

ÇÖZÜMLÜ ÖRNEKLERLE BETONARME PROBLEMLERİ

PROF. DR. CENGİZ DÜNDAR ARŞ. GÖR. SERKAN TOKGÖZ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ADANA, 2006

İÇİNDEKİLER

1	TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİ	1
1.1	Çözümde yapılan varsayımlar	1
2	EKSENEL KUVVET ALTINDAKİ ELEMANLAR	2
2.1	Etriyeli Kolonlar	2
2.1.1	Boyuna Donatı İle İlgili Koşullar	2
2.1.2	Enine Donatı İle İlgili Koşullar	2
2.2	Fretli Kolonların Taşıma Gücü	3
2.2.1	Birinci Tepe Noktasına Göre Taşıma Gücü Hesabı	4
2.2.2	İkinci Tepe Noktasına Göre Taşıma Gücü Hesabı	4
2.3	Örnekler	5
2.4	Çalışma Soruları	9
3	BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLAR	11
3.1	Kesit Taşıma Gücünün Hesabı (Kesit Kontrolü)	11
3.1.1	Tek Donatılı, Dikdörtgen Kesitli, Dengeli Kirişlerin Taşıma Gücü	11
3.1.2	Tek Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Taşıma Gücü	12
3.1.3	Örnekler	12
3.1.4	Çalışma Soruları	15
3.1.5	Çift Donatılı Dikdörtgen Kesitler	16
3.1.6	Örnekler	18
3.1.7	Çalışma Soruları	24
3.1.8	Tablalı Kesitler	25
3.1.9	Örnekler	26
3.1.10	Çalışma	30
3.1.11	Değişik Geometriye Sahip Kirişler	31
3.1.12	Örnekler	31
3.1.13	Çalışma Soruları	39
3.2	Betonarme Kirişlerin Tasarımı	41
3.2.1	Tek Donatılı Dikdörtgen Kesitler	41
3.2.2	Çift Donatılı Dikdörtgen Kirişler	41
3.2.3	Tablalı Kesitler	43
3.2.4	Mesnette Moment Azaltma	43
3.2.5	Kirişler İçin Minimum Koşullar	43
3.2.6	Örnekler	45
3.2.7	Çalışma Soruları	54
4	EKSENEL BASINÇ VE EĞİLME ALTINDAKİ ELEMANLAR	56
4.1	Tek Eksenli Eğilme ve Eksenel Basınç Altındaki Elemanların Taşıma Gücü	56
4.1.1	İki Yüzü Donatılı Dikdörtgen Kesitler	56
4.1.1.1	Dengeli Durum	56
4.1.1.2	Çekme Kırılması	56
4.1.1.3	Basınç Kırılması	58
4.1.2	Örnekler	59

4.1.3	Çalışma Soruları	68
4.2	İki Eksenli Eğilme ve Eksenel Basınç Altındaki Elemanların Taşıma Gücü	69
4.2.1	Bresler Yöntemi	69
4.2.2	İngiliz Betonarme Yönetmeliği (CP110)	69
4.2.3	Örnekler	70
4.2.4	Çalışma Soruları	73
4.3	Kolonlarda Narinlik Etkisi	73
4.3.1	Genel Yöntem	74
4.3.2	Yaklaşık Yöntem (Moment Büyütme Yöntemi)	74
4.3.3	Örnekler	78
4.3.4	Çalışma Soruları	93
5	KESME KUVVETİ ETKİSİNDEKİ ELEMANLAR	95
5.1	Kesme Kuvveti Etkisi	95
5.1.1	Kesme Kuvveti Hesabı	95
5.1.2	Eğik Çatlama Dayanımı	95
5.1.3	Kesme Dayanımı	96
5.1.4	Gevrek Kırılmanın Önlenmesi	96
5.1.5	Kesme Kuvveti Üst Sınırı	97
5.1.6	Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Kirişlerin Kesme Güvenliği	97
5.1.7	Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerinde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri	98
5.1.8	Kolon – Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliği	98
5.1.9	Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Minimum Enine Donatı Koşulları	99
5.2	Zımbalama Etkisi	99
5.2.1	Zımbalama Dayanımı	99
5.3	Kısa Konsollar	102
5.3.1	Kayma Sürtünme Dayanımı	103
5.3.2	TS 500 de Kısa Konsol Hesabı	103
5.4	Örnekler	104
5.5	Çalışma Soruları	119
6	BURULMA ETKİSİNDEKİ ELEMANLAR	123
6.1	Eğik Çatlama Sınırı	123
6.2	Tasarım Kuvvetlerinin Belirlenmesi	124
6.3	Dayanım	124
6.4	Gevrek Kırılmanın	125
6.5	Donatı Detayları	125
6.6	Örnekler	126
6.7	Çalışma Soruları	133
7	TEMELLER	135
7.1	Tekil Temeller	135
7.1.1	Tasarım İlkeleri	135
7.1.2	Zımbalama Kontrolü	136

7.1.3 Örnekler	138
7.2 Birleşik Temeller	143
7.2.1 Örnekler	143
7.3 Sürekli Temeller	151
7.3.1 Örnekler	151
7.4 Çalışma	155
KAYNAKLAR	156

1 TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİ

Yapılarda analiz ve tasarımın temel amacı, yapının kullanım süresi boyunca yapı güvenliğine ve kullanım amacına uygun davranmasını sağlamaktır. Dolayısıyla yapı taşıyıcı sistemi ve bu sistemi oluşturan elemanlar, yapım ve kullanım süresi içinde yapıyı etkileyebilecek tüm yük ve şekil değiştirmeler altında öngörülen yapı güvenliğini sağlayacak ve kullanımı bozmayacak biçimde tasarlanmalıdır. Betonarme kesit hesaplarında taşıma gücü yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde çözüm için gerekli denge ve uygunluk denklemleri beton ve çelik malzemelerin gerçek davranışları temel alınarak yazılmaktadır.

1.1 Çözümde Yapılan Varsayımlar

(i) Şekil değişiminden önce eleman eksenine dik olan düzlem kesitler, şekil değişiminden sonra çubuk eksenine dik ve düzlem kalır.

(ii) Betonun çekme dayanımına katkısı ihmal edilir.

(iii) Beton ve donatı arasında tam aderans vardır. Yani donatı çubuğundaki birim boy değişimi, çubuğu saran beton liflerindeki birim boy değişimi ile özdeştir.

(iv) Taşıma gücüne erişildiğinde, beton basınç bölgesinin en çok zorlanan lifindeki beton birim kısalması (ϵ_{cu}) 0.003 tür (TS500).

(v) Donatı çeliğinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi elasto-plastiktir ($\sigma_{si} = \epsilon_{si} E_s \leq f_y$). Tüm donatı çelikleri için elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa ve kopma birim uzaması $\epsilon_{su} = 0.1$ alınır.

Taşıma gücüne erişildiği anda beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için, geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış herhangi bir dağılım kullanılabilir (Şekil 1.1). Ancak, hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla, gerçek basınç gerilmesi dağılımı yerine, aşağıdaki özellikleri taşıyan eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu kullanılabilir. Blok genişliği olarak, eşdeğer basınç şiddeti olan $0.85f_{cd}$ alınır. Blok derinliği, tarafsız eksen derinliğinin, k_1 ile çarpılmasıyla bulunur, $a = k_1 c$. Bu ifadede kullanılacak olan k_1 değerleri, çeşitli beton sınıfları için aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 1.1 Beton sınıflarına göre k_1 değerleri

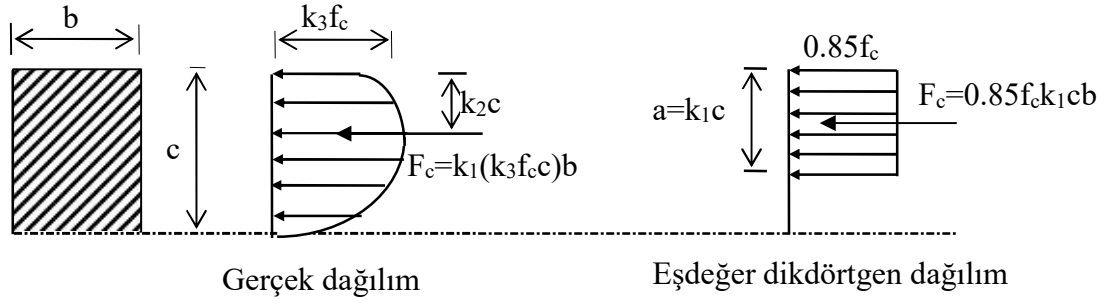
Beton Sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70

Basınç bölgesindeki gerilme dağılımı kesite ait kuvvet ve moment denge denklemlerinde yer almaktadır. Bu denklemler için önemli olan, basınç gerilmesi dağılımının geometrisi değil bu dağılımın altındaki alan ve alanın ağırlık merkezidir. Bu nedenle TS500 de beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için, geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış herhangi bir dağılım kullanılabilir.

k_1 : Ortalama basınç gerilmesi ve max. gerilme arasındaki oran.

k_2 : Beton basınç bileşkesi derinliğinin tarafsız eksen derinliğine oranı.

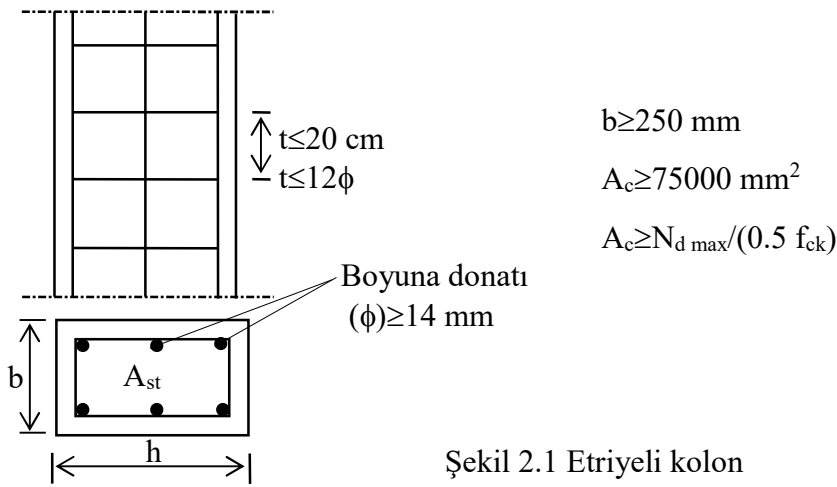
k_3 : Max. beton basınç gerilmesi ile betonun silindir mukavemeti arasındaki oran.



