



BETONARME – 1

DERS NOTLARI

BÖLÜM 10

Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

KESİT HESABI (BOYUTLANDIRMA VE DONATI HESABI)

Kesit hesabı genelde iki aşamada yapılır.

a) **Kesit ön tasarımı:** Bu aşamada kesitin boyutları belirlenir.

Donatı hesaplanması gerekmez.

b) **Kesin tasarım:** Kesit tesirleri altında kesit boyutlarının kontrolü ve donatı hesabını içerir ve hesaplanan donatı detaylandırılır.

Donatının sınırlandırılması:

Sünek davranışın sağlanabilmesi için $\rho < \rho_b$ olmalıdır. **TS500** de sünek davranışın sağlanabilmesi için donatı oranı $0.85\rho_b$ ile sınırlandırılmıştır. Yani $\rho \leq \rho_m$ olmalıdır ($\rho_m = 0.85\rho_b$). Bu şartı sağlamanın tek amacı sünek davranışın sağlanmasıdır.

$$\rho \leq \rho_m \quad \rho_m = 0.85 \rho_b$$

Yukarıdaki donatı oranı koşuluna uyan kirişlerde aşırı deformasyonlar oluşabileceği gözlemler ve deneysel araştırmalar sonucunda görülmüştür. Bu nedenle "**Kullanabilirlik sınır durumu**" da göz önünde bulundurularak donatı için ikinci bir sınırlamada getirilmiştir (ρ_l).

Özet olarak, kesit hesabı yapılırken donatı oranının ρ_m olarak bilinen maksimum değeri geçmesine kesinlikle izin verilmez. Ancak bu donatıya yakın bir donatı bulundurulduğunda sehim kontrolü gerekir. Eğer donatı oranı ρ_l ile sınırlandırılırsa hem süneklik tam olarak sağlanmış olur hem de sehim kontrolüne gerek kalmaz.

$$\rho_m = 0.85 \rho_b$$

$$\rho_l = 0.235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Zorunlu koşul:

$$\rho \leq \rho_m \text{ veya } (\rho - \rho') \leq \rho_m$$

Önerilen koşul:

$$\rho \leq \rho_l \text{ veya } (\rho - \rho') \leq \rho_l$$

Donatı oranı ρ_l ve ρ_m arasında olduğunda sehim kontrolü zorunludur.

Kesit hesabı yapılırken, donatı oranı ρ_m ve ρ_l ye karşı olan K_m , j_m ve K_l , j_l değerlerinin bilinmesinde büyük yarar vardır. Dikdörtgen kesitli kirişler için ρ_m değerleri çizelgedeki ρ_b değerleri **0.85** ile çarpılarak bulunur.

$$\rho_m = 0.85 * 0.85 k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_{yd}}$$

$$\frac{c_m}{d} = \rho_m \frac{f_{yd}}{0.85 k_1 f_{cd}}, \quad J_m = \left(1 - \frac{k_1 c_m}{2 d}\right)$$

$$K_m = \frac{1}{\rho_m j_m f_{yd}}$$

$$\rho_l = 0.235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\frac{c_1}{d} = \frac{0.276}{k_1} \quad J_l = 0.862$$

$$K_l = \frac{b_w d^2}{M} = \frac{4.95}{f_{cd}}$$

Gevrek kırılmayı önlemek amacı ile donatı için bir üst sınır getirilmişti ($\rho \leq \rho_m$). Bundan başka donatı için bir alt sınır getirilmesi de gerekmektedir. Çünkü donatısı az olan kirişler ani ve gevrek kırılmaya sebep olurlar. Bunu önlemek için, çatlayarak çekme bölgesindeki beton katkısını yitirmiş donatılı bir kirişin taşıma gücünün, en az donatısız kirişin çatlama dayanımına eşit olması gerekir.

$$A_s f_{yd} (J) d = \frac{f_{ctf} I}{y} \quad f_{ctf} = \frac{M}{I} y$$

Betonun eğilmedeki çekme dayanımı $f_{ctf}=2.0 f_{ctd}$, tablalı kesitin atalet momenti

$I=2.0 \frac{b_w h^3}{12}$, $y=h/2$, $b_w=h/2$, $d=0.9h$ ve $J=0.86$ varsayılırsa yukarıdaki denklem;

$$A_s f_{yd}=0.86 f_{ctd} b_w d \quad \rho = 0.86 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad \min \rho = 0.80 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad \text{TS500}$$

Basit Donatılı Dikdörtgen Kesitler

Basit donatılı dikdörtgen kesitlerin ön tasarım aşamasında boyutların saptanması $b_w d^2 = K_1 M_d$ denklemi yardımıyla olur.

M_d : Gerekli yük katsayıları ile çarpılmış hesap momenti,

K_1 : Denklemden veya çizelgeden alınır.

Bu aşamada her iki boyutta bilinmediğinden önce b_w ile ilgili kabul yapmak uygun olur. Boyutlarla ilgili bir sınırlama yoksa ekonomik bir boyutlandırma için $\frac{h}{b_w}$ oranı **2** veya **3** almak uygun olur. Ön tasarım aşamasında kesme etkisi de dikkate alınmalıdır.

Kesin tasarım aşamasında kesit boyutları bilinmektedir. Boyutların yeterli olup olmadığı kontrol edilir ve donatı hesaplanır.

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d}$$

ile K hesaplanır. K , K_l ile karşılaştırılır. $K < K_l$ ise izlenecek iki yol vardır.

a) Deformasyon limiti aşılarak K_m e göre kontrol yapılır ($K > K_m$) olmalıdır veya

b) Basınç donatısı yerleştirilerek çift donatılı kiriş oluşturulur. Böylece $(\rho - \rho') \leq \rho_l$ tutularak deformasyon koşulu sağlandığı gibi süneklikte arttırılmış olur.

Özet:

Bilinenler: Kesit boyutları, malzeme dayanımları ve M_d

İstenen: Boyutların kontrolü ve donatı hesabı.

Çözüm:

- * K hesaplanır, $K = \frac{b_w d^2}{M_d}$
- * Çizelgeden K_1 bulunur.
- * Eğer $K > K_1$ ise boyutlar uygundur, değilse çift donatılı kirişe gidilir.
- * Donatı hesaplanır, $A_s = \frac{M_d}{f_{yd} J d}$ (J değeri K değeri temel alınarak bulunabilir, çok az hata ile $J=0.86$ alınabilir).
- * Kesme için etriye hesabı yapılır.

Çift Donatılı Dikdörtgen Kirişler

Kirişlerde açıklıkta tablanın etkili ve mesnette etkisiz olması nedeni ile kiriş boyutlarının saptanmasında mesnet momentleri temel alınır. Yönetmelik gereği açıklıktaki donatının en az **1/3** ü mesnede kadar uzatıldığından mesnetteki etkili dikdörtgen kesit çift donatılı bir kesite dönüşür. Bunun için;

$$K_o' = \frac{b_w d^2}{M}$$

değerinin hesaplanması bu boyutlandırmada yararlı olur. (K_o' K değeri ile aynıdır fakat bu değer hesaplanırken basınç donatısı da dikkate alınmıştır).

$\rho' = \frac{1}{3} \rho$ ve kesitin deformasyon sınırlaması içinde kaldığı varsayılırsa

$$\rho - \rho' = 0.235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad j = 0.86 \text{ buradan } \rho' = 0.117 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ olur.} \quad \frac{c_1}{d} = \frac{0.276}{k_1} \quad J_1 = 0.862$$

$\sigma_s' = f_{yd}$ alınarak ve σ_s' , j , $(\rho - \rho')$, ρ' değerleri çift donatılı dikdörtgen kesit denge denklemlerinde yerine konularak ;

$$K_o' = \frac{8.55}{f_{cd} \left\{ 2.73 - \frac{d'}{d} \right\}} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Ön tasarım için K_o' değeri temel alınarak kesit boyutları bulunabilir. Kesin tasarımda ise A_s ve A_s' hesaplanır. Eğer $K < K_1$ ise çift donatılı kirişe gidilir.

$$\Sigma M=0 \quad M_r=0.85 f_{cd} b_w k_1 c(d-\frac{k_1 c}{2})+A_s' \sigma_s'(d-d')$$

$$\frac{M}{b_w d^2} = \frac{0.85 f_{cd} b_w k_1 c_l d (1 - \frac{k_1 c_l}{2d})}{b_w d^2} + \frac{A'_s}{b_w d^2} f_{yd} (d - d')$$

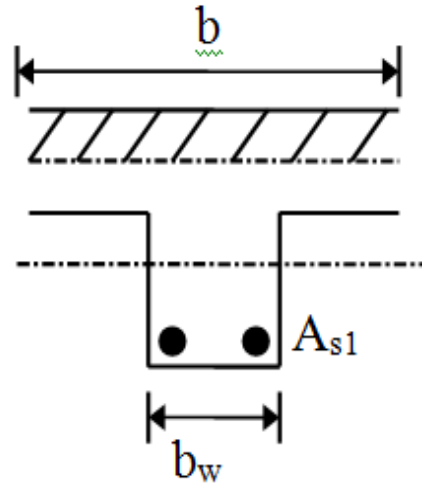
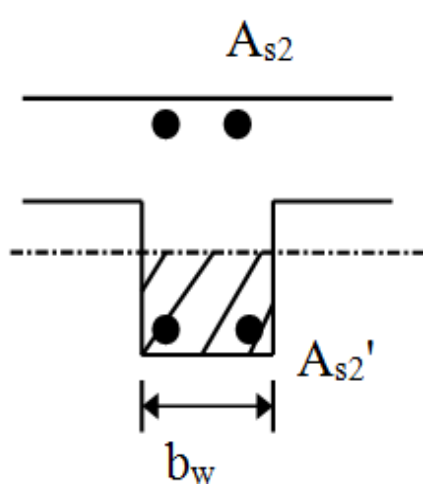
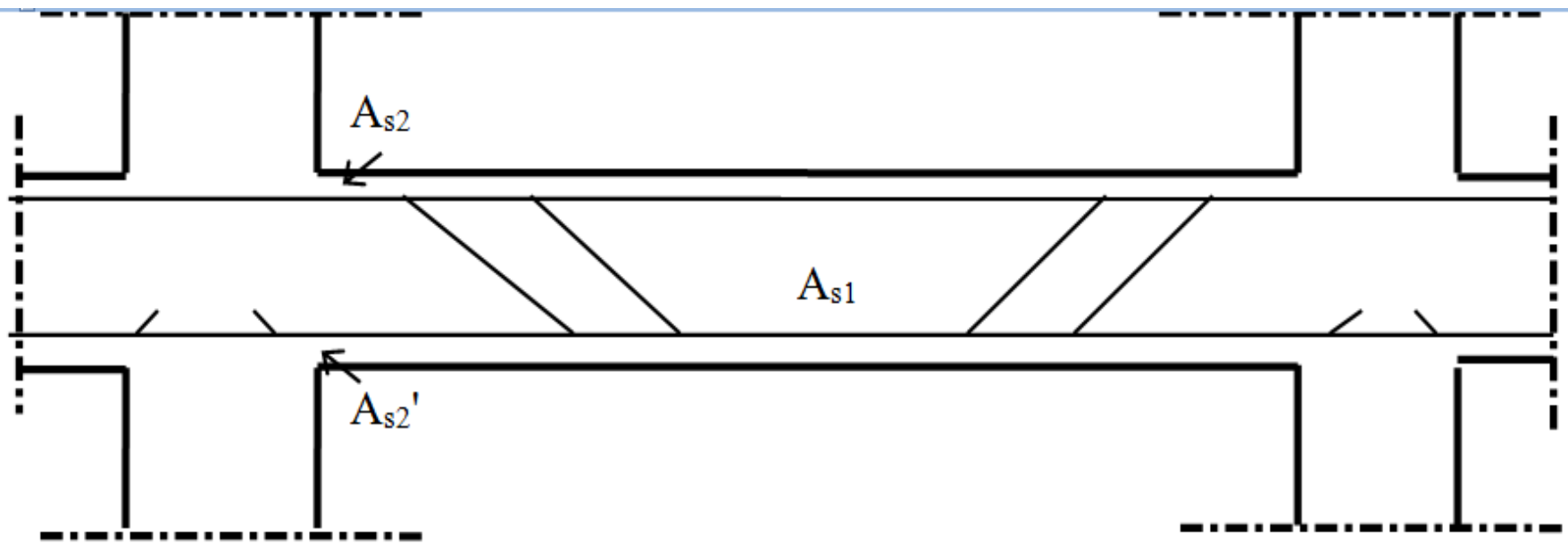
$$\frac{1}{K'_0} = 0.85 f_{cd} k_1 j_l \left(\frac{c_l}{d} \right) + \rho' f_{yd} \left(1 - \frac{d'}{d} \right)$$

$$\frac{1}{K'_0} = 0.85 f_{cd} k_1 0.86 \frac{0.276}{k_1} + 0.117 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} f_{yd} \left(1 - \frac{d'}{d} \right)$$

$$\frac{1}{K'_0} = 0.201756 f_{cd} + 0.117 f_{cd} \left(1 - \frac{d'}{d} \right)$$

$$\frac{1}{K'_0} = 0.117 f_{cd} \left(1.7244 + 1 - \frac{d'}{d} \right)$$

$$K'_0 = \frac{8.547}{f_{cd} (2.7244 - \frac{d'}{d})}$$



Problem (a):

Bilinenler: M_d , b_w , d , malzeme dayanımları.

