çizelge 5.3'ten} \quad f_{cd} &= 0,95 \text{ kN/cm}^2, \\ f_{yd} &= 19,1 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$a = h_f$ için tablanın karşılayacağı M_y momentini:

$$M_y = 0,85f_{cd}bh_f (d - 0,5h_f) = 0,85 \cdot 0,95 \cdot 100 \cdot 12 (56 - 0,5 \cdot 12) = 48450 \text{ kNcm}$$

$$M_y = 48450 \text{ kNcm} > M_d = 16000 \text{ kNcm}$$

$a < h_f \rightarrow$ Tarafsız eksen tabla içinde, soyut dikdörtgen kesit hesabı yapılır.

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{100 \cdot 56^2}{16000} = 19,6; \text{ Çizelge 5.3'ten } 19,6 > K_t = 5,20$$

$$\text{Sehim denetimine gerek yok; } k_s = 0,0541; A_s = 0,541 \frac{16000}{56}$$

$$A_s = 15,45 \text{ cm}^2, \text{ seçilen donatı } 5 \phi 20 (=15,71 \text{ cm}^2)$$

(3 düz + 2 pliye)

2. açıklıkta donatı hesabı:

$$M_d = 120 \text{ kNm} = 12000 \text{ kNcm}$$

Tablanın karşıladığı moment, kesit geometrisi yukarıdaki ömkle aynı olduğundan;

$$M_y = 48450 \text{ kNcm} > M_d = 12000 \text{ kNcm}$$

$a < h_f \rightarrow$ Tarafsız eksen kesit içinde, soyut dikdörtgen kesit hesabı yapılır.

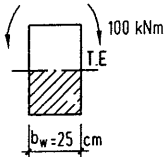
$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{100 \cdot 56^2}{12000} = 26,13; \text{ Çizelge 5.3'ten } K > K_t \text{ sehim denetimine}$$

gerek yoktur; $k_s = 0,05365$

$$A_s = 0,05365 \frac{12000}{56} = 11,49 \text{ cm}^2; \text{ seçilen donatı } 4 \phi 20 (=12,57 \text{ cm}^2)$$

(2 düz + 2 pliye)

A mesnedinde donatı hesabı:



-100 kNm'lik mesnet momentini kesite, basınç bölgesi şekilde taralı bölge olacak tarzda etkimektedir; TE'nin altındaki basınç bölgesinin şekli dikdörtgen olduğuna göre kesit "dikdörtgen kesit" olarak hesaplanacaktır.

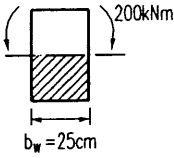
$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{25 \cdot 56^2}{10000} = 7,84 \rightarrow \text{Çizelge 5.3'ten } K > K_\ell = 5,20$$

Sehim denetimine gerek yoktur; $k_s = 0,0573$

$$A_s = 0,0573 \frac{10000}{56} = 10,23 \text{ cm}^2$$

Mevcut donatı ($2 \phi 12$ montaj + $2 \phi 20$ pliye = $8,54 \text{ cm}^2$); ek donatı gerekli
 $A_{\text{sek}} = 10,23 - 8,54 = 1,69 \text{ cm}^2 < 1 \phi 16 = 2,01 \text{ cm}^2$

A mesnedinde pozitif moment etkirken;



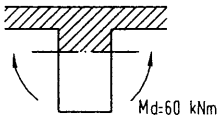
Tablanın karşıladığı moment M
 $M_v = 48450 \text{ kNcm} > M_d = 6000 \text{ kNcm}$
 $a < h_f$; soyut dikdörtgen kesit hesabı yapılır.

$$K = \frac{100 \cdot 56^2}{6000} = 52,26; \text{ Çizelge 5.3'ten } K > K_\ell; \text{ sehim denetimine gerek}$$

$$\text{yoktur; } k_s = 0,0530; \quad A_s = 0,0530 \frac{6000}{56} = 5,57 \text{ cm}^2$$

Mevcut donatı: Açıklıktan gelen $3 \phi 20 = 9,42 \text{ cm}^2 > 5,57 \text{ cm}^2$; o halde ilave donatı koymaya gerek yoktur.

B mesnedinin solunda:



$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{25 \cdot 56^2}{20000} = 3,92; \text{ Çizelge 5.3'ten}$$

$K = 3,92 < K_\ell = 5,20$; sehim şartı sağlanmadığından çift donatılı kesit hesabı yapılmalıdır.