Şekil 1.1 Gerilme dağılımı

2 EKSENEL KUVVET ALTINDAKİ ELEMANLAR

2.1 Etriyeli Kolonlar



Şekil 2.1 Etriyeli kolon

2.1.1 Boyuna Donatı İle İlgili Koşullar

Kolonlarda boyuna donatı, kesit brüt alanının %1'inden az, %4'ünden fazla olmamalıdır.

$$0.01 \leq \rho_t \leq 0.04, \quad \rho_t = A_{st}/A_c \quad (2.1)$$

Didörtgen kesitli kolonlarda en az 4φ16 veya 6φ14, dairesel kesitli kolonlarda en az 6φ14 boyuna donatı kullanılmalıdır.

2.1.2 Enine Donatı İle İlgili Koşullar

Etriyenin çapı boyuna donatı çapının 1/3 ünden az olmamalıdır. Enine donatı aralıkları 20 cm'den büyük ve boyuna donatı çapının 12 katından büyük olmamalıdır.

Etriyenin başlıca dört görevi vardır;

- 1- Etriyeler kolon göbeğinde bulunan beton kütleini sararak bir çemberleme etkisi uyguladığından, betonun mukavemetini ve sünekliliğini artırır.
- 2- Burkulma boyunu azaltarak erken burkulmayı önlerler.
- 3- Kolon eksenine paralel yönde oluşabilecek çatlakların genişlemesini önler.
- 4- Boyuna çubukları birbirine bağlayarak kalıp içinde dik ve düzgün durmalarını

sağlar

Etriyelerin taşıma gücüne katkısı olmadığı kabul edilirse, kolonun salt eksenel yük taşıma kapasitesi N_{or} , (2.2) ifadesinden hesaplanır.

$$N_{or} = 0.85 f_{ck} A_{cn} + f_{yk} A_{st} \quad (A_{cn} = A_c - A_{st} \cong A_c)$$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \quad N_{or} = 0.85 f_{ck} A_c + \rho_t A_{st} f_{yk} \quad (2.2)$$

Kolonun kesit alanı, A_c aşağıdaki ifadeden elde edilebilir.

$$A_c = \frac{N_{or}}{0.85 f_{ck} + \rho_t f_{yk}} \quad (2.3)$$

2.2 Fretli Kolonların Taşıma Gücü

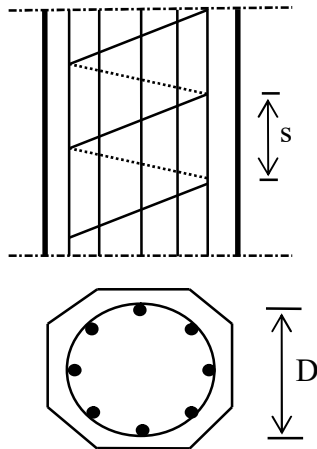
Dairesel kesitli göbek betonu helezon şeklinde enine donatı ile kuşatılan kolonlara fretli kolon denir. Fretli kolonlarda boyuna donatı en az $6\phi 14$, max boyuna donatı ise beton brüt kesit alanının %6 sını geçmemelidir. A_0 , fret kesit alanını göstermek üzere, fret donatısına eşdeğer boyuna donatı alanı A_{sp} fretin bir halkasının hacmi, boyu s ile sınırlanan eşdeğer boyuna donatı hacmine eşitlenerek bulunabilir.

$$\pi D A_0 = A_{sp} (s) ; \quad A_{sp} = \frac{\pi D A_0}{s} \quad (2.4)$$

Fret donatı yüzdesi, (2.5) ifadesi ile belirlenir.

$$\rho_s = \frac{A_{sp}}{A_{ck}} = \frac{\pi D A_0 / s}{\pi D^2 / 4} = \frac{4 A_0}{D s} \quad (2.5)$$

Fret mukavemeti: $1.7 A_{sp} f_{ywk}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Burada f_{ywk} ; Fret donatısı karakteristik akma dayanımıdır.



Şekil 2.2 Fretli kolon

Teşeme öüü ilki cektirde hesaplanııı

Ereğin kısıtlı olmadığından tasarılabilecek yüksek

222

İkinci tere nehrinde beton parçalarıyla dolu,

Bu denklem iki tepe noktasının eşit düzeyde olduğu varsayımından bağımsızdır.

İki tepe noktasında oluşan yükün yaklaşık olarak aynı olmasını sağlayacak fret donatısı, fret mukavemetini beton kabuk mukavemetine eşitlemekle elde edilir.

$$0.85 f_{ck} (A_c - A_{ck}) = 1.7 f_{yw} A_{sp} \quad (2.11)$$

$$A_{sp} = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{yw}} (A_c - A_{ck}) \quad (2.12)$$

$$\frac{A_{sp}}{A_{ck}} = \rho_s = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{yw}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \quad (2.13)$$

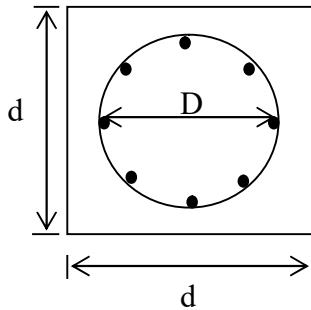
$$\rho_s = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{yw}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \quad (2.14)$$

TS500 de fret yüzdesi:

$$\rho_s = 0.45 \frac{f_{ck}}{f_{yw}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \text{ den az ve } \mathbf{0.02} \text{ den fazla olmamalıdır.}$$

2.3 Örnekler

Örnek 1



- Şekil 2.4'te verilen fretli kolon için ideal fret alanını veren denklemi çıkarınız.
- Boyuna donatı $8\phi 16$, $D=450$ mm, $d=500$ mm, fret $\phi 8/50$ mm ve malzeme C20, S220 olduğuna göre fretli kolon kesitinin taşıma gücünü 1. ve 2. tepe noktasına göre hesaplayınız. Fret donatısını (a) şıkkında bulduğunuz denklem ile hesaplanan ideal fret donatısı ile karşılaştırınız.

Şekil 2.4

Çözüm:

a)

Beton kesit alanı: $A_c = d^2$

Göbek betonu alanı: $A_{ck} = \frac{\pi D^2}{4}$

Kabuk mukavemeti: $0.85 f_{ck} (A_c - A_{ck}) = 0.85 f_{ck} (d^2 - \frac{\pi D^2}{4})$

Fret mukavemeti: $1.7 (A_{sp}) f_{yw}$

$$A_{sp} = \frac{0.85 f_{ck} (d^2 - \frac{\pi D^2}{4})}{1.7 f_{ywk}}$$

$$A_{sp} = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} (d^2 - \frac{\pi D^2}{4})$$

$$\rho_s = \frac{A_{sp}}{A_{ck}} = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \frac{(d^2 - \frac{\pi D^2}{4})}{\frac{\pi D^2}{4}} = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} (\frac{d^2}{\frac{\pi D^2}{4}} - 1)$$

b)

Birinci tepe noktasına göre taşıma gücü:

$$A_{st} = 8\phi 16 = 8 \frac{\pi \times 16^2}{4} = 1608.5 \text{ mm}^2, \quad A_c = (500)^2 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$N_{o1} = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd} = (0.85 \times 13 \times 250000 + 1608.5 \times 191) \times 10^{-3}$$

$$N_{o1} = 3069.7 \text{ kN}$$

İkinci tepe noktasına göre taşıma gücü:

$$A_{sp} = \frac{\pi D A_o}{s} = \frac{\pi \times 450 \times 50}{50} = 1421 \text{ mm}^2$$

$$A_{ck} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 450^2}{4} = 159043 \text{ mm}^2$$

$$N_{o2} = 0.85 f_{cd} A_{ck} + A_{st} f_{yd} + 1.7 A_{sp} f_{ywd}$$

$$N_{o2} = (0.85 \times 13 \times 159043 + 1608.5 \times 191 + 1.7 \times 1421.5 \times 191) \times 10^{-3} = 2526.05 \text{ kN}$$

İdeal fret donatısı:

$$A_c - A_{ck} = d^2 - \frac{\pi D^2}{4} = 500^2 - \frac{\pi \times 450^2}{4} = 90956.87 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp} = 0.50 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} (d^2 - \frac{\pi D^2}{4})$$

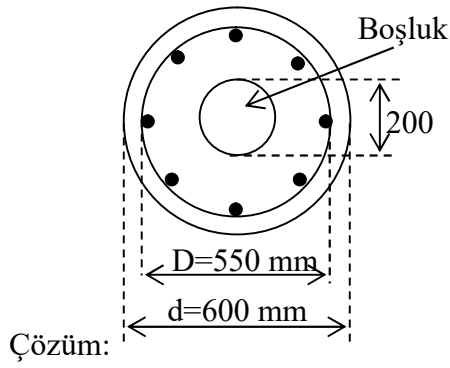
$$A_{sp} = 0.50 \times \frac{20}{220} \times 90956.87 = 4134.4 \text{ mm}^2$$

$$\rho_s = \frac{4134.4}{159043} = 0.02599 \text{ olarak bulunur.}$$

$$\min \rho_s = 0.5 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \left\{ \frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right\} = 0.5 \times \frac{20}{220} \times \left\{ \frac{500^2 \times 4}{\pi \times 450^2} - 1 \right\} = 0.026$$

$$\rho_s = \frac{A_{sp}}{A_{ck}} = \frac{1421}{159043} = 0.00893 < 0.026 \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

Örnek 2



Fret donatısı $\phi 10/8$ cm, boyuna donatı $8\phi 24$ ve malzeme C20, S420 olduğuna göre fretli kolonun;

1. ve 2. tepe noktasına göre salt aksenal yük taşıma kapasitelerini (N_o) bulunuz.
- İdeal fret donatı yüzdesini bularak fret donatısı çap ve aralığını belirleyiniz.