İstenen: A_s ve A_s'

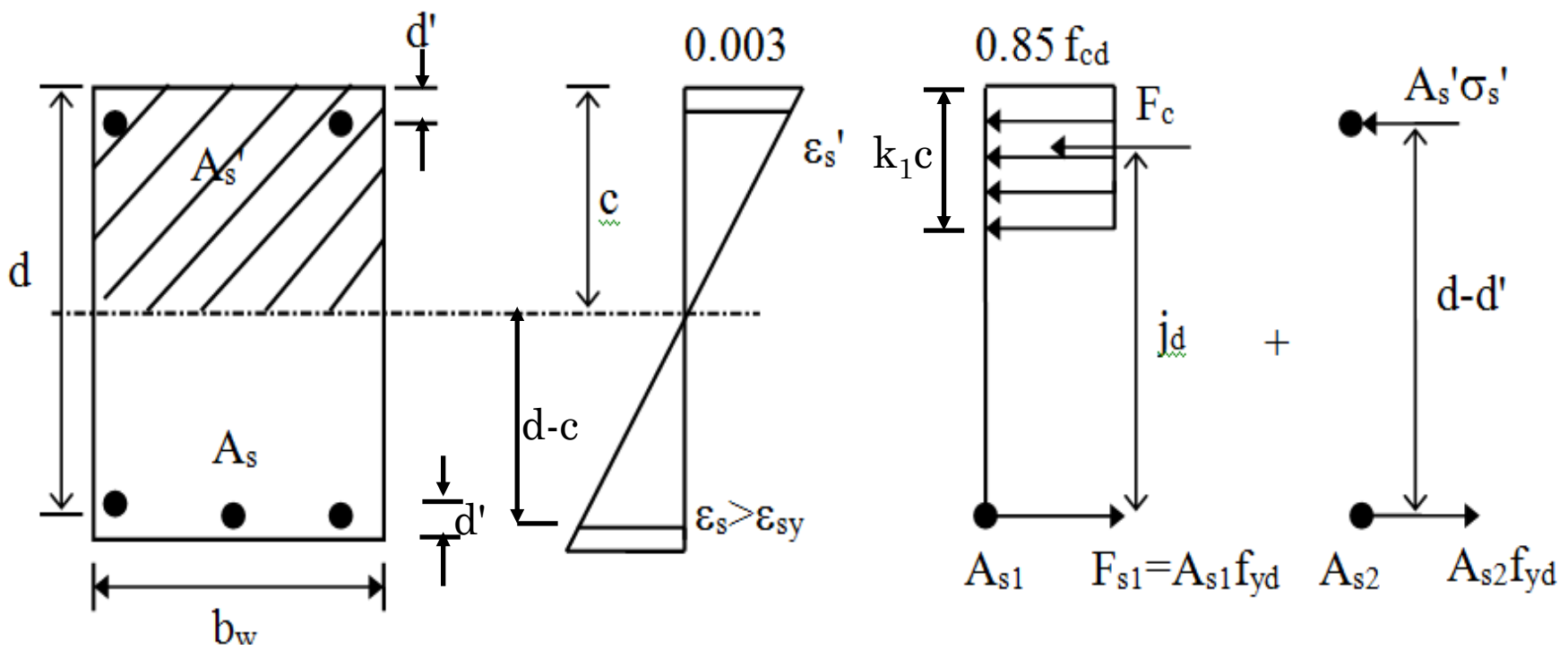
Çözüm:

* K hesaplanır, $K = \frac{b_w d^2}{M_d}$

* K_1 bulunur.

* $K > K_1$ ise basınç donatısına gerek yoktur.

* $K < K_1$ ise basınç donatısı gerekir. $\sigma_s' = f_{yd}$ kabul edilir.



$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1}, \quad M_2 = M_d - M_1$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} J_1 d}, \quad A_s' = A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')}, \quad A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} \quad \boxed{\frac{c_1}{d} = \frac{0.276}{k_1} \quad J_1 = 0.862} \quad \frac{k_1 c_1}{d} = 0.28 \quad \text{ve} \quad \frac{c_1}{d} = 0.33$$

$$\sigma_s' = 0.003 E_s \frac{\frac{c_1}{d} - \frac{d'}{d}}{c_1/d} = 1818.2 \left(0.33 - \frac{d'}{d}\right) = f_{yd}$$

$$f_{yd}=191 \text{ için } \frac{d'}{d}=0.23 \text{ eğer } \frac{d'}{d} \leq 0.23 \text{ ise } \sigma_s' = f_{yd}$$

$$f_{yd}=365 \text{ için } \frac{d'}{d}=0.13 \text{ eğer } \frac{d'}{d} \leq 0.13 \text{ ise } \sigma_s' = f_{yd} \text{ olur.}$$

Problem (b):

$$\sigma_s' = 0.003 \frac{c - d'}{c} E_s$$

Bilinenler: M_d , b_w , d , A_s' ve malzeme dayanımları.

İstenen: A_s

Çözüm:

* Varsayım $\sigma_s' = f_{yd}$

* $M_2 = A_s' f_{yd} (d - d')$ $A_s' = A_{s2}$ ve $M_1 = M_d - M_2$

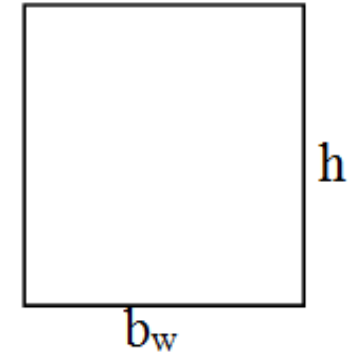
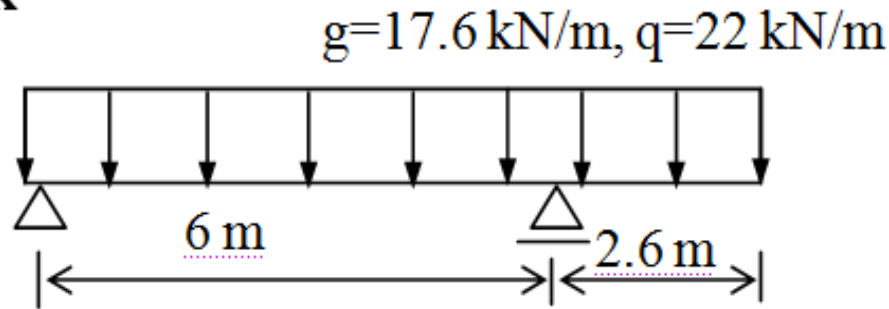
* $A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} J d}$ ve $A_s = A_{s1} + A_{s2} = A_{s1} + A_s'$

* $\alpha = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} (\rho - \rho')$ hesaplanıp α_c ile karşılaştırılır.

* Eğer $\alpha > \alpha_c$ ise basınç donatısı akmıştır. $\sigma_s' = f_{yd}$ çözüm doğrudur.

* Eğer $\alpha < \alpha_c$ ise yukarıdaki hesap geçerli değildir. σ_s' değeri hesaplanarak çözüme gidilir.

Örnek



Şekilde verilen kirişin;

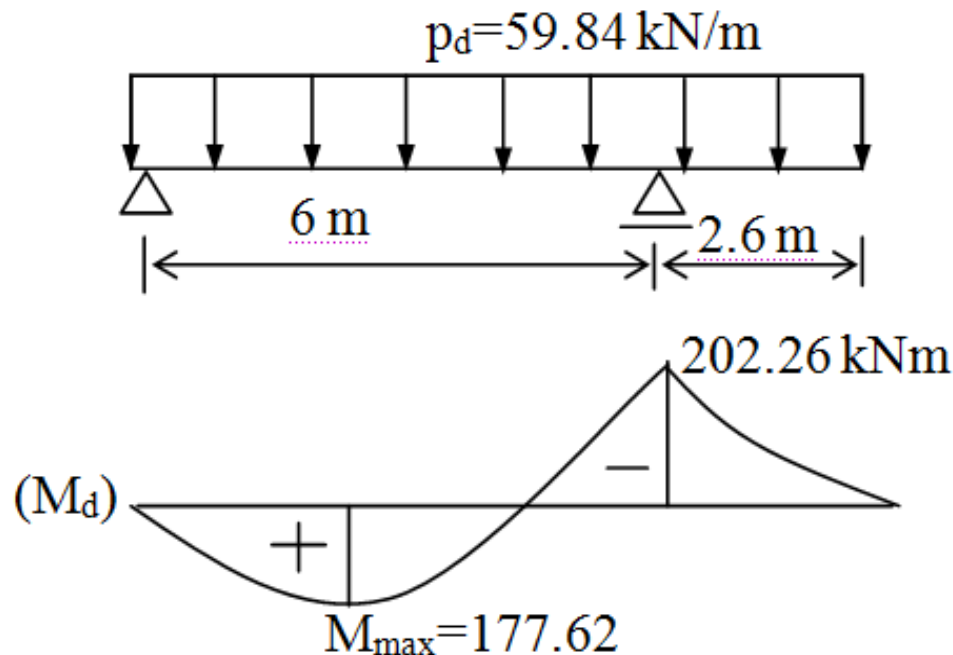
- Ön tasarımını
- $b_w=250 \text{ mm}$ ve $h=500 \text{ mm}$ alarak kesin tasarımı yapınız. Paspayı=50 mm ve malzeme C25, S420.

Çözüm:

Kiriş üzerindeki yükler servis (karakteristik) yükleri olduğundan bu yüklerin yük katsayıları ile büyütülmesi gerekmektedir. Bu durumda;

$$P_d = 1.4g + 1.6q = 1.4 \times 17.6 + 1.6 \times 22 = 59.84 \text{ kN/m}$$

Bu tasarım yükü için moment diyagramı aşağıdaki gibi olmaktadır.



a) Ön tasarım:

Kesit boyutları belirlenir. Boyutlar belirlenirken maksimum moment esas alınmaktadır.

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = \frac{4.95}{17 \times 10^{-3}} = 291 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$b_w d^2 = M_d K_1$$

$$b_w d^2 = 202.26 \times 10^3 \times 291$$

$$b_w d^2 = 58857660$$

$b_w = 250 \text{ mm}$ için $d = 485.2 \text{ mm}$ olarak boyutlar bulunmaktadır.

b) Kesin tasarım:

$$b_w = 250 \text{ mm}, h = 500 \text{ mm}, d = 500 - 50 = 450 \text{ mm}$$

Donatı hesabı:

$$(+)M_d = 177.62 \text{ kNm}$$

$$K_1 = 291 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 450^2}{177.62 \times 10^3} = 285 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$K < K_1$ olduğundan çift donatılı kesite gidilmelidir.

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{250 \times 450^2}{291 \times 10^3} = 173.9 \text{ kN m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{173.9 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 450} = 1231.2 \text{ mm}^2$$

$$M_2 = M_d - M_1$$

$$M_2 = 177.62 - 173.9 = 3.71 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{3.71 \times 10^6}{365 \times 400} = 25.4 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1231.2 + 25.4 = 1256.6 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = A_{s2} = 25.4 \text{ mm}^2 \quad \text{olarak donatı alanları bulunur.}$$

$$(-)M_d=202.26 \text{ kNm} \quad (K < K_1)$$

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{250 \times 450^2}{291 \times 10^3} = 173.9 \text{ kN m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{173.9 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 450} = 1231.2 \text{ mm}^2$$

$$M_2 = M_d - M_1$$

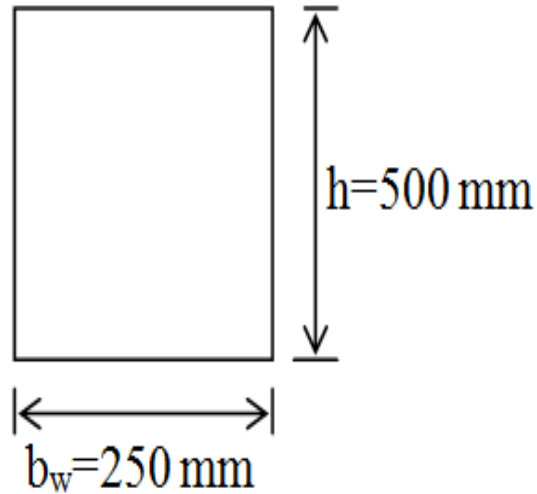
$$M_2 = 202.26 - 173.9 = 28.36 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{28.36 \times 10^6}{365 \times 400} = 194.24 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1231.2 + 194.24 = 1425.44 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = A_{s2} = 194.24 \text{ mm}^2 \quad \text{olarak donatı alanları bulunur.}$$

Örnek



Şekilde verilen kiriş $M_d = 300 \text{ kNm}$ moment etkisi altındadır. Buna göre kiriş kesitinin boyutlarını kontrol ederek gerekli donatı miktarlarını hesaplayınız. Malzeme C20, S220 ve paspayı = 30 mm

Çözüm:

Kesitin boyutlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = \frac{4.95}{13 \times 10^{-3}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 470^2}{300 \times 10^3} = 184 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$K < K_1$ olduğundan çift donatılı kesite gidilmelidir.