$\rho_1 = \rho_t = 0,0114$ alınarak M_1 momentini bulunur:

$$A_{S1} = \rho_1 b_w d = 0,0114 \cdot 25 \cdot 56 = 15,96 \text{ cm}^2$$

Birinci kuvvet çiftine ait dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğinin bulunması için kesitte yatay kuvvet denge denklemi yazılır:

$F_T = F_c$ olmalıdır.

$$A_{s1}f_{yd} = 0,85f_{cd}b_w a \rightarrow a = \frac{A_{s1}f_{yd}}{0,85f_{cd}b_w} = \frac{15,69 \cdot 19,1}{0,85 \cdot 0,95 \cdot 52} = 15,10 \text{ cm}$$

$$M_1 = A_{s1}f_{yd} (d - 0,5a) = 15,96 \cdot 19,1 (56 - 0,5 \cdot 15,10) = 14769 \text{ kNcm}$$

ikinci kuvvet çiftine kalan moment:

$$M_2 = M_d - M_1 = 20000 - 14769 = 5231 \text{ kNcm}$$

ikinci kuvvet çifti için çekme donatısı:

$$A_{s2} = \frac{M_2}{(d - d')f_{yd}} = \frac{5231}{(56 - 4)19,1} = 5,27 \text{ cm}^2$$

Toplam çekme donatısı:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 15,96 + 5,27 = 21,23 \text{ cm}^2$$

$$\text{Mevcut donatı} = 2 \phi 12 + 4 \phi 20 = 2,26 + 12,57 = 14,83 \text{ cm}^2$$

$$\text{Gerekli ek donatı alanı: } A_{\text{sek}} = 21,23 - 14,83 = 6,40 \text{ cm}^2 ;$$

$$\text{seçilen } (2 \phi 20) = 6,28 \text{ cm}^2 \approx 6,40 \text{ cm}^2$$

Basınc donatısı A'_s nün hesabı:

$\rho_1 = 0,0114$ ve $z_s/d = 52/56 = 0,928 \approx 0,925$ için, Çizelge 5.3'den $\sigma'_s = f_{yd}$ olduğu görülür.

$$A'_s = A_{s2} = 5,27 \text{ cm}^2 \text{ (altta)}$$

Altta mevcut donatı: $2 \phi 20 = 6,28 \text{ cm}^2$; yeterlidir.

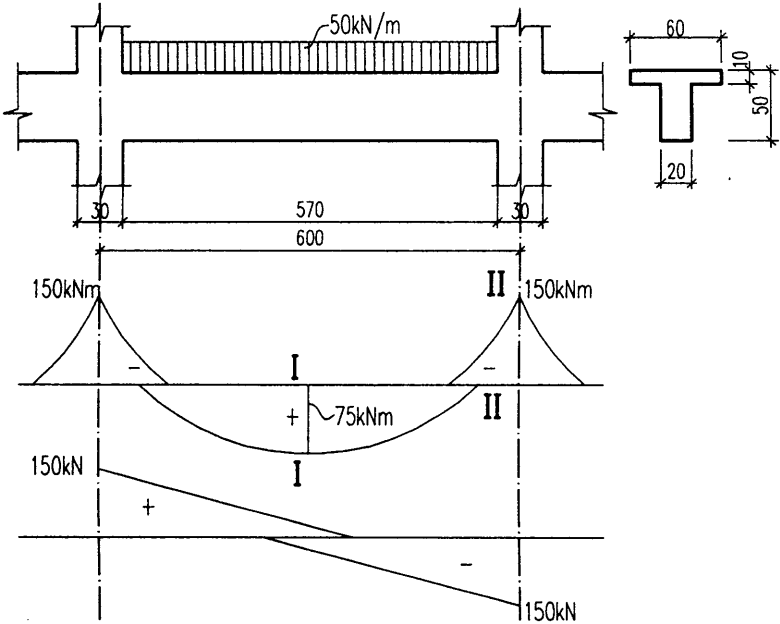
İki kirişten gelen düz donatı, kenetlenme boyu kadar bindirilecektir



Problemler

- 1) Şekilde bir çerçeve kirişinin iç açıklığına ait yük, moment, ve kesme kuvveti alanları ile kesit geometrisi verilmiştir. Bu kiriş C16/S220 malzeme grubu kullanılarak deprem bölgesinde yapılacağına göre:

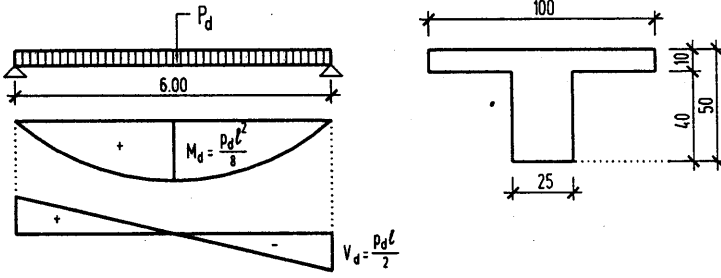
Açıklık ve mesnet kesitlerindeki eğilme donatısını hesaplayarak kirişin eğilmeye karşı mukavemetini sağlayınız.