Şekil 2.5

Beton kesit alanı: $A_c = \frac{\pi}{4} \times (600^2 - 200^2) = 251327.4 \text{ mm}^2$

Göbek betonu alanı: $A_{ck} = \frac{\pi}{4} \times (550^2 - 200^2) = 206167 \text{ mm}^2$

Toplam donatı alanı: $A_{st} = 8 \times \pi \times 24^2 / 4 = 3619 \text{ mm}^2$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} = \frac{3619}{251327.4} = 0.0144 > 0.01$$

a)

Birinci tepe noktasına göre taşıma gücü:

$$N_{o1} = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd} = (0.85 \times 13 \times 251327.4 + 3619 \times 365) \times 10^{-3}$$

$$N_{o1} = 4098.1 \text{ kN}$$

İkinci tepe noktasına göre taşıma gücü:

$$A_{sp} = \frac{\pi D A_o}{s} = \frac{\pi \times 550 \times 78.5}{80} = 1695.5 \text{ mm}^2$$

$$\rho_s = \frac{4 A_o}{D(s)} = \frac{4 \times 78.5}{550 \times 80} = 0.0071$$

$$\min \rho_s = 0.5 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \left\{ \frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right\} = 0.5 \times \frac{20}{420} \times \left\{ \frac{251327.4}{206167} - 1 \right\} = 0.0052 < \rho_s$$

$$N_{o2} = 0.85 f_{cd} A_{ck} + A_{st} f_{yd} + 1.7 A_{sp} f_{ywd}$$

$$N_{o2} = (0.85 \times 13 \times 206167 + 3619 \times 365 + 1.7 \times 1695.5 \times 365) \times 10^{-3} = 4651.1 \text{ kN}$$

b)

İdeal fret, fret mukavemetinin beton kabuk mukavemetine eşitlenmesi ile elde edilir.

$$1.7 A_{sp} f_{ywd} = 0.85 f_{cd} (A_c - A_{ck})$$

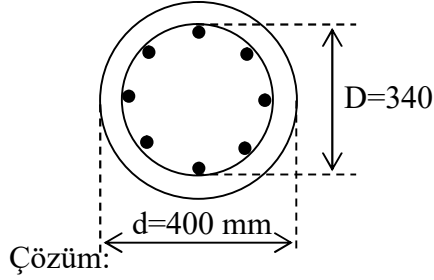
$$1.7 \times A_{sp} \times 365 = 0.85 \times 13 \times (251327.4 - 206167)$$

$$A_{sp} = 804.22 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

$$A_{sp} = \frac{\pi D A_o}{s}, \quad \phi 10 \text{ için } A_o = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\pi D A_o}{A_{sp}} = \frac{\pi \times 550 \times 78.5}{804.22} = 168 \text{ mm bulunur. } \phi 10/17 \text{ cm ideal fret donatısı elde edilir.}$$

Örnek 3



- a) Birinci tepe noktası göre $N_{o1}=2940$ kN olduğuna göre fretli kolonun boyuna donatı alanını (A_{st}) bulunuz.
- b) $A_{st}=8\phi 26$ ve İkinci tepe noktasına göre $N_{o2}=2940$ kN temel olarak fret donatısını (A_{sp}) belirleyiniz ve ideal fret donatısı ile karşılaştırınız.
- Malzeme C20, S420, fret donatısı S220.

Şekil 2.6

$$\text{Beton alanı: } A_c = \frac{\pi \times 400^2}{4} = 125663.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Göbek betonu alanı: } A_{ck} = \frac{\pi \times 340^2}{4} = 90792 \text{ mm}^2$$

a)

$$N_{o1} = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd}$$

$$2940 \times 10^3 = 0.85 \times 13 \times 125663.7 + A_{st} \times 365$$

$$A_{st} = 4250 \text{ mm}^2$$

b)

$$A_{st} = 8\phi 26 = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 26^2 = 4247.4 \text{ mm}^2$$

$$N_{o2} = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd} + 1.7 A_{sp} f_{ywd}$$

$$2940 \times 10^3 = 0.85 \times 13 \times 90792 + 4247.4 \times 365 + 1.7 \times A_{sp} \times 191$$

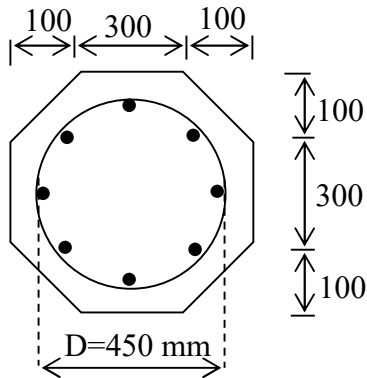
$$A_{sp} = 1190 \text{ mm}^2, \rho_s = \frac{A_{sp}}{A_{ck}} = \frac{1190}{90792} = 0.0131 < \min \rho_s$$

$$\min \rho_s = 0.5 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) = 0.5 \times \frac{20}{220} \times \left(\frac{125663.7}{90792} - 1 \right) = 0.0157$$

$$A_{sp} = 0.0157 \times 90792 = 1425 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp} = \frac{\pi D A_0}{s}, \phi 10 \text{ için } s = \frac{\pi \times 340 \times 78.5}{1425}, s = 58.8 \text{ mm, Fret } \phi 10/6 \text{ cm.}$$

Örnek 4



Şekil 2.7'de verilen fretli kolonun fret donatısı $\phi 10/6$ cm olduğuna göre;

- a) İkinci tepe noktasındaki eksenel kuvvet taşıma gücünü (N_{o2}), birinci tepe noktası eksenel kuvvet taşıma gücüne göre (N_{o1}) %10 daha büyük yapacak boyuna donatıyı (A_{st}) hesaplayınız.
- b) İdeal fret donatısını belirleyiniz.
- Malzeme C20, S420.

Şekil 2.7

Çözüm:

a)

$$\text{Toplam kesit alanı: } A_c = 500^2 - 4 \times \frac{1}{2} \times 100 \times 100 = 230000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Göbek beton alanı: } A_{ck} = \pi \times \frac{450^2}{4} = 159043.1 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp} = \frac{\pi D A_o}{s} = \frac{\pi \times 450 \times 78.54}{60} = 1850.55 \text{ mm}^2$$

$$N_{o1} = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd}$$

$$N_{o2} = 0.85 f_{cd} A_{ck} + A_{st} f_{yd} + 1.7 A_{sp} f_{ywd}$$

$$\text{Problemde; } 1.1 N_{o1} = N_{o2}$$

$$1.1 \times (0.85 \times 13 \times 230000 + A_{st} f_{yd}) = 0.85 \times 13 \times 159043.1 + A_{st} f_{yd} + 1.7 \times 1850.55 \times 365$$

Denklemin düzenlenmesinden;

$$0.1 A_{st} f_{yd} = 11042.5 \quad \text{ifadesi elde edilmektedir. Buradan;}$$

$$A_{st} = 3014.86 \text{ mm}^2 \text{ olarak hesaplanır. Seçilen donatı } 8\phi 22 = 3041 \text{ mm}^2$$

b)

İdeal fret:

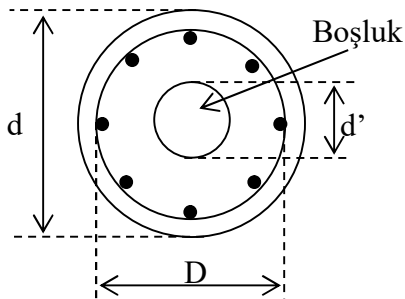
$$0.85 f_{cd} (A_c - A_{ck}) = 1.7 A_{sp} f_{ywd}$$

$$0.85 \times 13 \times (230000 - 159043.1) = 1.7 \times A_{sp} \times 365$$

$$A_{sp} = 1263.6 \text{ mm}^2 \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

2.4 Çalışma Soruları

Soru 1

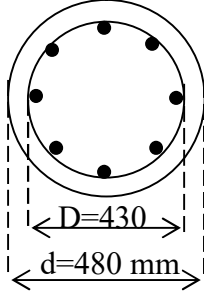


Şekil 2.8'de verilen fretli kolonun;

- İdeal fret donatı yüzdesini d , D , d' , f_{cd} , f_{ywd} cinsinden ifade ediniz.
- Boyuna donatı, $8\phi 20$ ve spiral donatı $\phi 8/40$ mm ve malzeme C20, S220 olduğuna göre fretli kolonun taşıma gücünü birinci ve ikinci tepe noktasına göre bulunuz. Fret donatı yüzdesini (a) şikkında bulunan ideal fret donatı yüzdesi ile karşılaştırınız. $D=450$ mm, $d=500$ mm ve $d'=200$ mm.

Şekil 2.8

Soru 2

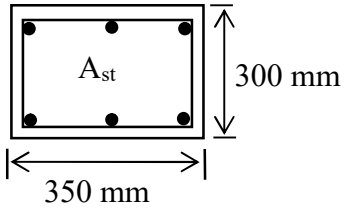


Şekil 2.9’da verilen fretli kolonda, fret $\phi 14/8$, boyuna donatı $8\phi 20$ ve malzeme C25, S420, fret S220 olduğuna göre;

- Fretli kolonun 1. ve 2. tepe noktasına göre salt aksenal kuvvet taşıma gücünü (N_o) bulunuz.
- İdeal fret donatısını belirleyiniz.

Şekil 2.9

Soru 3



Şekil 2.10’da verilen kolonun toplam donatı alanı, $A_{st}=6\phi 16$ olduğuna göre kolonun aksenal yük taşıma kapasitesini bulunuz. Malzeme C20, S420.