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{250 \times 470^2}{380 \times 10^3} = 145.3 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{145.3 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 470} = 1882 \text{ mm}^2$$

$$M_2 = M_d - M_1$$

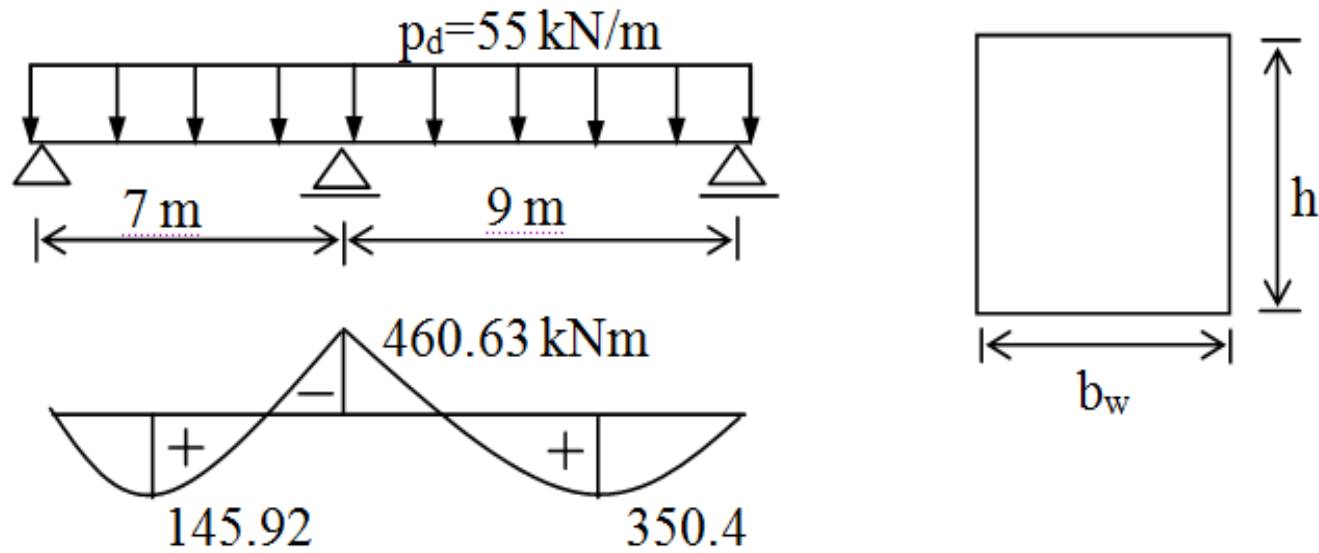
$$M_2 = 300 - 145.3 = 154.7 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{154.7 \times 10^6}{191 \times (470 - 30)} = 1841 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1882 + 1841 = 3723 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = A_{s2} = 1841 \text{ mm}^2 \text{ olarak donatı alanları bulunur.}$$

Örnek



Şekilde verilen sürekli kiriş sabit yükseklikli dikdörtgen kesit olarak tasarılacaktır.

Kiriş 55 kN/m lik üniform yüke maruzdur (verilen yük, hesap yüküdür).

- Maksimum momentin bulunduğu kesitte $\rho = 0.75\rho_b$ ve $b_w = 350 \text{ mm}$ olarak kesitin faydalı yüksekliğini bulunuz.
- Kesit boyutlarını $d = 550 \text{ mm}$, $b_w = 350 \text{ mm}$ ve paspayı $= 50 \text{ mm}$ olarak maksimum pozitif ve negatif moment noktalarında gerekli donatı miktarlarını hesaplayınız. Malzeme C25, S420.

Çözüm:

a) $\rho = 0.75 \rho_b$ $\rho_b = 0.0209$

Çizelge

$$\rho = 0.75 \times 0.0209 = 0.015675$$

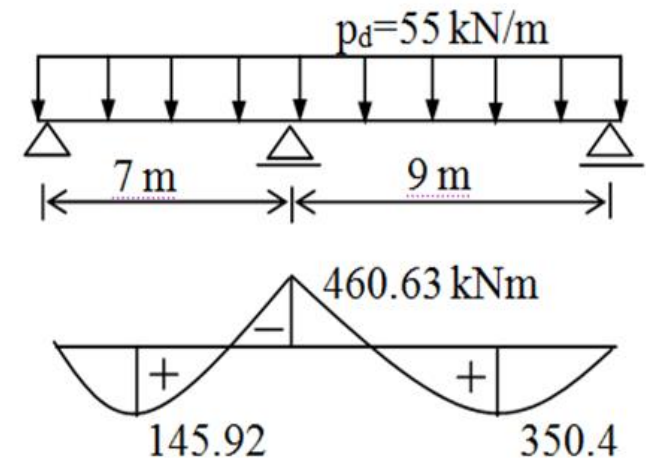
$$\frac{k_1 c}{d} = \rho \frac{f_{yd}}{0.85 f_{cd}} = 0.015675 \times \frac{365}{0.85 \times 17} = 0.396$$

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) \quad A_s = \rho b_w d$$

$$M_r = \rho b_w f_{yd} d^2 \left(1 - \frac{k_1 c}{2 d} \right)$$

$$460.63 \times 10^6 = 0.015675 \times 350 \times 365 \times \left(1 - \frac{0.396}{2} \right) d^2$$

$d = 535.5$ mm elde edilmektedir. Seçilen boyut $d = 550$ mm



b) $b_w=350 \text{ mm}$ $d=550 \text{ mm}$

Kesitin boyutlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = \frac{4.95}{17 \times 10^{-3}} = 291 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{350 \times 550^2}{350.4 \times 10^3} = 302.15 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (\text{I. Açıklıkta } K > K_1 \text{ Basit donatılı kesit}$$

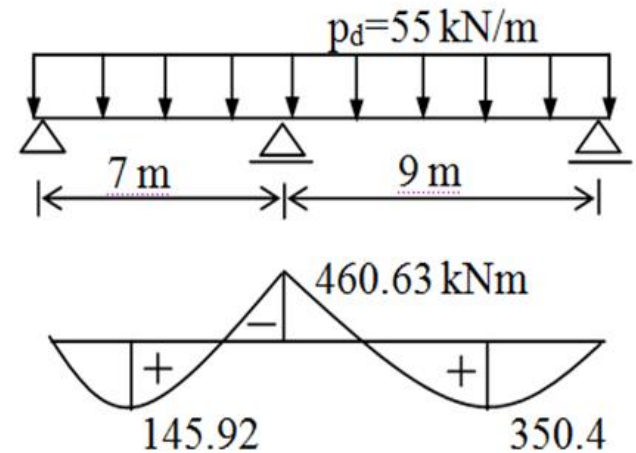
hesabı yapılacaktır).

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{350 \times 550^2}{145.92 \times 10^3} = 725.6 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (\text{II. Açıklıkta } K > K_1 \text{ Basit donatılı kesit}$$

hesabı yapılacaktır).

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{350 \times 550^2}{460.63 \times 10^3} = 229.8 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (\text{Mesnette } K < K_1 \text{ çift donatılı kesit hesabı}$$

yapılacaktır).



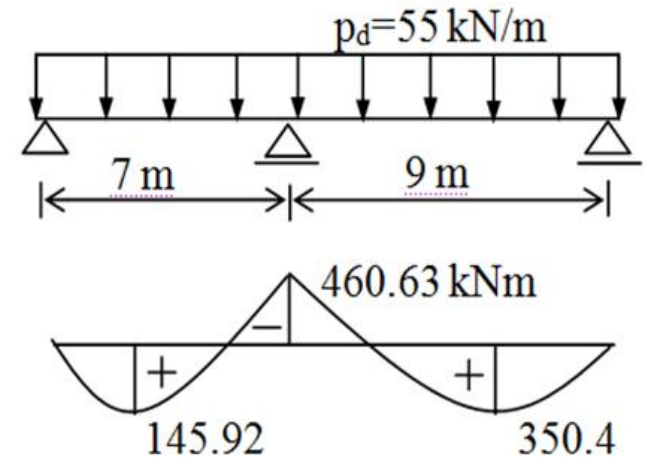
Donatı hesabı:

I. Açıklık (+) $M_d = 145.92 \text{ kN m}$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{145.92 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 550} = 845.2 \text{ mm}^2$$

II. Açıklık (+) $M_d = 350.4 \text{ kNm}$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{350.4 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 550} = 2029.6 \text{ mm}^2$$



Mesnette $(-)M_d=460.63 \text{ kN m}$

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{350 \times 550^2}{291 \times 10^3} = 363.8 \text{ kN m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{363.8 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 550} = 2107.2 \text{ mm}^2$$

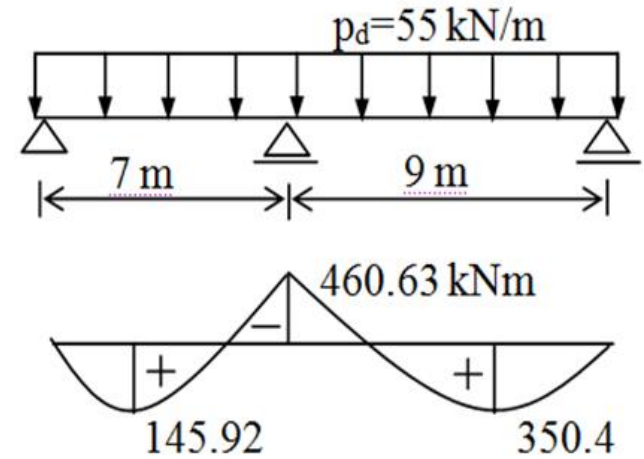
$$M_2 = M_d - M_1$$

$$M_2 = 460.63 - 363.8 = 96.83 \text{ kNm}$$

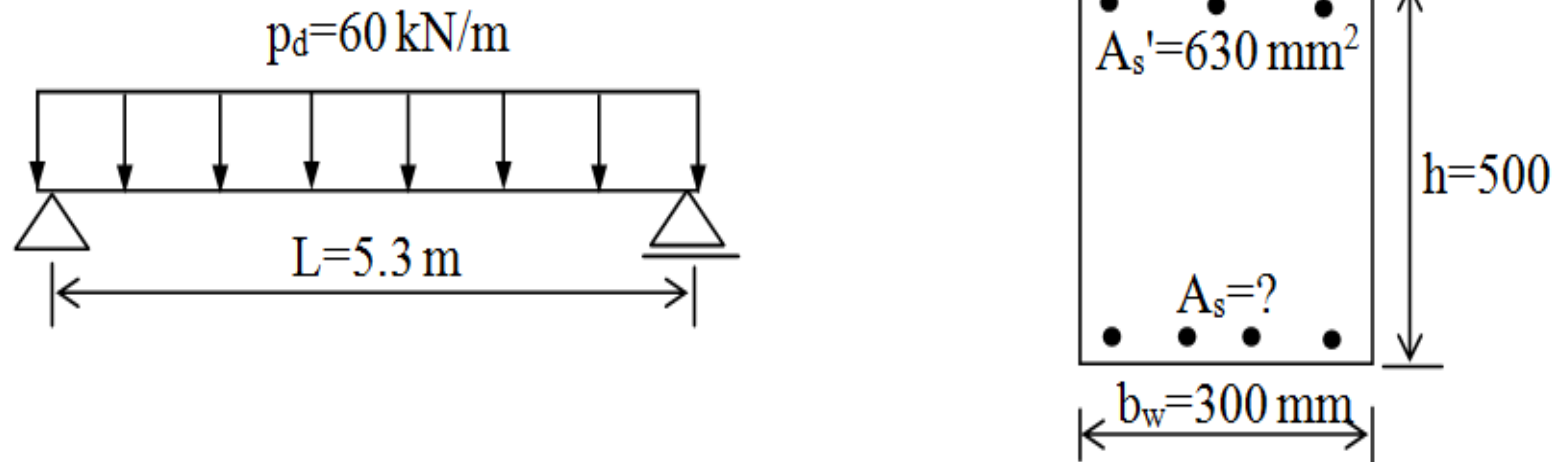
$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{96.83 \times 10^6}{365 \times (550 - 50)} = 530.57 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2107.2 + 530.57 = 2637.77 \text{ mm}^2$$

$A_s' = A_{s2} = 530.57 \text{ mm}^2$ olarak donatı alanları bulunur.



Örnek



Şekilde verilen basit kirişte konstrüktif nedenlerle basınç donatısı $A_s'=630\text{ mm}^2$ olduğuna göre çekme donatısı alanını (A_s) bulunuz. Malzeme C20, S420 ve paspayı=30 mm.