- 2) Şekilde boy ve enkesitleri verilen betonarme basit kirişte malzeme olarak C16/S220 kullanılacaktır. Kirişe gelen düzgün yayılı işletme yükleri:

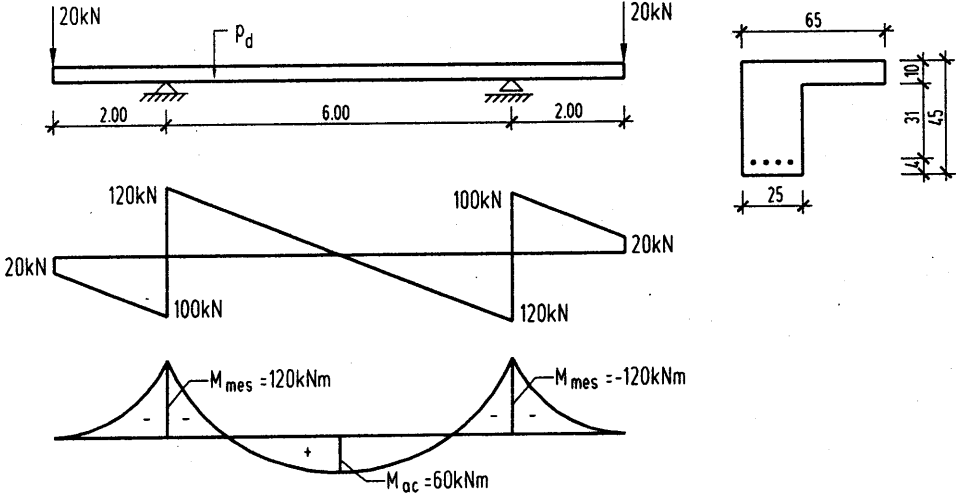
$$g = 15 \text{ kN/m}, \quad q = 10 \text{ kN/m} \text{ dir.}$$

Kirişin eğilme donatısını hesaplayınız.



- 3) Şekilde konsollu bir kirişin moment ve kesme kuvveti diyagramları ile enkesiti verilmiştir. Malzeme C16/S220 dir.

Açıklık ortasında ve mesnet kesitlerinde, sehim kontrolü gerekmeyecek şekilde eğilme donatısını hesaplayınız.



5.6. Kaynaklar

- 5.1 Rüsçh, H.; "Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete", Journal ACI, Vol. 57, No. 1, July 1960.
- 5.2 Mattock, A.H., and Kriz, L.B., "Ultimate Strength of Nonrectangular Structural Concrete Members", Journal ACI, Vol. 57, No. 7, January 1961.
- 5.3 Mattock, A.H., Kriz, L.B., and Hognestad, E., "Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design", Journal ACI, Vol. No. 8, February 1961.
- 5.4 Park, R., and Paulay, T., "Reinforced Concrete Structures", John Wiley and Sons, 1975.
- 5.5. CEB, "Model Code for Seismic Design of Concrete Structures", Bulletin d'Information 160, Paris, March 1984.
- 5.6 Gündüz, A., "Kuşatılmış Betonlu Dikdörtgen Kiriş Kesitlerinin Hesaplanmasıyla İlgili Bir Algoritma", Yıldız Üniversitesi Dergisi, İstanbul, 1984.
- 5.7 Gündüz, A., "Betonarme, Taşıma Gücü İlkesine Göre Hesap", İstanbul, 1980.
- 5.8 Gündüz, A., "Betonarme", İstanbul, 1978.
- 5.9 Ersoy, U., "Betonarme, Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı". İstanbul, 1980
- 5.10 TS-500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 1984.
- 5.11 "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", İmar İskan Bakanlığı, Ankara, 1975.
- 5.12 Johansen, K.W., "Brudlinieteorier", Copenhagen, 1943.
- 5.13 Park, R., and Gamble, W.L., "Reinforced Concrete Slabs", John Wiley and Sons, 1980.
- 5.14 Biro, G., ve Ronai, G., "Mütemadi Kiriş ve Çerçevelerin Modern Hesap Metodları", İstanbul, 1949.
- 5.15 Çakıroğlu, A., ve Özmen, G., "Çerçeveler ve Boşluklu Perdelerden Oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", İstanbul, 1973.
- 5.16 Berktaş, İ., "Çerçeve ve Perdelerden Meydana Gelen Betonarme Yapılarda Yatay Yüklerin Etkisi", İstanbul, 1977
- 5.17 Ersoy, U., Özcebe, G., "Betonarme – Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Deprem Yönetmeliği (1998) Göre Hesap-", Evrim, 2001.
- 5.18 TSE, TS 5000, "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", 22 Şubat 2000.