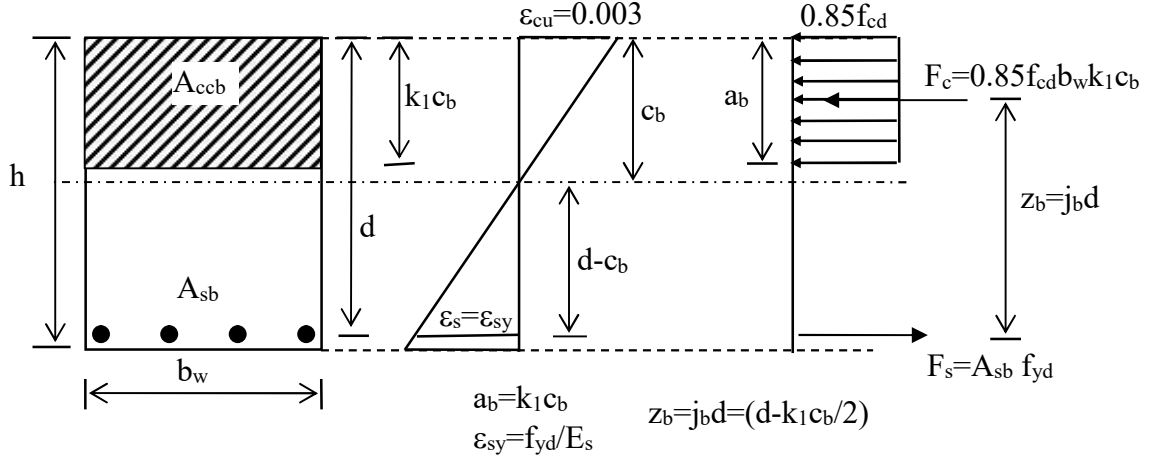
Şekil 2.10

3 BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

3.1 Kesit Taşıma Gücünün Hesabı (Kesit Tahkiki)

Kirişlerde kırılma türü donatı oranına bağlı olduğundan, dengeli kırılmayı sağlayan donatı oranı " dengeli donatı oranı " olarak adlandırılır ve ρ_b ile gösterilir. Donatısı dengeli den fazla olana ($\rho > \rho_b$) denge üstü, az olana ise ($\rho < \rho_b$) denge altı denir.

3.1.1 Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli, Dengeli Kirişlerin Taşıma Gücü



Şekil 3.1 Dikdörtgen kesitli, dengeli kiriş

Denge:

$$\Sigma F = 0 \quad F_c - F_s = 0$$

$$0.85 f_{cd} b_w k_1 c_b - A_{sb} f_{yd} = 0 \quad (3.1)$$

$$\Sigma M = 0 \quad F_s (j_b d) = F_c \left(d - \frac{k_1 c_b}{2} \right) = M_b$$

$$M_b = A_{sb} f_{yd} (j_b d) = A_{sb} f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c_b}{2} \right) \quad (3.2)$$

Uygunluk:

Benzer üçgenlerden;

$$\frac{\epsilon_{sy}}{d - c_b} = \frac{0.003}{c_b} \quad \text{veya} \quad \frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_{sy}} \quad (3.3a)$$

Donatı için kuvvet deformasyon ilişkisi:

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad \text{yazılır ve uygunluk denklemi gerilme cinsinden ifade edilebilir.}$$

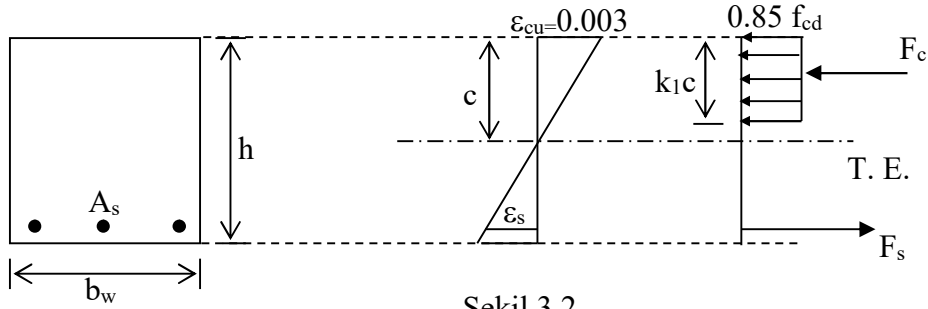
$$\frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{0.003E_s + f_{yd}} E_s \quad (3.3b)$$

Boyutları ve malzeme özellikleri bilinen dikdörtgen kesitli bir kiriş için dengeli durumu belirleyen en önemli index, dengeli donatı yüzdesidir ($\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d}$). Ayrıca dengeli durum için moment kolu katsayısının belirlenmesinde de yarar vardır.

Betonarme kirişlerin hesabında, fiziksel bir anlamı olmayan ve $\frac{b_w d^2}{M}$ olarak tanımlanan K değerine de ihtiyaç vardır.

3.1.2 Basit Donatılı, Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Taşıma Gücü

Yönetmeliklerde sadece denge altı kirişlere izin verilir. Denge altı kirişte en dış lifteki beton birim kısalması ezilme sınırına erişmeden önce çekme donatısı akacağından ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ için $\epsilon_s > \epsilon_{sy}$), kırılma anı temel alınarak yapılan taşıma gücü hesabında $\sigma_s = f_{yd}$ alınır (Şekil 3.2) ve denge denklemleri yardımı taşıma gücü elde edilir.



Şekil 3.2

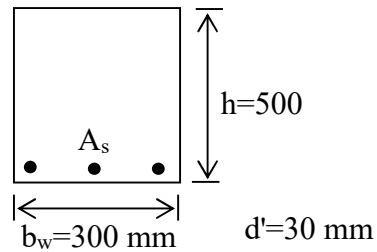
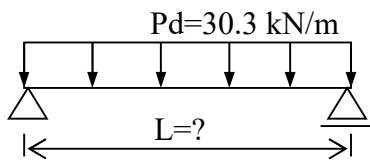
$$F_c = F_s$$

$$0.85 f_{cb} b_w k_1 c = A_s f_{yd}$$

$$M_r = F_s (j) d = A_s f_{yd} (j) d, \quad (j=0.86) \quad (3.4)$$

3.1.3 Örnekler

Örnek 1



Şekil 3.3

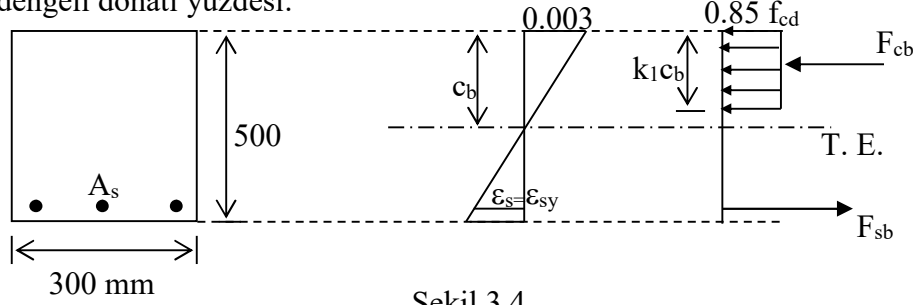
Şekil 3.3'te verilen kirişin;

a) Dengeli donatı yüzdesini (ρ_b)

- b) Donatı alanı $A_s=1862 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kesitin taşıma gücü momentini bularak geçebileceği maksimum açıklığı (L) bulunuz. Malzeme C16, S420.

Çözüm:

a) Kesitin dengeli donatı yüzdesi:



Şekil 3.4

Uygunluk denkleminde;

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

$$\frac{c_b}{470 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 291.9 \text{ mm bulunmaktadır.}$$

Kuvvet denge denklemi yazılarak;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c_b b_w = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 11 \times 0.85 \times 291.9 \times 300 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 1906.7 \text{ mm}^2 \quad \text{elde edilir.}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} = \frac{1906.7}{300 \times 470} \quad \rho_b = 0.0135 \quad \text{olarak bulunur.}$$

b)

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1862}{300 \times 415} = 0.0132 < \rho_b \quad \text{kiriş denge altıdır.} \quad (\epsilon_s > \epsilon_{sy}, \quad \sigma_s = f_{yd})$$

İç kuvvetlerin dengesinden (Şekil 3.2);

$$F_c = F_s$$

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

$$0.85 \times 11 \times 0.85 \times c \times 300 = 1862 \times 365 \quad \text{denklem düzenlenerek} \quad c = 285 \text{ mm} \quad \text{elde edilir.}$$

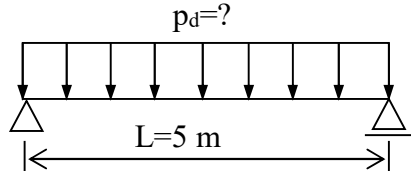
$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) = 1862 \times 365 \times \left(470 - \frac{0.85 \times 285}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 237.1 \text{ kNm} \quad \text{olarak taşıma gücü momenti elde edilir.}$$

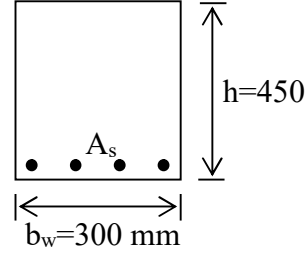
Kiririşin geçebileceği maksimum açıklığı bulabilmek için kiriş taşıma gücü momenti kiriş momentine eşitlenmelidir. Bu durumda;

$$M_r = \frac{P_d L^2}{8} \quad \text{buradan} \quad L^2 = \frac{8 \times M_r}{P_d} = \frac{8 \times 237.1}{30.3} \quad \text{ve} \quad L = 7.91 \text{ m} \quad \text{olarak bulunmaktadır.}$$

Örnek 2



Şekil 3.5



Şekil 3.4'te verilen kirişin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb}) bulunuz.
- $A_s=1650 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kirişin taşıyabileceği tasarım yükünü (p_d) bulunuz. Malzeme C20, S420, paspayı=35 mm.