Çözüm:

$$M_d = \frac{P_d L^2}{8} = \frac{60 \times 5.3^2}{8} = 210.7\text{ kN m}$$

$\sigma_s' = f_{yd}$ kabul edelim;

$$M_2 = A_s' f_{yd} (d - d') = [630 \times 365 \times (470 - 30)] \times 10^{-6}$$

$$M_2 = 101.18\text{ kN m}$$

$$M_1 = M_d - M_2 = 210.7 - 101.18$$

$$M_1 = 109.52\text{ kN m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{101.18 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 470} = 685.81 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 685.81 + 630 = 1315.81 \text{ mm}^2$$

Başlangıçta kabul edilen basınç donatısının aktığı varsayımının kontrol edilmesi gerekmektedir.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1315.81}{300 \times 470} = 0.00933$$

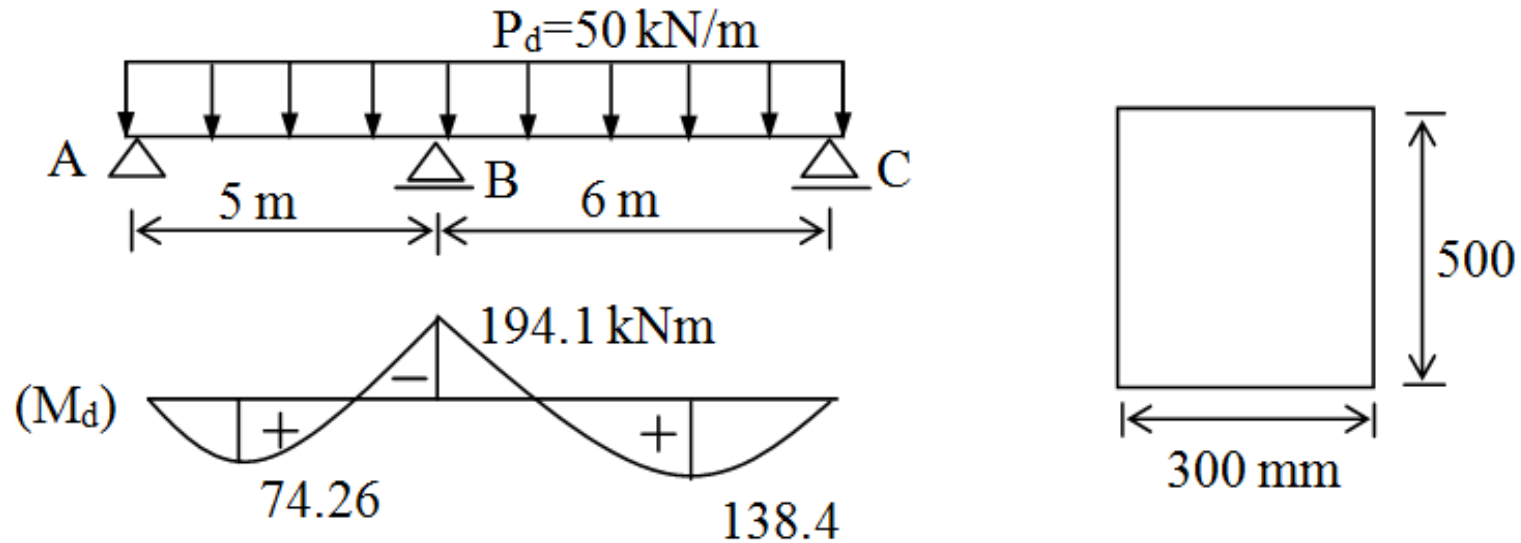
$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = \frac{630}{300 \times 470} = 0.00447 \quad , \text{ donatı indeksi;}$$

$$\alpha = (\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = (0.00933 - 0.00447) \times \frac{365}{13} = 0.136$$

$$\alpha_c = 0.85 k_1 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{d} = 0.85 \times 0.85 \times \frac{600}{(600 - 365)} \times \frac{30}{470} = 0.118$$

$\alpha > \alpha_c$ olduğundan ($\epsilon_s' > \epsilon_{sy}$) dir. Dolayısı ile $\sigma_s' = f_{yd}$ varsayımı geçerli olup çözüm doğrudur.

Örnek



Kirişe ait moment diyagramı şekildeki gibi verildiğine göre dikdörtgen kesitin boyutlarını kontrol ederek tüm kirişteki gerekli donatıyı bulunuz ve donatıyı detaylandırınız.

Malzeme C20, S220 ve paspayı=30 mm.

Çözüm:

$$b_w=300 \text{ mm} \quad d=470 \text{ mm}$$

Kesitin boyutlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = \frac{4.95}{13 \times 10^{-3}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{300 \times 470^2}{74.26 \times 10^3} = 892 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (\text{I. Açıklıkta } K > K_1 \text{ Basit donatılı kesit hesabı}$$

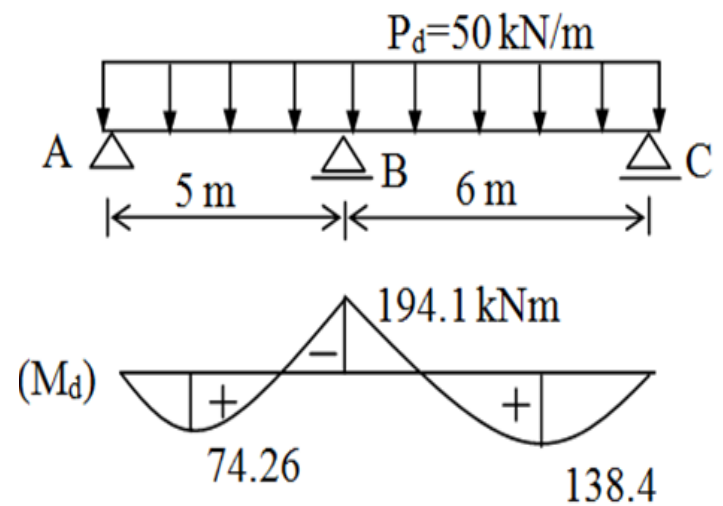
yapılacaktır).

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{300 \times 470^2}{138.4 \times 10^3} = 478 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (\text{II. Açıklıkta } K > K_1 \text{ Basit donatılı kesit}$$

hesabı yapılacaktır).

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{300 \times 470^2}{194.1 \times 10^3} = 341 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (\text{Mesnette } K < K_1 \text{ çift donatılı kesit hesabı}$$

yapılacaktır).



Donatı hesabı:

A-B Açıklığı (+) $M_d=74.26$ kNm

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{74.26 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 470} = 962 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 5 ϕ 16 (3 ϕ 16 düz+2 ϕ 16 pilye)

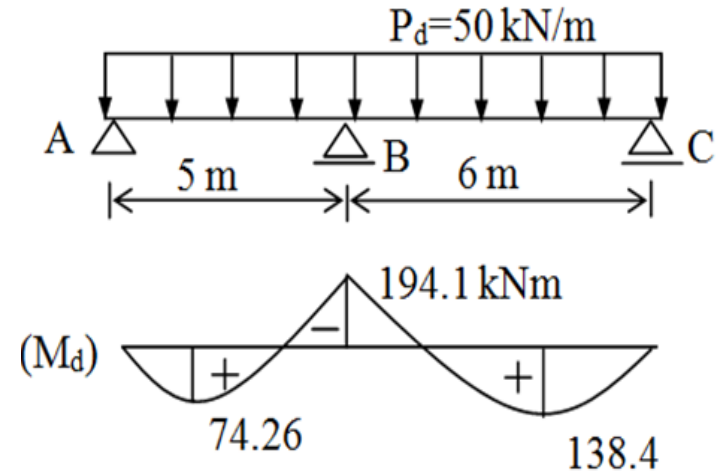
II. Açıklık (+) $M_d=138.4$ kN m

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{138.4 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 470} = 1793 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 6 ϕ 20 (3 ϕ 20 düz+3 ϕ 20 pilye)

B Mesnedi (-) $M_d=194.1$ kNm (Çift Donatılı hesap yapılacaktır).

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{300 \times 470^2}{380 \times 10^3} = 174.4 \text{ kN m}$$



$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{174.4 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 470} = 2259 \text{ mm}^2$$

$$M_2 = M_d - M_1$$

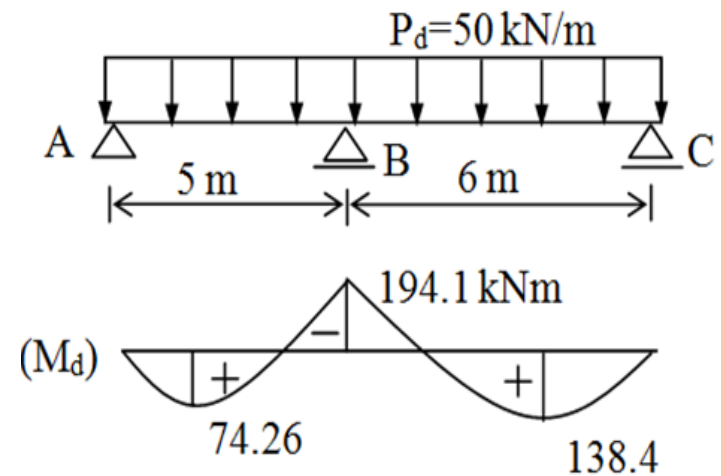
$$M_2 = 194.1 - 174.4 = 19.7 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{19.7 \times 10^6}{191 \times (470 - 30)} = 234 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2259 + 234 = 2493 \text{ mm}^2 \text{ (B mesnedi üst donatısı)}$$

$$A_s' = A_{s2} = 234 \text{ mm}^2 \text{ olarak donatı alanları bulunur (B mesnedi alt donatısı)}$$

Mesnet bölgesinde açıklıktaki pilyelerin katkısından meydana gelen mevcut donatı bulunmaktadır.



Mevcut donatı:

2 ϕ 12 Montaj donatısı : 226 mm²

2 ϕ 16 Pilye (I. açıklıktan gelen) : 402 mm²

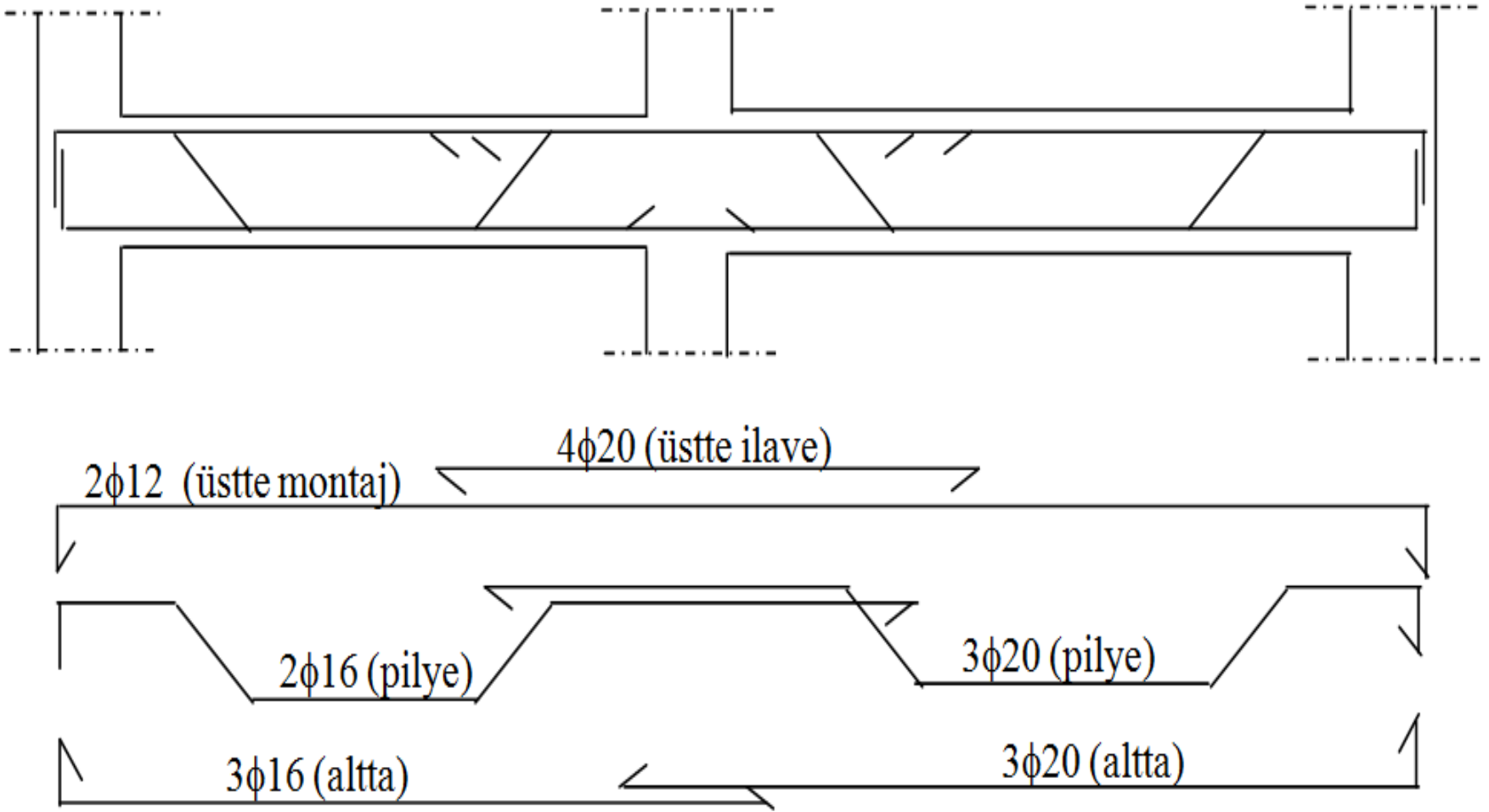
3 ϕ 20 Pilye (II. açıklıktan gelen) : 628 mm²

Toplam : 1256 mm²

$A_{s, ilave} = 2493 - 1256 = 1237 \text{ mm}^2$ 4 ϕ 20 (1256 mm²) Üste ilave edilecektir.

Altta 3 ϕ 16=603 mm² > 234 mm² Ek donatıya gerek yoktur.