Çözüm:

a)

Dengeli durumda (Şekil 3.4) uygunluk denkleminden;

$$\frac{c_b}{d} = \frac{600}{600 + f_{yd}} = 0.621, \quad c_b = 0.621 \times 415 = 258.03 \text{ mm} \text{ olarak bulunur.}$$

Kuvvet denge denklemi yazılarak;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c_b b_w = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 0.85 \times 258.4 \times 300 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 1991.9 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} = \frac{1991.9}{300 \times 415} \quad \rho_b = 0.016 \text{ bulunur.}$$

b)

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1650}{300 \times 415} = 0.0132 < \rho_b \text{ kiriş denge altıdır..}$$

İç kuvvetlerin dengesinden (Şekil 3.2);

$$F_c = F_s$$

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

$$0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times 300 = 1650 \times 365$$

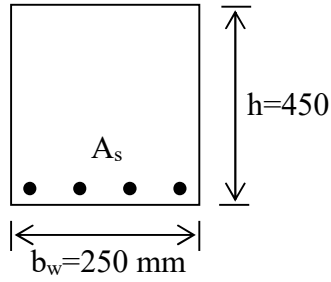
$$c = 213.73 \text{ bulunur. Taşıma gücü momenti;}$$

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) = 1650 \times 365 \times \left(415 - \frac{0.85 \times 213.73}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 195.23 \text{ kNm} \quad \text{elde edilir.}$$

$$M_d \leq M_r \quad P_d \times L^2 / 8 \leq 195.23, \quad P_d \leq 62.47 \text{ kN/m} \text{ bulunur.}$$

Örnek 3

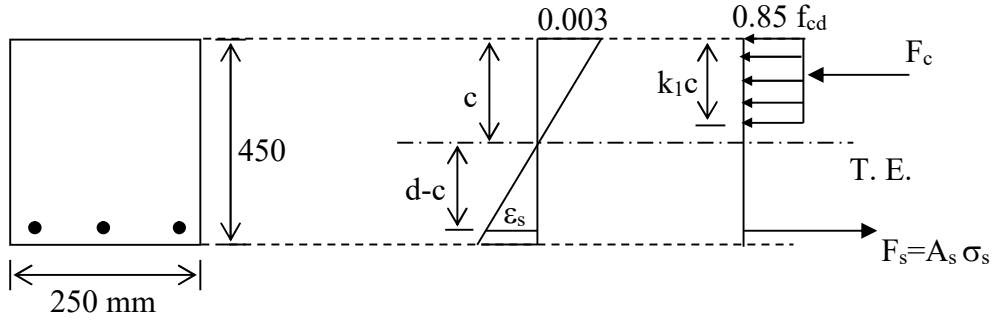


Şekil 3.6'da verilen basit mesnetli kirişte donatı alanı, $A_s = 1700 \text{ mm}^2$ olduğuna göre taşıma gücü momentini bulunuz. Malzeme C16, S420, paspayı=35 mm ve $\rho_b = 0.0135$.

Şekil 3.6

Çözüm:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1700}{250 \times 415} = 0.0164 > \rho_b \text{ olduğundan kiriş denge üstüdür } (\epsilon_s < \epsilon_{sy}, \sigma_s \neq f_{yd})$$



Şekil 3.7

Donatı gerilmesi (σ_s) uygunluk denklemi yardımı ile hesaplanır.

$$\frac{c}{d-c} = \frac{0.003}{\epsilon_s} \text{ buradan } \epsilon_s = 0.003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right)$$

$$\sigma_s = E_s \times \epsilon_s \quad (E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2) \quad , \quad \sigma_s = 600 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \text{ olur.}$$

İç kuvvetlerin dengesinden;

$$F_c = F_s$$

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

$$0.85 \times 11 \times 0.85 \times c \times 250 = 1700 \times 600 \times \left(\frac{415 - c}{c} \right)$$

Denklem düzenlenirse;

$c^2 + 513.37 c - 213048.13 = 0$ formunu alır. Denklemin çözümünden tarafsız eksen derinliği $c = 271.46 \text{ mm}$ elde edilir. Donatı gerilmesi;

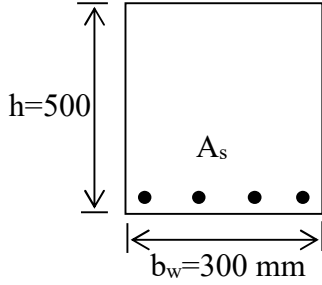
$$\sigma_s = 600 \times \left(\frac{415 - 271.46}{271.46} \right) = 317.26 \text{ N/mm}^2 \text{ olarak hesaplanır. Taşıma gücü momenti;}$$

$$M_r = A_s \sigma_s \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) = 1700 \times 317.26 \times \left(415 - \frac{0.85 \times 271.46}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 161.6 \text{ kNm olarak bulunur.}$$

3.1.4 Çalışma Soruları

Soru 1

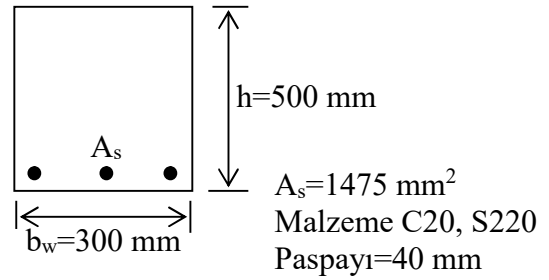
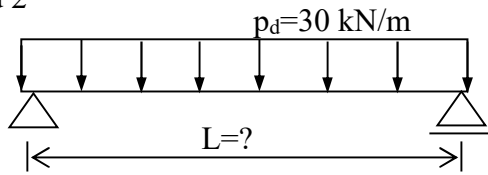


Şekil 3.8'de verilen dikdörtgen kesitin donatı alanı $A_s=1175 \text{ mm}^2$, paspayı=40 mm ve malzeme C20, S420 olduğuna göre kiriş kesitinin;

- Dengeli donatı oranını (ρ_b)
- Taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Şekil 3.8

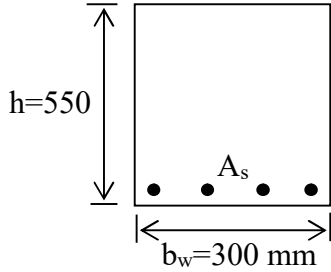
Soru 2



Şekil 3.9

Şekil 3.9'da verilen betonarme kirişin geçebileceği maksimum açıklığı (L) bulunuz.

Soru 3

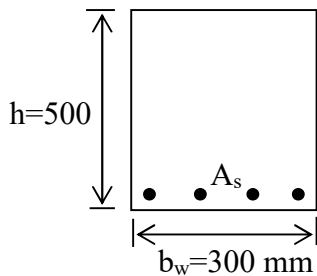


Şekil 3.10'da verilen dikdörtgen kiriş kesitinin donatı oranı $\rho=0.0092$, malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm olduğuna göre;

- Kiriş kesitinin dengeli donatı oranını (ρ_b)
- Kesit taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Şekil 3.10

Soru 4



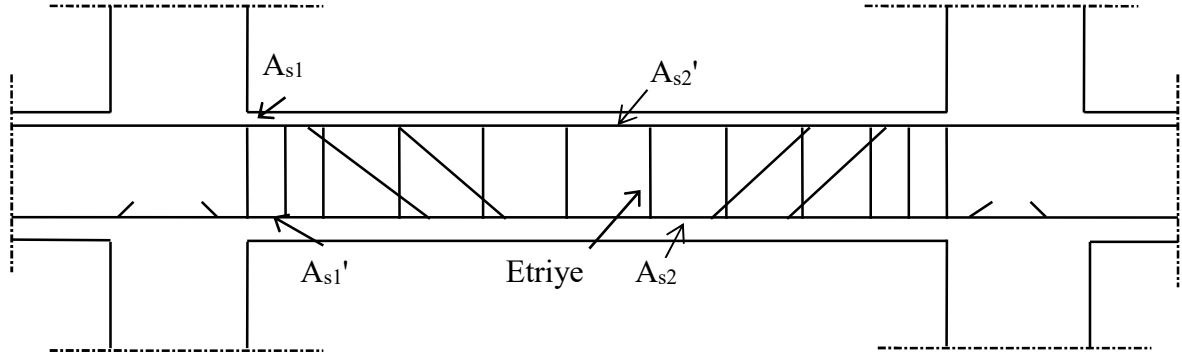
Şekil 3.11'de verilen dikdörtgen kesitin donatı alanı $A_s=1272.3 \text{ mm}^2$, paspayı=35 mm ve malzeme C20, S420 olduğuna göre kiriş kesitinin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- Taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

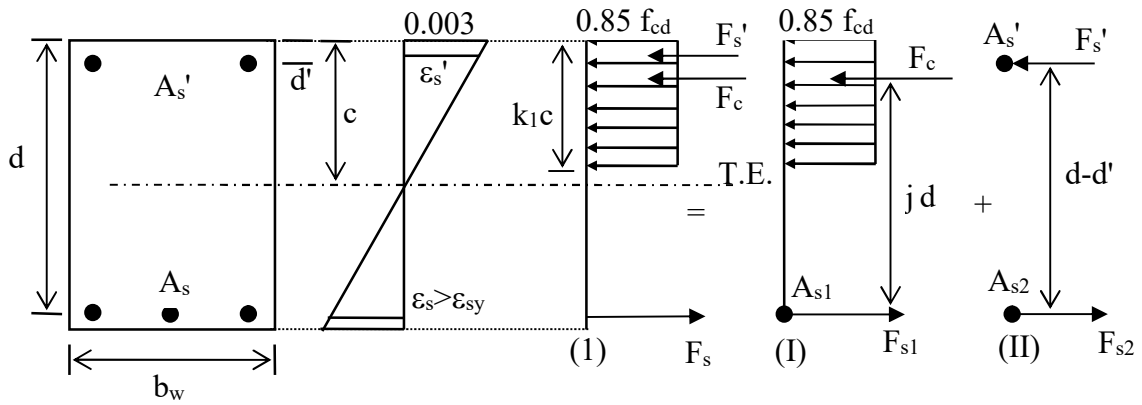
Şekil 3.11

3.1.5 Çift Donatılı Dikdörtgen Kesitler

Betonarme kirişlerin bir çoğunda konstrüktif nedenle basınç bölgesinde de donatı bulunur. A_s' ile gösterilir ($\rho' = \frac{A_s'}{b_w d}$).



Şekil 3.12 Çift donatılı kiriş
Sürekli kirişin açıklık ve mesnet basınç donatısı A_{s2}' ve A_{s1}' olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Çift donatılı kiriş kesiti ve iç kuvvetler

(1) ile gösterilen kuvvet dağılımını iki kuvvet çifti ile ifade etmek mümkündür. Birinci kuvvet çifti (I) beton bileşkesi ve ona eşit olan çekme kuvvetinden, ikinci kuvvet çifti ise basınç donatısındaki kuvvet ile çekme donatısının artan bölümündeki çekme kuvvetinden oluşur.

Şekil 3.13'te gösterilen (1) kuvvet dağılımı ile aşağıdaki temel denklemler yazılabilir.

$$\Sigma F=0 \quad 0.85 f_{cd} b_w k_1 c + A_s' \sigma_s' - A_s f_{yd} = 0 \quad (3.5)$$

Çekme donatısının bulunduğu noktaya göre moment yazılır.

$$\Sigma M=0 \quad M_r = 0.85 f_{cd} b_w k_1 c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' \sigma_s' (d - d') \quad (3.6)$$

Uygunluk şartı:

Basınç donatısı için σ_s' - ε_s' ilişkisi:

$$\varepsilon_s' = 0.003 \frac{c - d'}{c} \quad \sigma_s' = \varepsilon_s' E_s \leq f_{yd} \quad (3.7a)$$

Basınç donatısının akıp akmadığını belirleyen sınır durum en dış lifteki betonun ezilme birim kısalmasına ulaştığı anda, basınç donatısında akma birim kısalmasına ulaşması olarak tanımlanır ($\varepsilon_c = 0.003$ iken $\varepsilon_s' = \varepsilon_{sy}$). Bu durum için birim deformasyon dağılımından yararlanılır.

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.003 \frac{c - d'}{c} \quad (3.7b)$$

Denklem c/d için çözülürse;

$$\frac{c}{d} = \frac{0.003 E_s \frac{d'}{d}}{0.003 E_s - f_{yd}} \quad , \quad \text{Bulunan } c/d \text{ değeri ile } \sigma_s' = f_{yd} \text{ alınarak sınır durumu yansıtan}$$

donatı bulunur.

$$A_s - A_s' = \frac{0.85 f_{cd}}{f_{yd}} b_w k_1 \frac{0.003 E_s \frac{d'}{d}}{0.003 E_s - f_{yd}} \quad \text{olur. Denklemin her iki tarafı } b_w d^2 \text{ ye bölünür ve}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}, \quad \rho' = \frac{A_s'}{b_w d} \quad \text{alınırsa sınır durumu belirleyen donatı indeksi } \alpha_c \text{ bulunur.}$$

$$(\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \alpha_c = 0.85 k_1 \frac{0.003 E_s \frac{d'}{d}}{0.003 E_s - f_{yd}} \quad (3.8)$$

Basınç donatısının aktığı sınır durumu belirleyen donatı indeksi α_c , f_{yd} ve d'/d oranına göre değişmektedir.

Çift donatılı bir kesitin taşıma gücü hesaplanırken ;

Donatı indeksi α hesaplanır.

$\alpha > \alpha_c$ ise basınç donatısının akmış olduğu varsayılabilir.

$\sigma_s' = f_{yd}$ alınarak denge denklemleri yazılabilir.

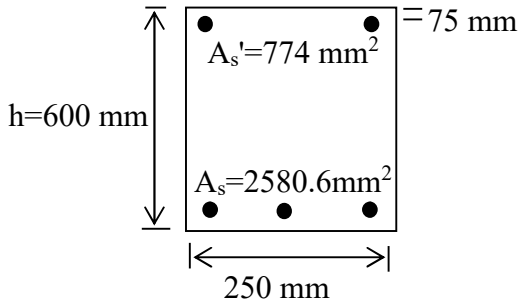
$$k_1 c = \frac{A_s - A_s'}{b_w} \frac{f_{yd}}{0.85 f_{cd}} \quad (3.9)$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} k_1 c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' f_{yd} (d - d') \quad (3.10)$$

Çift donatılı kirişlerin denge altı olup olmadığı $\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d}$ değeri ρ_b değeri ile karşılaştırılarak bulunur. Pratikte rastlanan kirişlerin büyük çoğunluğunda basınç donatısı akacağından, $A_{s1} = A_{s2}$ ve $A_{s1} = A_s - A_{s2} = A_s - A_{s1}$ olur ve denge altı, $\rho_1 = \rho - \rho'$ ($\rho - \rho'$) < ρ_b koşulu ile sağlanır.

3.1.6 Örnekler

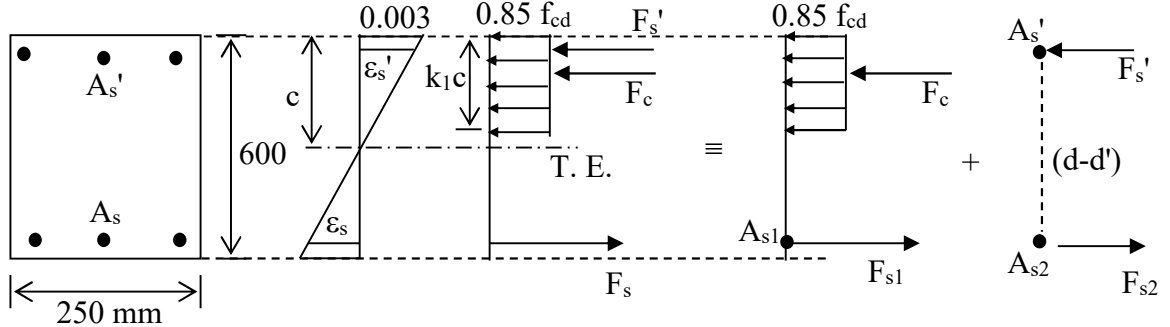
Örnek 1



Şekil 3.14'te verilen basit eğilmeye maruz çift donatılı kesitin taşıma gücü momentini hesaplayınız. Paspayı=75 mm, d=525 mm ve malzeme C20, S420.

Şekil 3.14

Çözüm:



Şekil 3.15

Tanım gereği çekme donatısı akma konumuna gelmiştir ($\epsilon_s > \epsilon_{sy}$). Basınç donatısının akıp akmadığını kontrol etmek gerekir.

Kesitin donatı oranları:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2580.6}{250 \times 525} = 0.0197$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = \frac{774}{250 \times 525} = 0.0059$$

$$\alpha = (\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = (0.0197 - 0.0059) \times \frac{365}{13} = 0.387$$

$$\alpha_c = 0.85 k_1 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{d} = 0.85 \times 0.85 \times \frac{600}{600 - 365} \times \frac{75}{525} = 0.263$$

$\alpha > \alpha_c$ Basınç donatısı akma konumuna gelmiştir. $\sigma_s' = f_{yd}$ alınacaktır.

İkinci kuvvet çifti denge denkleminde;

$$F_s' = F_{s2}$$

$$A_s' f_{yd} = A_{s2} f_{yd} \quad \text{buradan} \quad A_s' = A_{s2} = 774 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2} = 2580 - 774 = 1806.6 \text{ mm}^2 \quad \text{elde edilir.}$$

Birinci kuvvet çifti denge denkleminde tarafsız eksen derinliği elde edilir.

$$F_c = F_{s1}$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b_w = A_{s1} f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times 250 = 1806.6 \times 365 \quad \text{buradan} \quad c = 280.96 \text{ mm} \text{ elde edilir.}$$

Çekme kuvvetinin olduğu noktaya göre iç kuvvetlerin momenti alınarak kesit taşıma gücü momenti;

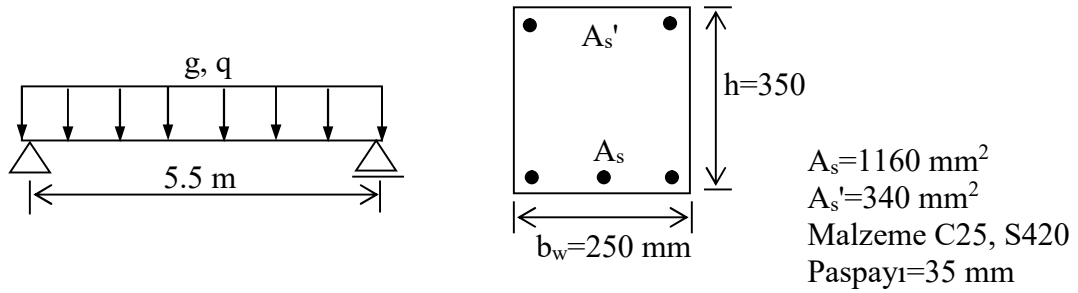
$$M_r = F_c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + F_s' (d - d')$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} k_1 c b_w \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' f_{yd} (d - d')$$

$$M_r = \left[0.85 \times 13 \times 0.85 \times 280.96 \times 250 \times \left(525 - \frac{0.85 \times 280.96}{2} \right) + 774 \times 365 \times (525 - 75) \right] \times 10^{-6}$$

$$M_r = 394.7 \text{ kNm} \quad \text{olarak bulunur.}$$

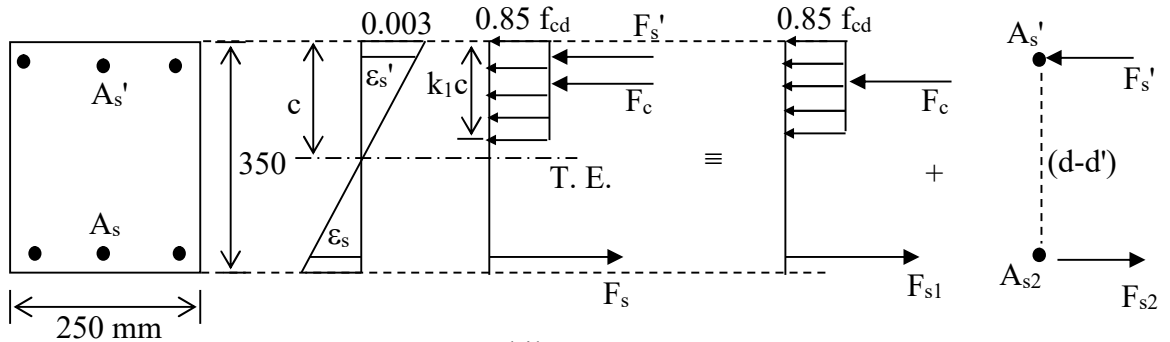
Örnek 2



Şekil 3.16

Şekil 3.16'da verilen çift donatılı kiriş üzerindeki yükleri güvenle taşıyabilir mi?
 $g = 20 \text{ kN/m}$, $q = 10 \text{ kN/m}$ ve malzeme C25, S420.