Donatı detayı:



Tablalı Kesitler

Tablalı kesitlerde moment kolu katsayısı (j) fazla değişmediğinden yaklaşık olarak elde edilmesi uygun olur. Yaklaşık değer olarak aşağıda gösterilen ilişkilerden elde edilenin büyük olanı kullanılmalıdır.

$$j d = 0.9 d \quad \text{veya} \quad j d = d - \frac{h_f}{2} \quad A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d}$$

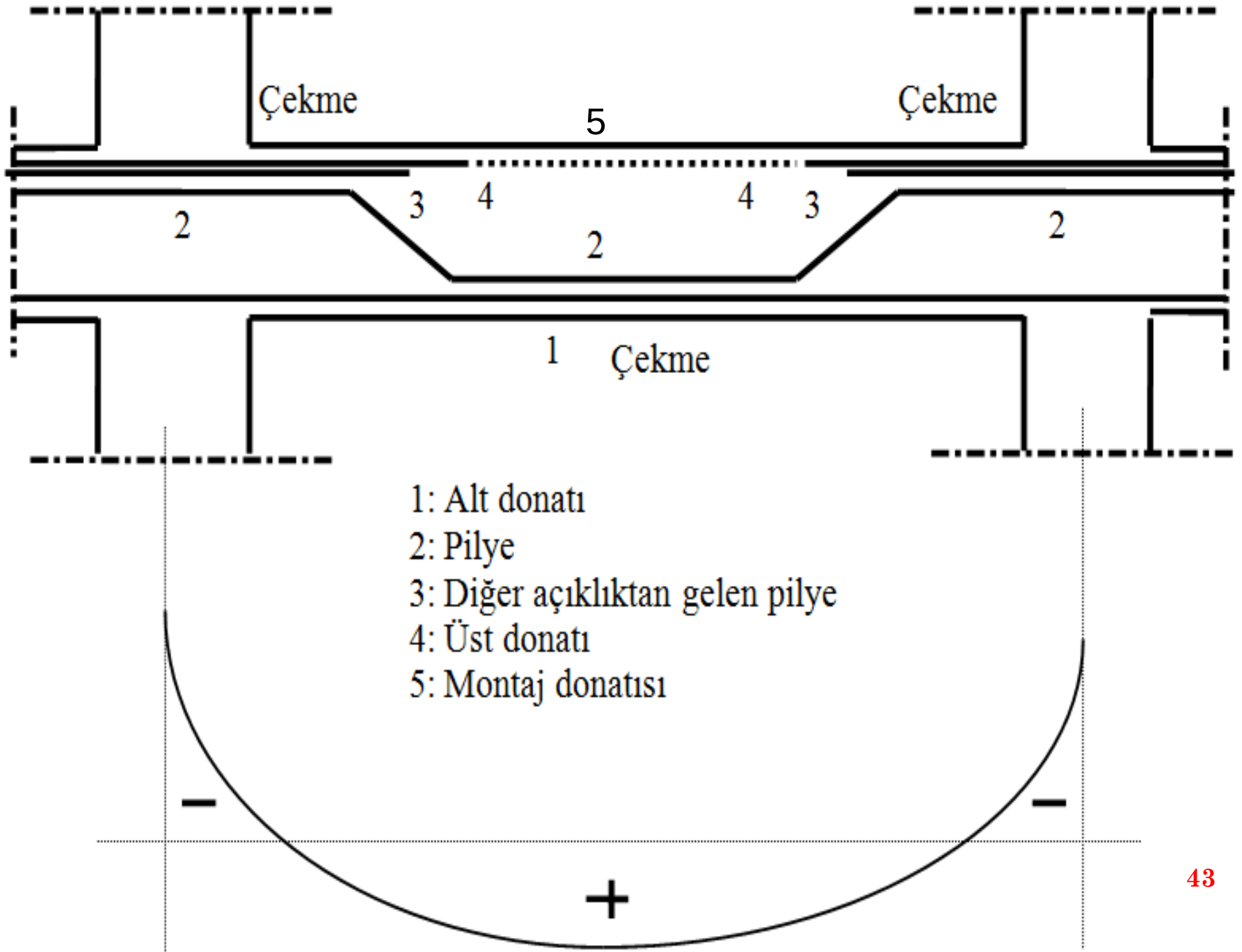
Gereksinme Duyulmayan Donatının Kesilmesi ve Pilyeler

Kesitler için gerekli donatı, kesite etkiyen en büyük momente göre hesaplanır. Donatının kesildiği noktalarda büyük gerilme yığılmaları meydana gelmekte ve bu durum aderansı olumsuz yönde etkilediği için donatı kesim noktalarında eğik çatlaklar oluşmaktadır.

Deneysel çalışmalar gereksinme duyulmayan donatının kesilmeyip (45°), basınç bölgesine bükülüp kenetlendiği durumlarda sakıncalı durumların ortadan kalktığını kanıtlamıştır;

- a) Donatıya daha fazla kenetlenme boyu sağlanır
- b) kenetlenme basınç bölgesinde yapılır.
- c) Pilye yapılan donatını tarafsız eksene erişinceye kadar etkili olarak gerilme yığılmasını azaltır.

Diğer bir yararı gereksinme duyulmayan çekme donatısının kirişin öteki yüzüne bükülerek momentin işaret değiştirmesi nedeni ile yeniden çekme donatısı olarak kullanılmasıdır. Pilyeler **8φ** veya **h/4** mesafesinden sonra yapılmalıdır.



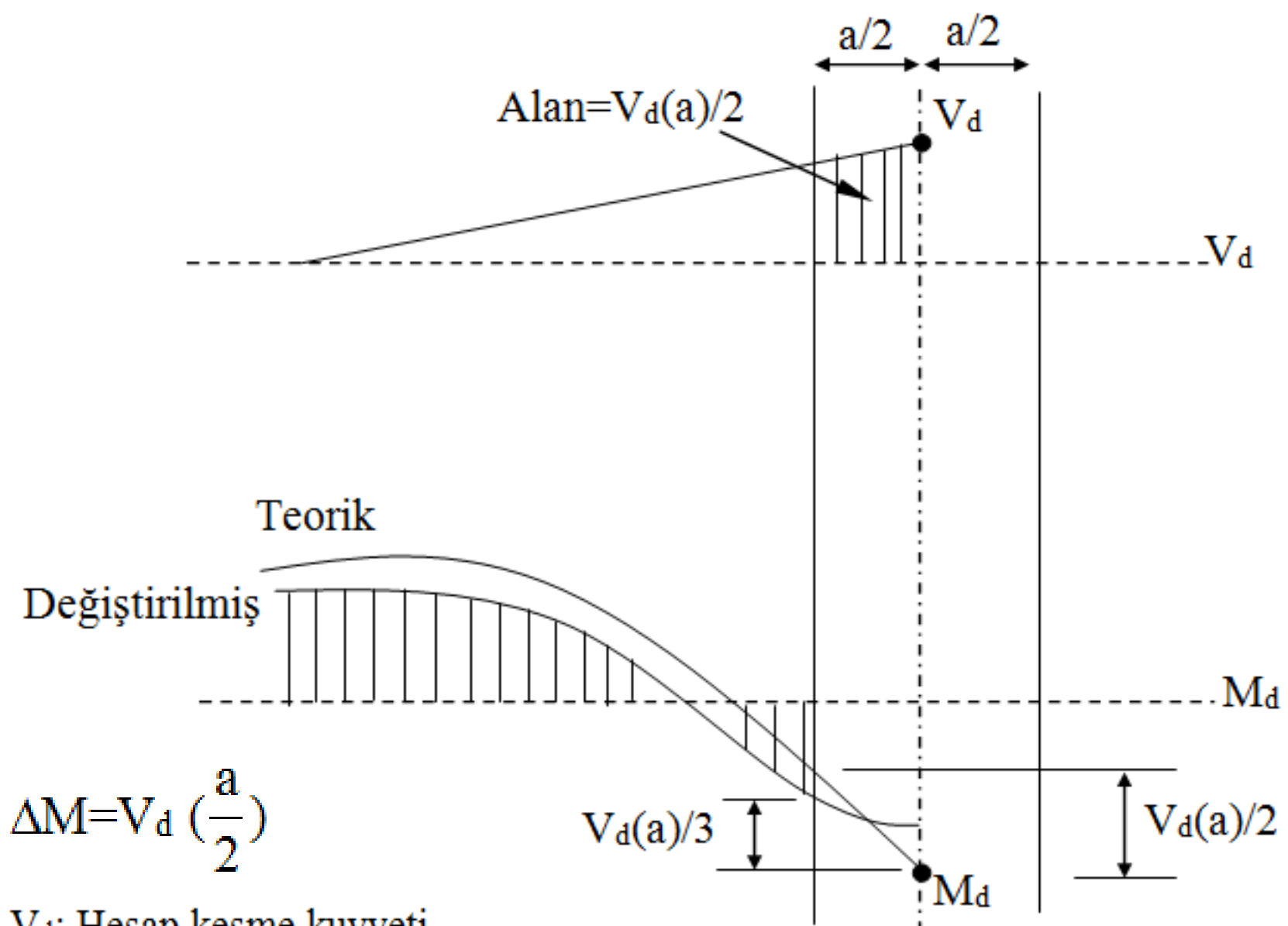
Donatının bir bölümüne gereksinme duyulmayan nokta moment diyagramından hesaplanabilir.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} J d}$$

ifadesinden görüldüğü gibi belirli bir kiriş için f_{yd} ve d sabittir. Moment kolu katsayısı da ihmal edilirse, donatı alanının momentle doğrusal olarak değiştiği sonucuna varılır.

Mesnette Moment Azaltma

Yapısal çözümlemede hesaplanan mesnet momentleri mesnet ortasına etkiyen momentlerdir. Hesaplarda ise mesnet yüzündeki moment değeri alınır.



V_d : Hesap kesme kuvveti

a : Mesnet genişliği

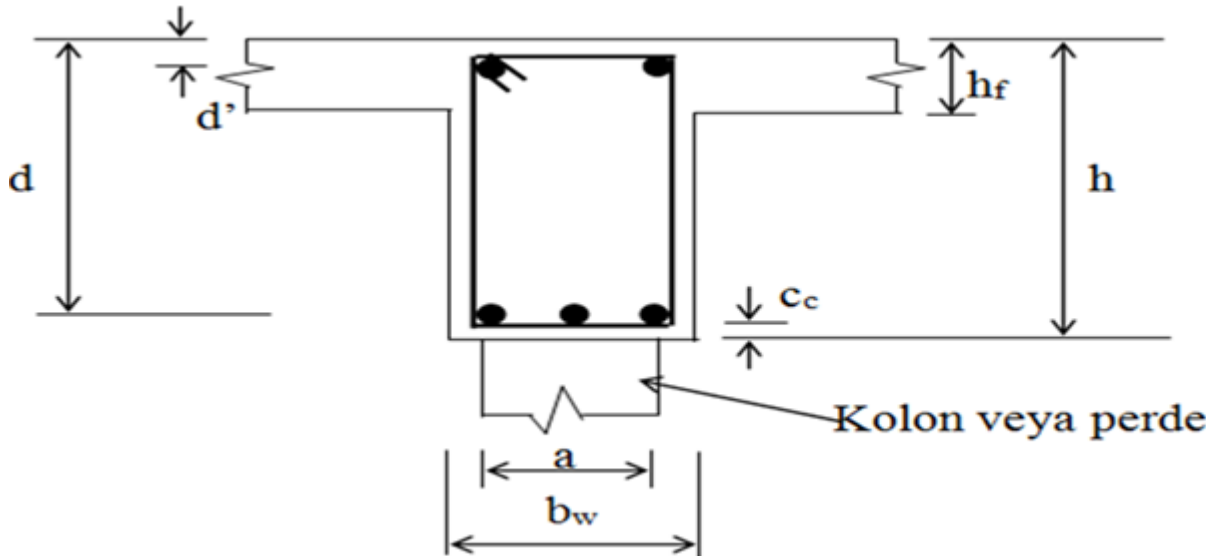
Yapılan hesaplar ve deneyler sonucu, moment azaltmasının aşağıda verilen bağıntıya göre yapılması daha emniyetli yönde olacağını göstermiştir.

$$\Delta M = \frac{V_d (a)}{3} , \quad M_d = M_{dc} - \frac{V_d (a)}{3}$$

Kirişler için minimum koşullar

Hesap eksenel basınç değeri $N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c$ sınırını aşmayan elemanlar eğilme elemanı olarak tanımlanırlar.

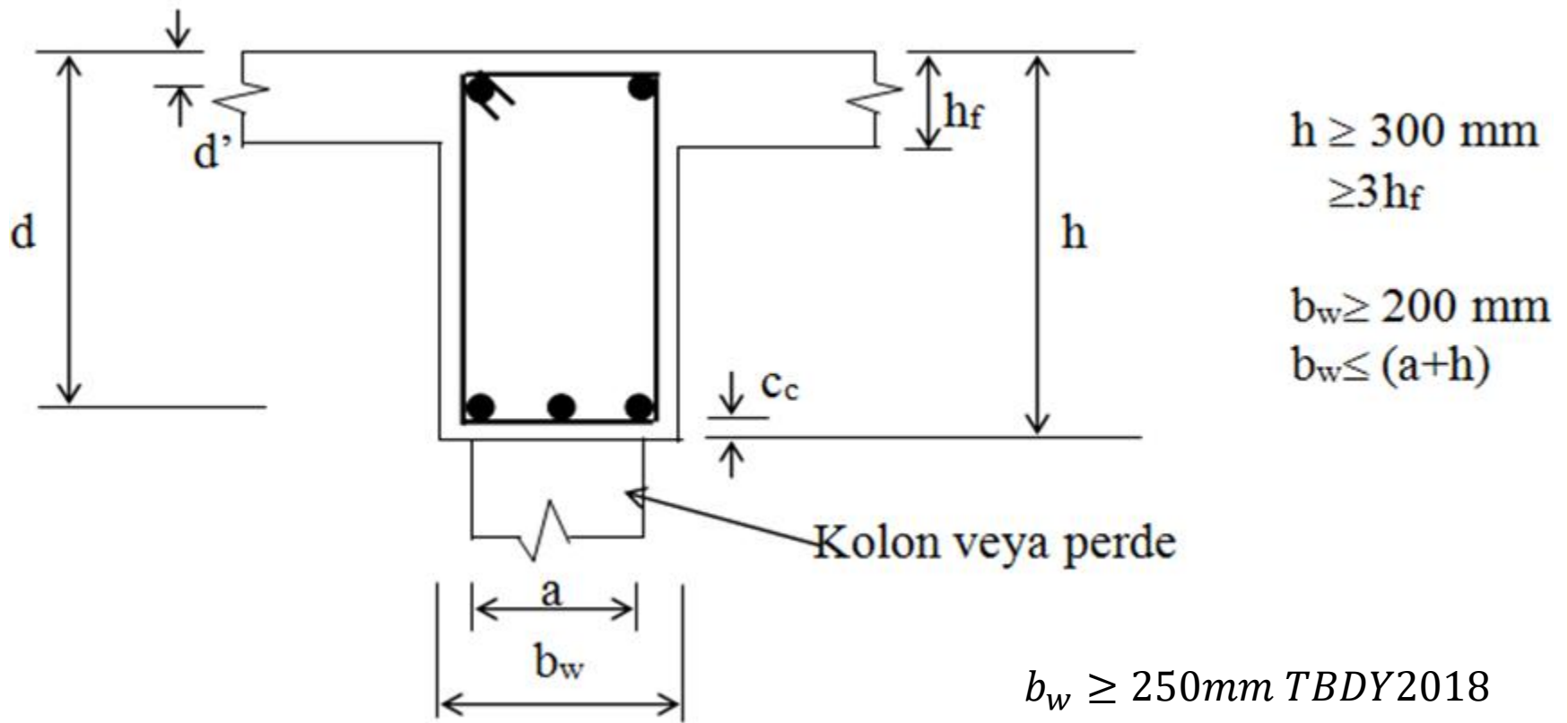
Kiriş toplam yüksekliği, 300 mm den ve döşeme kalınlığının üç katından daha küçük olmamalıdır. Kiriş gövde genişliği 200 mm den az, kiriş toplam yüksekliği ile kolon genişliği toplamından fazla olmamalıdır.



$$h \geq 300 \text{ mm} \\ \geq 3h_f \quad (\text{TS500})$$

$$b_w \geq 200 \text{ mm} \\ b_w \leq (a+h)$$

$$b_w \geq 250 \text{ mm TB DY2018}$$



Kirişlerde net beton örtüsü, özel yapılar dışında, dıştaki elemanlarda 25 mm den, içteki elemanlarda 20 mm den az olmamalıdır.