Çözüm:



Şekil 3.17

Tanım gereği çekme donatısı akma konumuna gelmiştir. Basınç donatısının akıp akmadığını kontrol etmek gerekir.

Kesitin donatı oranları:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1160}{250 \times 315} = 0.0147$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = \frac{340}{250 \times 315} = 0.004317$$

$(\rho - \rho') < \rho_b$, donatı indeksi;

$$\alpha = (\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = (0.0147 - 0.004317) \times \frac{365}{17} = 0.22$$

$$\alpha_c = 0.85 k_1 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{d} = 0.85 \times 0.85 \times \frac{600}{600 - 365} \times \frac{35}{315} = 0.204$$

$\alpha > \alpha_c$ Basınç donatısı akma konumuna gelmiştir. $\sigma_s' = f_{yd}$ alınacaktır.

İkinci kuvvet çifti denge denkleminde;

$$F_s' = F_{s2}$$

$$A_s' f_{yd} = A_{s2} f_{yd} \quad \text{buradan} \quad A_s' = A_{s2} = 340 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2} = 1160 - 340 = 820 \text{ mm}^2$$

Birinci kuvvet çifti denge denkleminde tarafsız eksen derinliği elde edilir.

$$F_c = F_{s1}$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b_w = A_{s1} f_{yd}$$

$$0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 250 = 820 \times 365 \quad \text{buradan} \quad c = 97.47 \text{ mm elde edilir.}$$

Çekme kuvvetinin olduğu noktaya göre iç kuvvetlerin momenti alınarak kesit taşıma gücü momenti;

$$M_r = F_c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + F_s' (d - d')$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} k_1 c b \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' f_{yd} (d - d')$$

$$M_r = [0.85 \times 17 \times 0.85 \times 97.47 \times 250 \times (315 - \frac{0.85 \times 97.47}{2}) + 340 \times 365 \times (315 - 35)] \times 10^{-6}$$

$M_r = 116.6 \text{ kNm}$ olarak bulunur.

Kesitin yükleri taşıyabilmesi için;

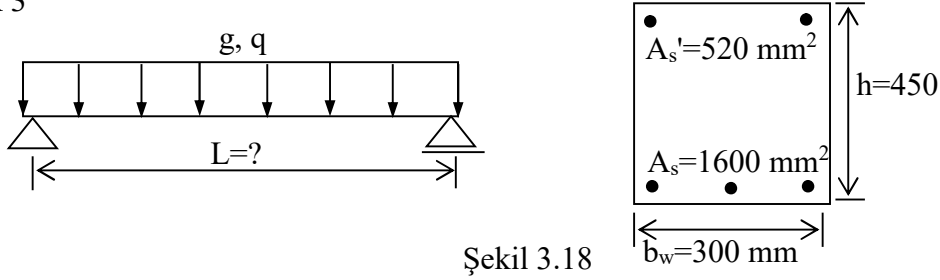
$M_d \leq M_r$ olmalıdır.

$$M_d = \frac{P_d L^2}{8} \quad P_d = 1.4g + 1.6q = 1.4 \times 20 + 1.6 \times 10 = 44 \text{ kN/m}$$

$$M_d = \frac{44 \times 5.5^2}{8} = 166.37 \text{ bulunmaktadır.}$$

$M_d > M_r$ olduğundan kiriş bu yükleri güvenle taşıyamaz.

Örnek 3



Şekil 3.18

Şekil 3.18'de verilen basit mesnetli kiriş, $g=25$ kN/m ölü, $q=15$ kN/m hareketli karakteristik yüklerin etkisi altında olduğuna göre kirişin geçebileceği maksimum açıklık (L) değerini bulunuz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

Çözüm:

Kesitin donatı oranları:

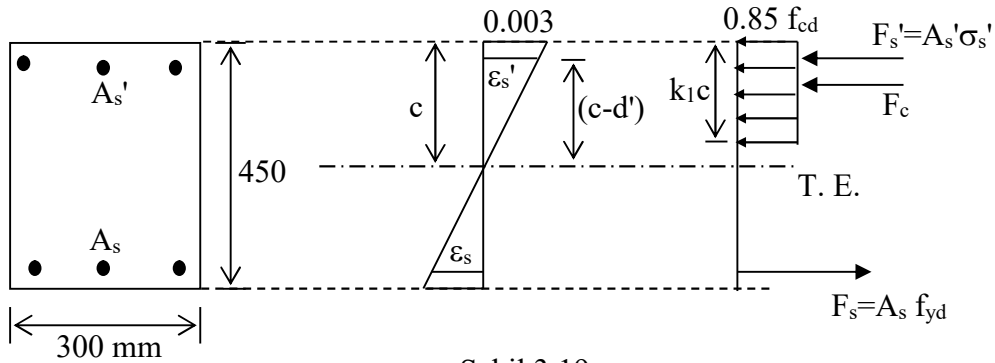
$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1600}{300 \times 400} = 0.0133$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = \frac{520}{300 \times 400} = 0.00433, \quad \text{donatı indeksi;}$$

$$\alpha = (\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = (0.0133 - 0.00433) \times \frac{365}{17} = 0.193$$

$$\alpha_c = 0.85 k_1 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{d} = 0.85 \times 0.85 \times \frac{600}{600 - 365} \times \frac{50}{400} = 0.23$$

$\alpha < \alpha_c$ olduğundan basınç donatısı akma konumuna gelmemiştir ($\epsilon_s' < \epsilon_{sy}$, $\sigma_s' < f_{yd}$). Bu durumda iki kuvvet çifti yaklaşımı kullanılamaz, temel denklemler ile çözüme gidilir.



Şekil 3.19

Uygunluk denkleminde;

$$\frac{c - d'}{c} = \frac{\epsilon_s'}{0.003} \quad \sigma_s' = E_s \epsilon_s' \quad \text{olduğundan;}$$

$$\sigma_s' = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad \text{olarak basınç donatısındaki gerilme ifade edilir.}$$

Kuvvet denge denkleminden;

$$F_c + F_s' - F_s = 0$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b_w + A_s' \sigma_s' - A_s f_{yd} = 0$$

$$0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300 + 520 \times 600 \times \left(\frac{c - 50}{c} \right) - 1600 \times 365 = 0 \text{ ifadesi elde edilir.}$$

Denklem c'ye bağlı olarak düzenlenirse;

$$c^2 - 73.82 c - 4233.66 = 0 \text{ formunu alır. Denklemin çözümünden } c = 111.7 \text{ mm bulunur.}$$

Basınç donatısındaki gerilme; $\sigma_s' = 600 \times \left(\frac{111.7 - 50}{111.7} \right) = 331.4 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilir.

Çekme donatısının olduğu noktaya göre moment alınır;

$$M_r = 0.85 f_{cd} k_1 c b_w \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' \sigma_s' (d - d')$$

$$M_r = \left[0.85 \times 17 \times 0.85 \times 111.7 \times 300 \times \left(400 - \frac{0.85 \times 111.7}{2} \right) + 520 \times 331.4 \times (400 - 50) \right] \times 10^{-6}$$

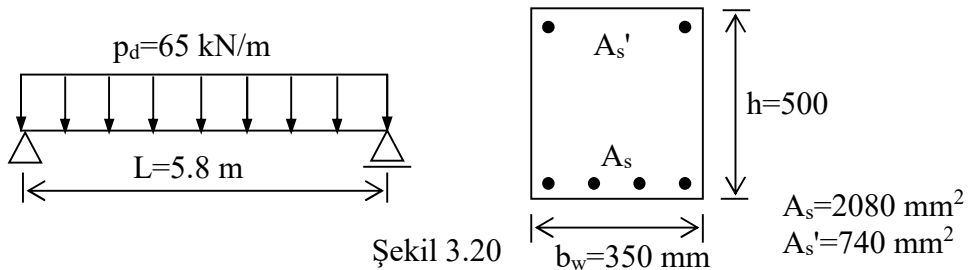
$M_r = 205.4 \text{ kNm}$ olarak taşıma gücü momenti hesaplanır.