Kirişlerde sıra içinde veya sıralar arasında donatı çubukları altında kalan net aralık, **20** mm den ve donatı çapından ve en büyük agrega boyutunun **4/3** ünden az olmamalıdır. Demet donatı kullanıldığında anma çapı ϕ esas alınmalıdır. Birden fazla sıra oluşturulduğunda, üst üste çubuklar aynı hizaya getirilmelidir.

Kirişlerde pilye büküm noktaları, kuramsal kesim noktasından ileride düzenlenmelidir. Bu uzaklık, faydalı yüksekliğin üçte birinden ve donatı çapının 8 katından az olmamalıdır. Gerekli olmayan çubukların kesilme noktaları ile kuramsal kesim noktası arasındaki uzaklık ise faydalı yükseklikten ve nervürlü çubuklarda donatı çapının 20 katından, düz yüzeyli çubuklarda ise donatı çapının 40 katından az olmamalıdır.

Ayrıca, TBDY 2018'e göre;

$$b_w \geq 250 \text{ mm},$$

$$h \geq 300 \text{ mm}, \quad h \geq 3 h_f,$$

$$h \leq l_n/4, \quad h \leq 3.5 b_w \quad (l_n: \text{Kiriş serbest açıklığı}).$$

Kirişlerde çekme donatısı oranı ρ , aşağıdaki değerden az olamaz.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \geq \rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

Kirişlerde çekme ve basınç donatı oranları farkı, dengeli donatı oranının 0.85 katından fazla olmamalıdır.

$$\rho - \rho' \leq \rho_{\max} = 0.85 \rho_b$$

Ayrıca, kiriş mesnetlerindeki çekme donatısı $\rho_u \geq \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$ (TDY, 7.8)

Deprem Tasarım Sınıfı; **DTS =1, 1a** ve **DTS = 2, 2a** olan taşıyıcı sistemlerde, kiriş mesnedindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olamaz. Ancak, diğer durumlarda bu oran %30'a indirilebilir.

Kirişlerde boyuna donatı olarak **12 mm** den küçük çaplı çubuklar kullanılmamalı, gövde yüksekliği **600 mm** den büyük olan kirişlerde en az **$A_{sf}=0.001 b_w d$** kadar gövde donatısı bulundurulmalıdır. Bu donatı gövdenin iki yüzüne eşit olarak, en az **10 mm** çaplı çubuklardan ve çubuk aralığı **300 mm** yi geçmeyecek biçimde düzenlenir. Ayrıca, açıklıkta çekme donatısının, en az üçte birinin mesnede kadar uzatılıp kenetlenmesi gereklidir.

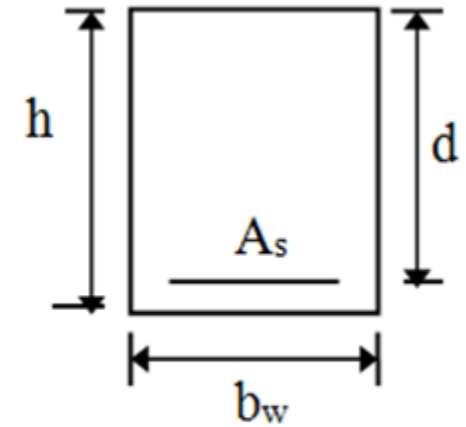
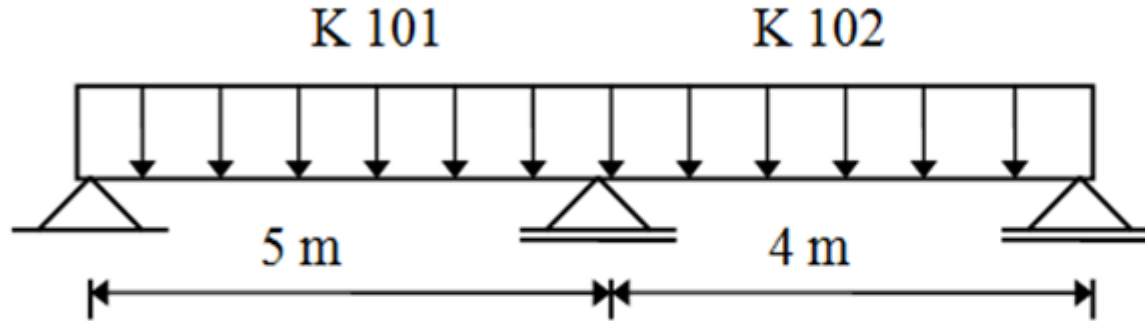
3.2. DEPREM TASARIM SINIFLARI

3.1.1’de tanımlanan *Bina Kullanım Sınıfları*’na ve DD-2 *deprem yer hareketi düzeyi* için 2.3.2.2’de tanımlanan *Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı*’na bağlı olarak, bu Yönetmelik’te deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak *Deprem Tasarım Sınıfları* (DTS), **Tablo 3.2**’ye göre belirlenecektir.

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Örnek:



Malzeme C25, S420 olduğuna göre;

a) Ön tasarım

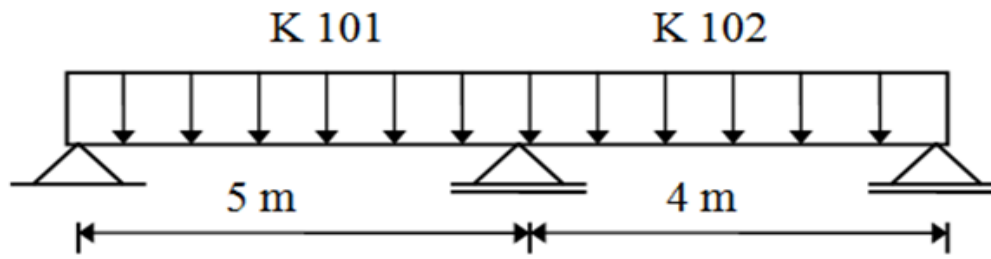
b) Kesin tasarımı yapınız.

Çözüm:

Tahmin edilen kiriş yükleri: $g=20 \text{ kN/m}$, $q=10 \text{ kN/m}$

$\frac{l_k}{l_u} \geq 0.8$, $\frac{g}{q} > 0.5$ ise ön tasarım aşamasında moment hesabı için yönetmeliğin ön

gördüğü moment katsayıları kullanılabilir.



$\max M_d = -\frac{1}{8} P_d l^2$ ifadesine göre moment hesaplanır.

$$P_d = 1.4g + 1.6q = 1.4 * 20 + 1.6 * 10 = 44 kNm$$

$$\max M_d = -\frac{1}{8} * 44 * \left(\frac{4+5}{2} \right)^2 = 111 kNm$$

$$K_l = \frac{4.95}{17} = 291 \text{ mm}^2 / kN \quad b_w d^2 = K_l M_d = 291 * 111000 / 10^3 = 32301 \text{ cm}^3$$

$b_w = 25 \text{ cm}$ seçilirse $d = 35.9 \text{ cm}$ bulunur.

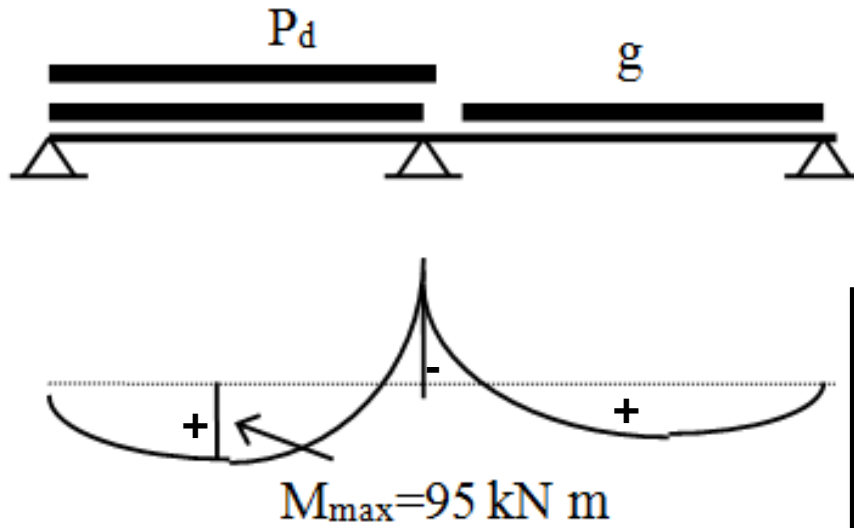
$h = 35.9 + 3.5 = 39.4 \text{ cm}$ elde edilir.

25*45 cm kiriş kullanılır (kesmeye göre de kontrol yapmak gerekir).

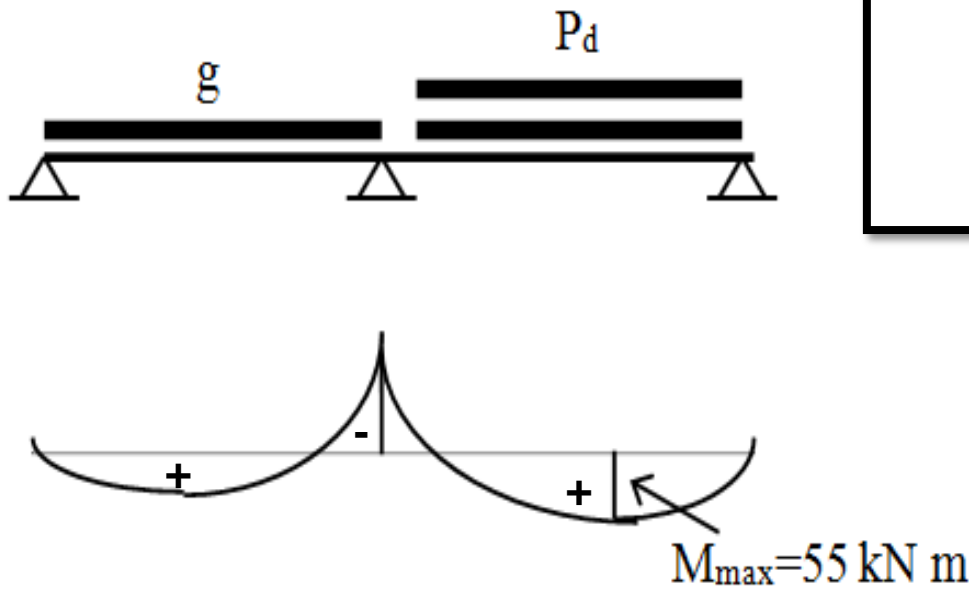
Kesin hesap:

Kirişe elverişsiz yüklemeler uygulamak gerekir.

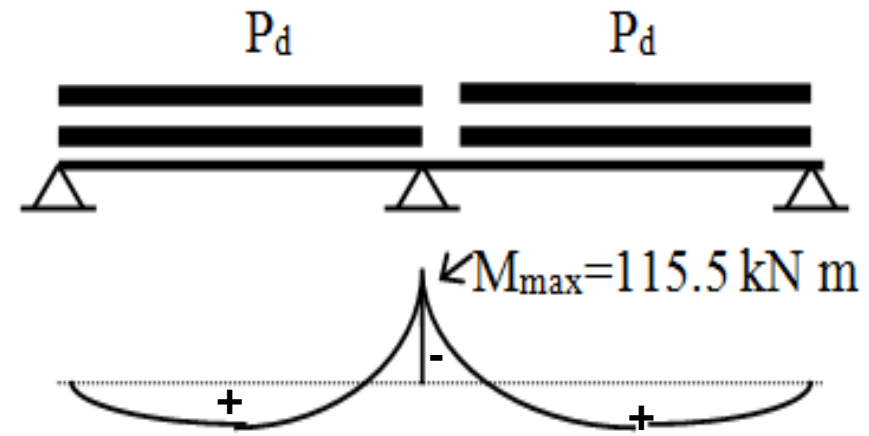
1. Yükleme:



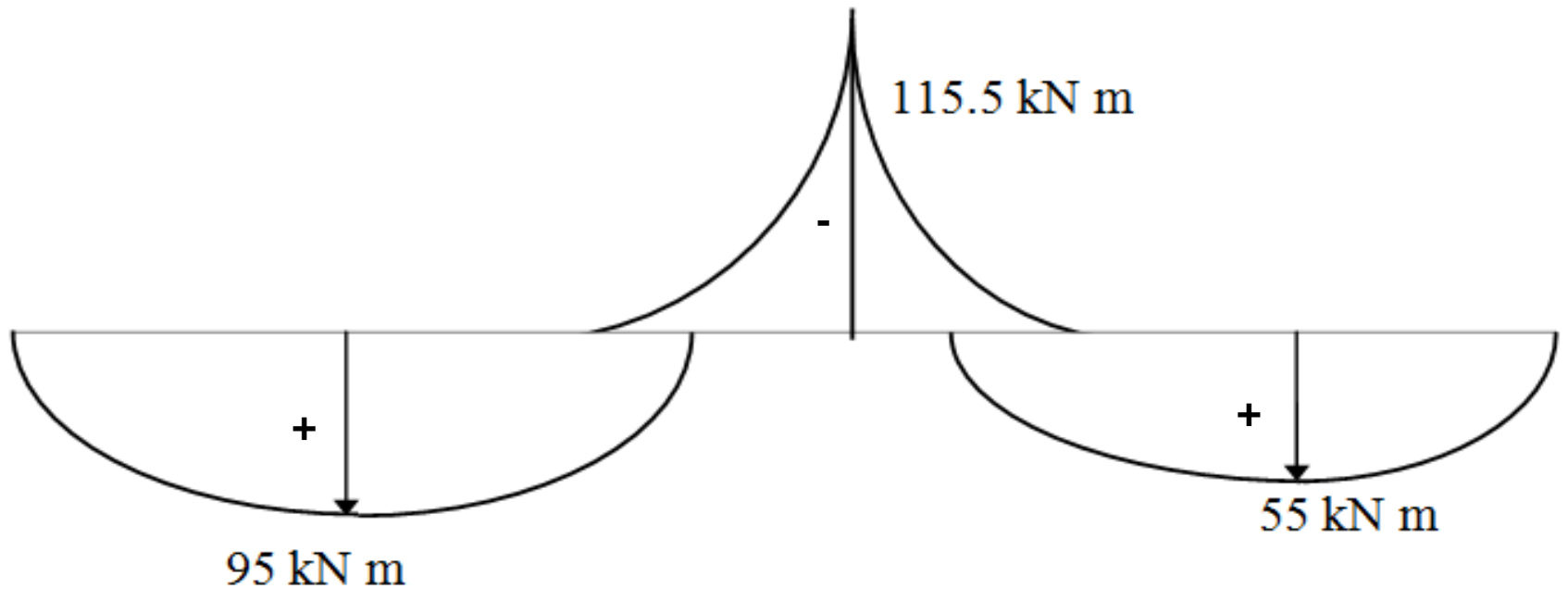
2. Yükleme:



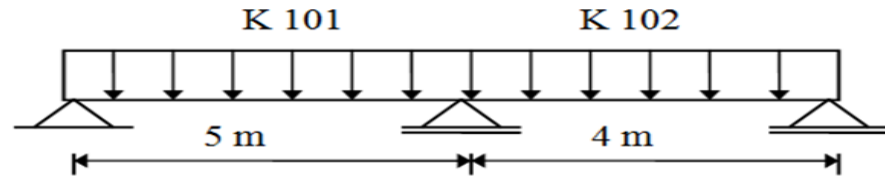
3. Yükleme :



Sonuç moment diyagramı:



K101 (25*45)



$$d = 41.5 \text{ cm}, l = 5 \text{ m}, J_l = 0.86, K_l = 291, M_d = 95 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 * 415^2}{95 * 10^3} = 453 > 291 \text{ mm}^2 / \text{kN}$$

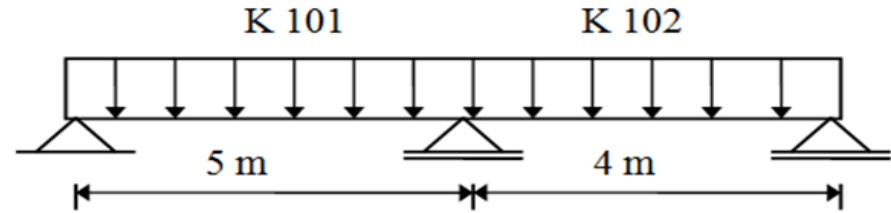
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * J * d} = \frac{95 * 10^6}{365 * 0.86 * 415} = 729.3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen donatı : } 2\phi 16 \text{ düz} = 402.1 \text{ mm}^2$$

$$2\phi 16 \text{ pilye} = 402.1 \text{ mm}^2$$

Kirişin bir ucu basit mesnetli olduğundan toplam donatının en az 1/2 sinin mesnetten mesnede pilye yapılmadan uzatılması tercih edilmiştir.

K102 (25*45)



$$d = 41.5 \text{ cm}, l = 4 \text{ m}, J_l = 0.86, K_l = 291, M_d = 55 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 * 415^2}{55 * 10^3} = 782 > 291 \text{ mm}^2 / \text{kN}$$

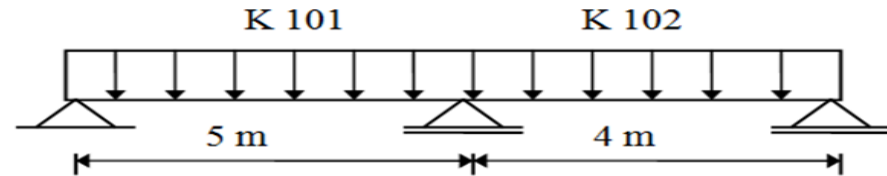
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * J * d} = \frac{55 * 10^6}{365 * 0.86 * 415} = 422.1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seilen donatı : } 2\phi 12 \text{ d z} = 226.2 \text{ mm}^2$$

$$2\phi 12 \text{ pilye} = 226.2 \text{ mm}^2 \text{ (Toplam} = 452.4 \text{ mm}^2)$$

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{1.15}{365} = 0.0025 < \rho = \frac{A_s}{b_w * d} = \frac{452.4}{250 * 415} = 0.0044$$

K101-K102



$$d = 41.5 \text{ cm}, J_l = 0.86, K_l = 291, M_d = 115.5 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 * 415^2}{115.5 * 10^3} = 373 > 291 \text{ mm}^2 / \text{kN}$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * J * d} = \frac{115.5 * 10^6}{365 * 0.86 * 415} = 887 \text{ mm}^2$$

$$\text{K101 } 2\phi 16 (\text{mevcut}) \text{ pilye} = 402.1 \text{ mm}^2$$

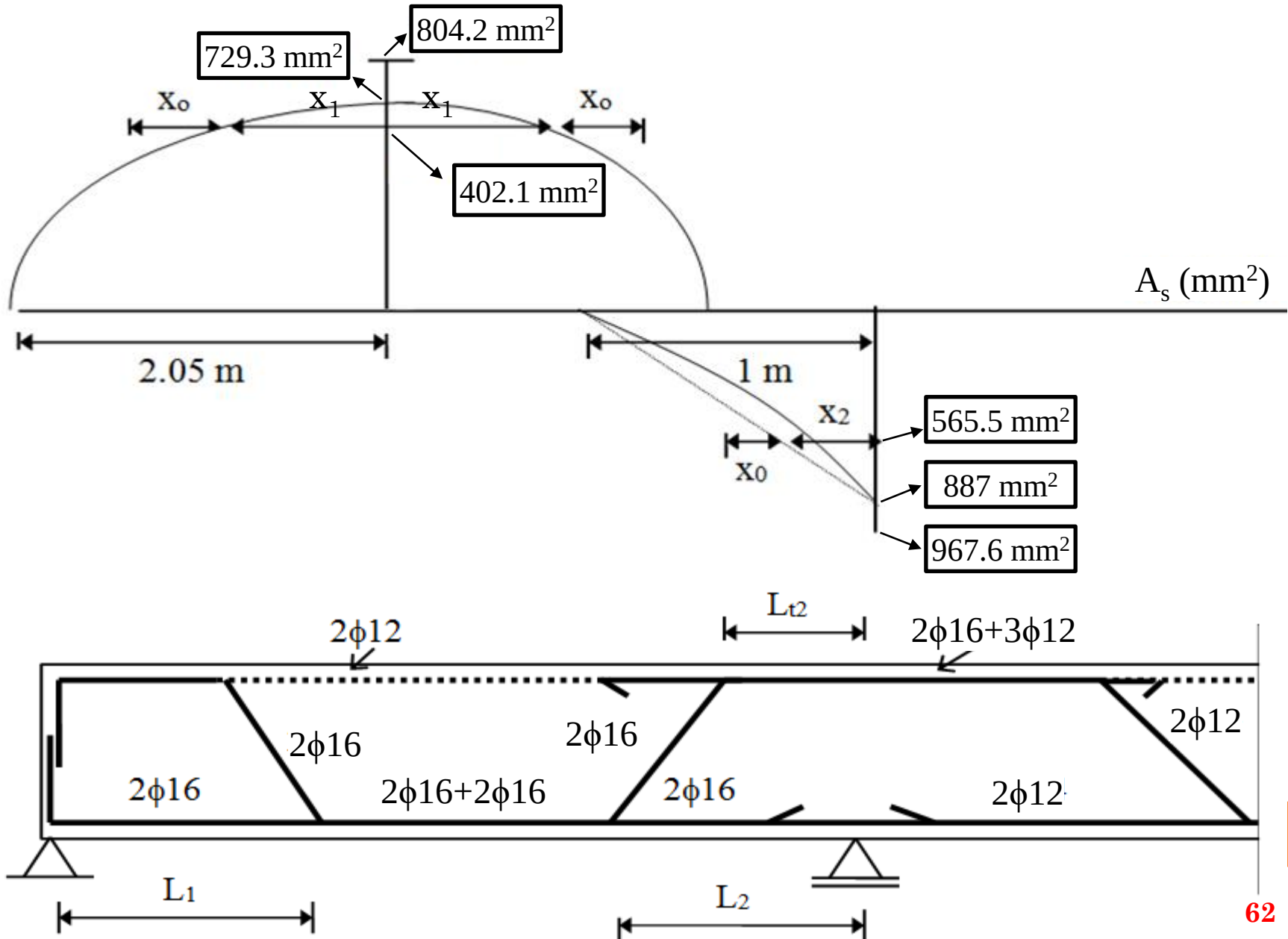
$$\text{K102 } 2\phi 12 (\text{mevcut}) \text{ pilye} = 226.2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Üstte } 2\phi 12 \text{ montaj} = 226.2 \text{ mm}^2$$

$$1\phi 12 \text{ ilave} = 113.1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Toplam} = 967.6 \text{ mm}^2 > A_s (887 \text{ mm}^2)$$

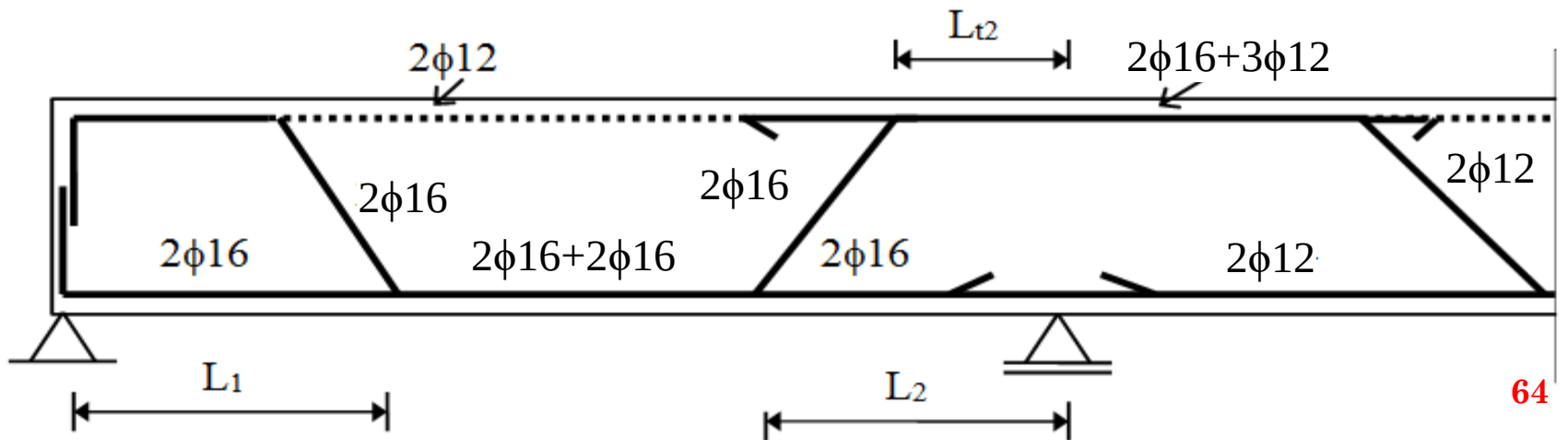
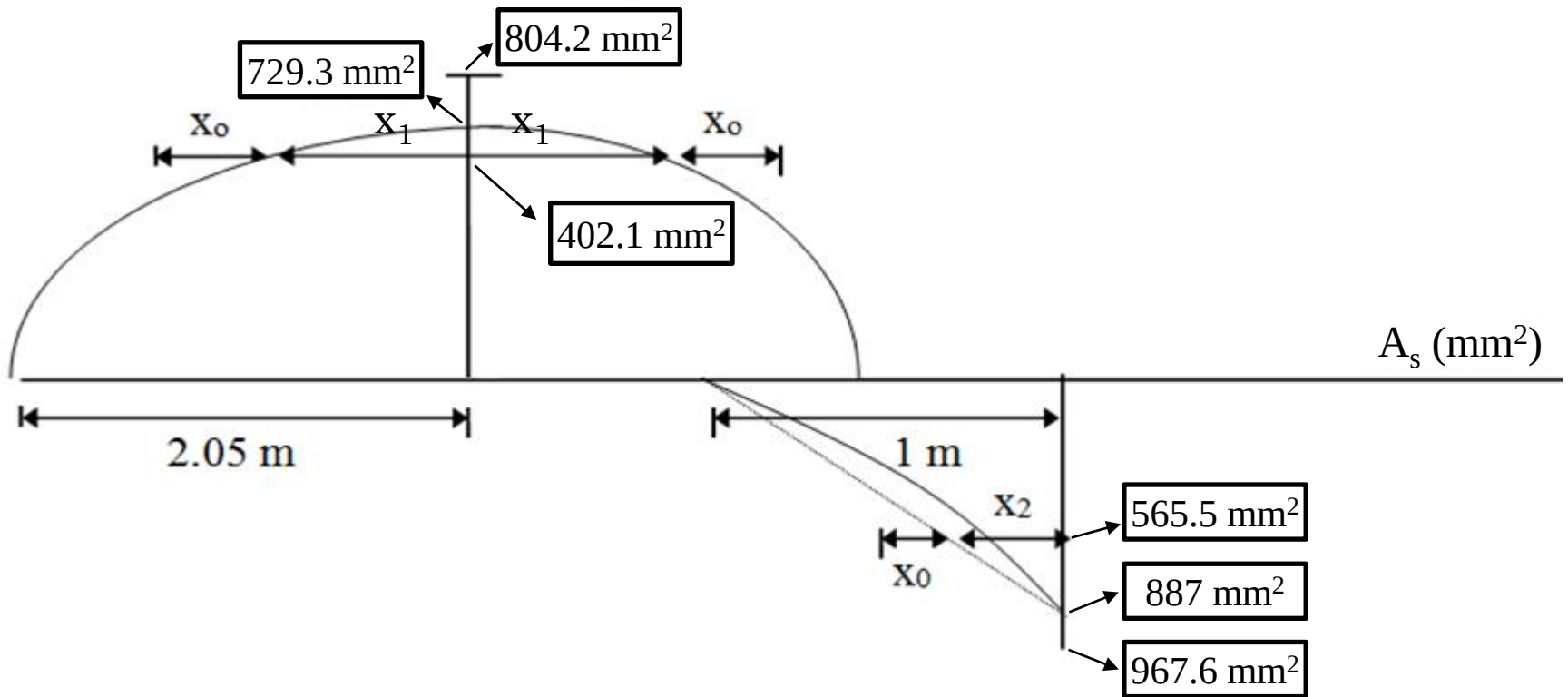
Donatının Detaylandırılması



Moment diyagramı önceki şekildeki gibi donatı alanı olarak ifade edilebilir. Şekildeki x_i ler teorik kesim noktalarını, x_0 ise kenetlenme için gerekli uzaklıktır. x_0 pilyeler için **8ϕ** veya **$h/4$** tür.

Kenar mesnede yakın pilyelerin büküm noktaları sadece pozitif momente göre ayarlanmalıdır. Çünkü bu mesnetlerde moment sıfırdır (x_1+x_0). Orta mesnette alttaki L_2 mesafesi pozitif momente göre, L_{t2} ise mesnet momentine göre belirlenmelidir.

$2\phi 16$ pilye yapıldığına göre donatının büküldüğü yerdeki pozitif momente göre yerleştirilen çekme donatısı **$2\phi 16$** (**402.1 mm^2**) azalacaktır.



Kalan donatı: $804.2 - 402.1 = 402.1 \text{ mm}^2$

Parabolün yüksekliği: 729.3 mm^2

x_1 ile tanımlanan parabolün yüksekliği: $729.3 - 402.1 = 327.2 \text{ mm}^2$ olur.

Benzer parabollerden:

$$\frac{x_1^2}{2.05^2} = \frac{327.2}{729.3}, \quad x_1 = 1.37 \text{ m}, \quad x_0 = h/4 = 11.25 \text{ cm}, \quad x_0 = 8\phi = 8 * 16 = 12.8 \text{ cm}$$

$x_1 + x_0 = 137 + 12.8 = 149.8 \text{ cm} = 150 \text{ cm}$ alınır.

$L_1 = 205 - (x_1 + x_0) = 55 \text{ cm}$

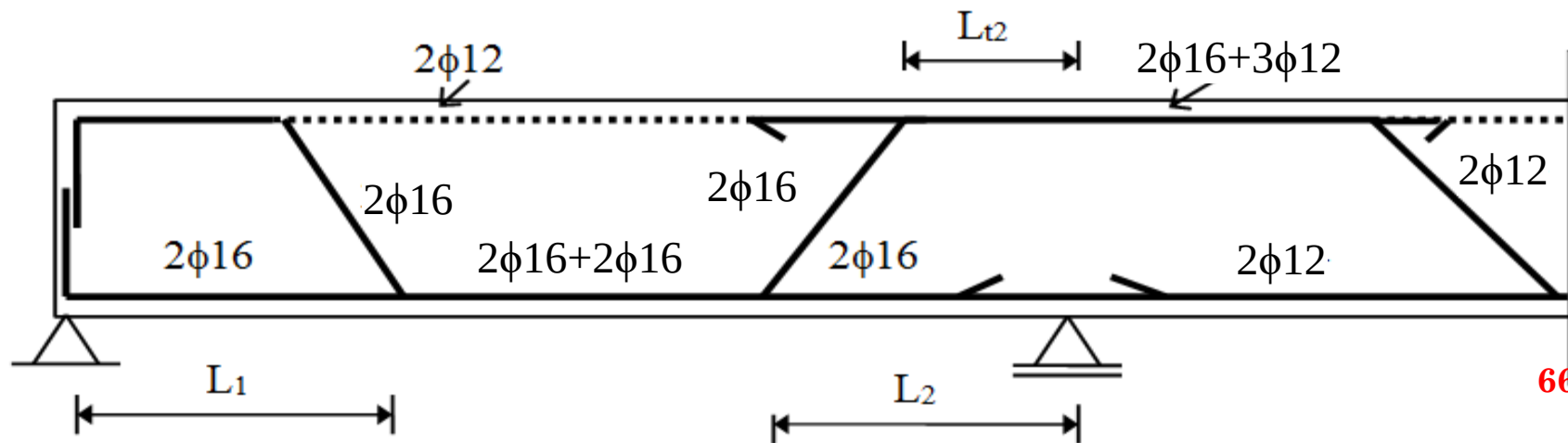
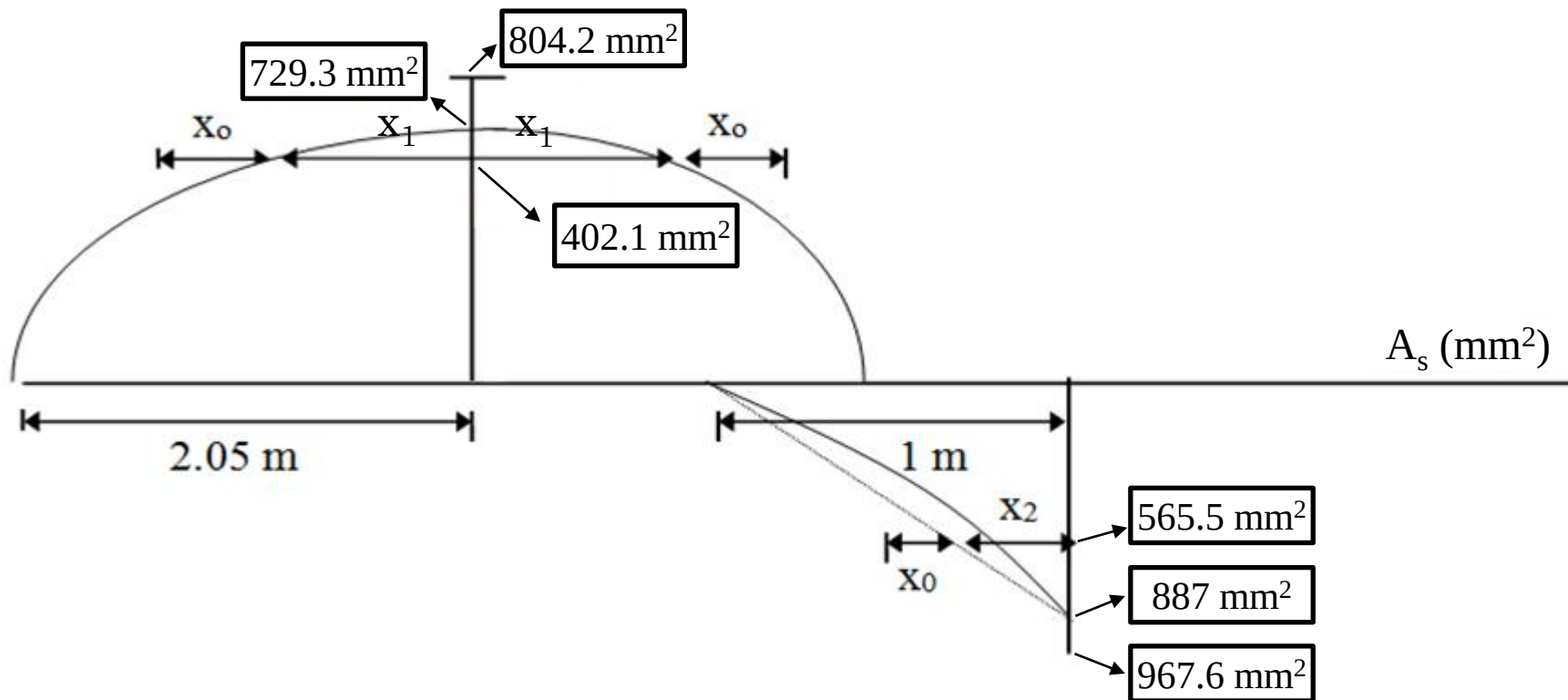
$L_2 = (500 - 205) - (x_1 + x_0) = 145 \text{ cm}$ (Pozitif moment için).

Negatif momentler için benzer üçgenlerden yararlanılarak;

Var olan donatı: 967.6 mm^2

Gereken donatı: 887 mm^2

$2 \phi 16$ ilave : 402.1 mm^2



Pilye yapıldıktan sonra kalan donatı: $967.6 - 402.1 = 565.5 \text{ mm}^2$

Üçgen yüksekliği: 887 mm^2

x_2 ile tanımlanan üçgen yüksekliği: $887 - 565.5 = 321.5 \text{ mm}^2$

Benzer üçgenler yardımıyla:

$$\frac{x_2}{100} = \frac{321.5}{887}, \quad x_2 = 36.3 \text{ cm} \quad x_0 = 12.8 \text{ cm}$$

$L_{t2} = x_2 + x_0 = 49.1 \text{ cm} = 50 \text{ cm}$ alınır.

Üstten ölçülen L_{t2} 'yi alttan ölçülen L_2 'ye indirmek için pilyenin 45 derece olduğunu dikkate alınarak $d - d' = 41.5 - 3.5 = 38 \text{ cm}$ eklenmelidir.

$L_2 = L_{t2} + 38 = 50 + 38 = 88 \text{ cm}$ (Negatif moment için).

L_2 hem pozitif hem de negatif momente göre saptandığına göre şu eşitsizlik ile tanımlanır;

$145 \text{ cm} > L_2 > 88 \text{ cm}$ Pilye bu arada herhangi bir yerde yapılabilir. $L_2=100 \text{ cm}$ alınmıştır.

L_1 ve L_2 nin kiriş açıklığına oranı

$$\text{K101 } \frac{L_1}{L} = 0.11 \quad \frac{L_2}{L} = 0.20$$

$$\text{K102 } \frac{L_1}{L} = 0.14 \quad \frac{L_2}{L} = 0.25$$

Pratikte, eğer açıklılar fazla farklı değilse pilye büküm noktaları kenar mesnette $L_n/7$, orta mesnette ise $L_n/5$ alınabilir.

Örnek:

Bilinenler: $M_d=176.25$ kNm, $d=450$ mm, $b_w=300$ mm, $J_l=0.86$, C20, S420
 $d'=50$ mm

İstenen: Kesitin donatı alanı.

Çözüm:

$$K_l = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2 / \text{kN} \quad , \quad K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{300 * 450^2}{176.25 * 10^3} = 345 \text{ mm}^2 / \text{kN}$$

$K < K_l$ olduğundan çift donatılı

$$M_1 = \frac{b_w * d^2}{K_l} = \frac{300 * 450^2}{380} = 159.55 \text{ kN.m}$$

$$M_2 = M_{\max} - M_1 = 176.25 - 159.55 = 16.71 \text{ kN.m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} * j * d} = \frac{159.55 * 10^6}{365 * 0.86 * 450} = 1129 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} * (d - d')} = \frac{16.71 * 10^6}{365 * (450 - 50)} = 114 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1244 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{7\phi 16 (1407 \text{ mm}^2)}$$

$$A_s' = A_{s2} = 114 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{2\phi 12 (226 \text{ mm}^2)}$$

$b_w=250$ mm olsaydı

$$M_1 = \frac{b_w * d^2}{K_1} = \frac{250 * 450^2}{380} = 132.96 \text{ kN.m}$$

$$M_2 = M_{\max} - M_1 = 176.25 - 132.96 = 43.29 \text{ kN.m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} * j * d} = \frac{132.96 * 10^6}{365 * 0.86 * 450} = 941 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} * (d - d')} = \frac{43.29 * 10^6}{365 * (450 - 50)} = 297 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1238 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = A_{s2} = 297 \text{ mm}^2$$