Kesitin geçebileceği maksimum açıklık, taşıma gücü momentinin kiriş momentine eşitlenmesi ile elde edilir.

$$M_r = M_d = \frac{P_d L^2}{8}, \quad P_d = 1.4g + 1.6q = 1.4 \times 25 + 1.6 \times 15 = 59 \text{ kN/m}$$

$$205.4 = \frac{59 \times L^2}{8} \text{ buradan } L = 5.28 \text{ m elde edilir.}$$

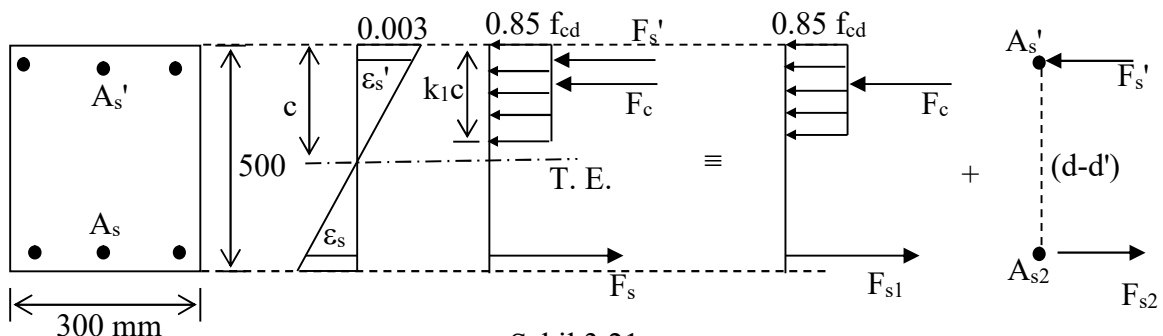
Örnek 4



Şekil 3.20

Şekil 3.20'de verilen kiriş üzerindeki yükü güvenle taşıyır mı? Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm.

Çözüm:



Şekil 3.21

Basınç donatısının akıp akmadığını kontrol etmek gerekir.

Kesitin donatı oranları:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2080}{350 \times 460} = 0.0129$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = \frac{740}{350 \times 460} = 0.0046$$

$(\rho - \rho') < \rho_b$, donatı indeksi;

$$\alpha = (\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0.178$$

$$\alpha_c = 0.85 k_1 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{d} = 0.85 \times 0.85 \times \frac{600}{600 - 365} \times \frac{40}{460} = 0.16$$

$\alpha > \alpha_c$ Basınç donatısı akma konumuna gelmiştir. $\sigma_s' = f_{yd}$ alınacaktır.

İkinci kuvvet çifti denge denkleminde;

$$F_s' = F_{s2}$$

$$A_s' f_{yd} = A_{s2} f_{yd} \quad \text{buradan} \quad A_s' = A_{s2} = 740 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2} = 2080 - 740 = 1340 \text{ mm}^2 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Birinci kuvvet çifti denge denkleminde tarafsız eksen derinliği elde edilir.

$$F_c = F_{s1}$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b = A_{s1} f_{yd}$$

$$0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 350 = 1340 \times 365 \quad \text{buradan} \quad c = 113.8 \text{ mm elde edilir.}$$

Çekme kuvvetinin olduğu noktaya göre iç kuvvetlerin momenti alınarak kesit taşıma gücü momenti:

$$M_r = F_c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + F_s' (d - d')$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} k_1 c b \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' f_{yd} (d - d')$$

$$M_r = [0.85 \times 17 \times 0.85 \times 113.8 \times 350 \times (460 - \frac{0.85 \times 113.8}{2}) + 740 \times 365 \times (460 - 40)] \times 10^{-6}$$

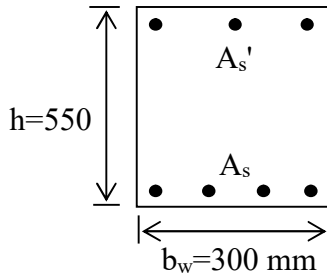
$$M_r = 314.8 \text{ kNm} \quad \text{olarak elde edilir.}$$

$$M_r \leq M_d \quad \text{olmalıdır.}$$

$$M_d = \frac{P_d L^2}{8} = \frac{65 \times 5.8^2}{8} = 273.3 \text{ kNm} < 314.8 \quad \text{olduğundan kiriş yükü güvenle taşır.}$$

3.1.7 Çalışma Soruları

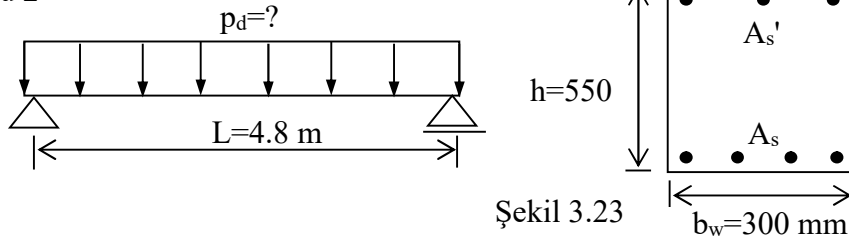
Soru 1



Şekil 3.22’de verilen çift donatılı kirişte, $A_s=1750 \text{ mm}^2$, $A_s'=585 \text{ mm}^2$, Malzeme C20, S420 ve paspayı=50 mm olduğuna göre kirişin taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Şekil 3.22

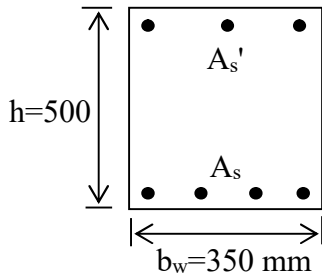
Soru 2



Şekil 3.23

Şekil 3.23’te verilen çift donatılı kirişte, $A_s=1885 \text{ mm}^2$, $A_s'=603 \text{ mm}^2$, malzeme C20, S420 ve paspayı=50 mm olduğuna göre kirişin taşıma gücü momentini (M_r) ve taşıyabileceği yükü (p_d) bulunuz.

Soru 3



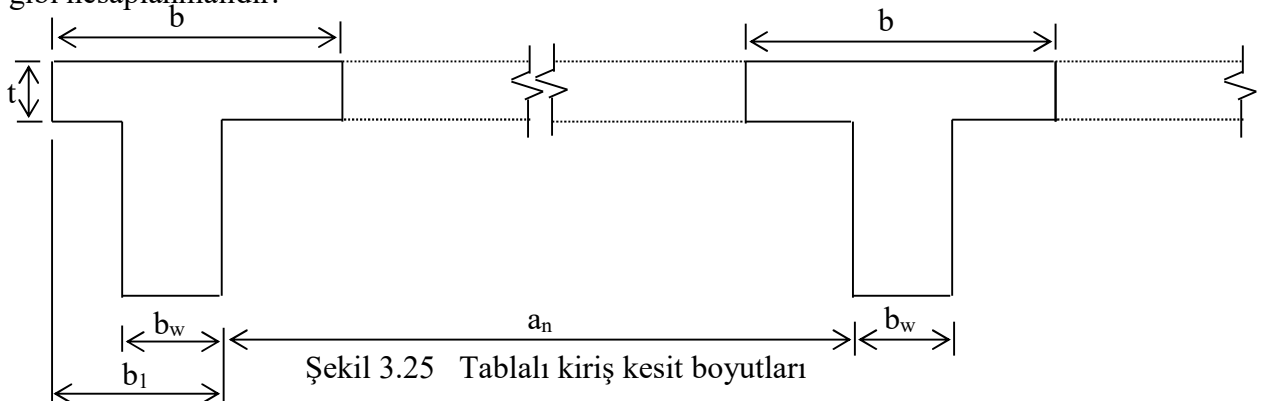
Şekil 3.24’te verilen kiriş kesitinin çekme donatısı alanı $A_s=1825 \text{ mm}^2$, basınç donatısı alanı $A_s'=1220 \text{ mm}^2$, malzeme C25, S420 ve $d'=40 \text{ mm}$ olduğuna göre kirişin taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Şekil 3.24

3.1.8 Tablalı Kesitler

Betonarme elemanlarda kirişler ile döşemeler monolitik çalıştığından, kesit hesabı yapılırken döşeme parçası basınç bölgesi içinde kalıyorsa genellikle bu kirişler T kesit olarak göz önüne alınırlar. Bu şekilde elde edilen kesite tablalı kesit adı verilir.

Tablalı kirişlerin kesit hesabında, yapısal çözümleme ve kesit hesapları için gerekli eylemsizlik momentlerinin hesabında göz önüne alınacak tabla genişliği, aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmalıdır.



Şekil 3.25 Tablalı kiriş kesit boyutları

Simetrik kesitlerde (T-kesiti), $b=b_w+0.2(l_p)$

Simetrik olmayan kesitlerde (L-kesiti vb), $b=b_1+0.1(l_p)$

Ancak, gövde dışına taşan tabla genişliği, herbir yanda, tabla kalınlığının altı katından ve komşu kiriş gövde yüzüne olan uzaklığın yarısından fazla olamaz. Yukarıda kullanılan l_p , kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki uzunluğudur. Kesin hesap yapılmayan durumlarda,

$l_p = 0.1(l)$ (tek açıklıklı, basit mesnetli kiriş)

$l_p = 0.8(l)$ (Sürekli kiriş kenar açıklığı)

$l_p = 0.6(l)$ (Sürekli kiriş iç açıklığı)

$l_p = 1.5(l)$ (Konsol kiriş)

alınabilir. Burada (l) kirişin hesap açıklığıdır.

Eşdeğer basınç gerilme bloğu derinliği (k_1c), tabla derinliğinden (h_f) küçük olması durumunda, betonun çekme bölgesinde kalan kısmının önemli olmamasından dolayı basınç bölgesi b genişliğinde dikdörtgen kesit olur. Bu durumda taşıma gücü dikdörtgen kesitler için önerilen ilke ve yöntemlere göre hesaplanır.

Bazı kesitlerde, $k_1c > h_f$ olabilir. Bu durumda T biçimindeki alanı (A_{cc}) ve bu alanın ağırlık merkezini ($\bar{x}$) hesaplamak gerekir. Basınç dağılımı dikdörtgen olduğundan, beton basınç bileşkesi, hesaplanan alan, gerilme şiddeti $0.85f_{cd}$ ile çarpılarak bulunur.

$$F_c = 0.85 f_{cd} A_{cc} \quad (3.11)$$

Donatıdaki kuvvet;

$$F_s = A_s f_{yd} \quad (3.12)$$

Bu alanın ağırlık merkezinden faydalanılarak moment kolu ($d - \bar{x}$) kolayca hesaplanabilir.

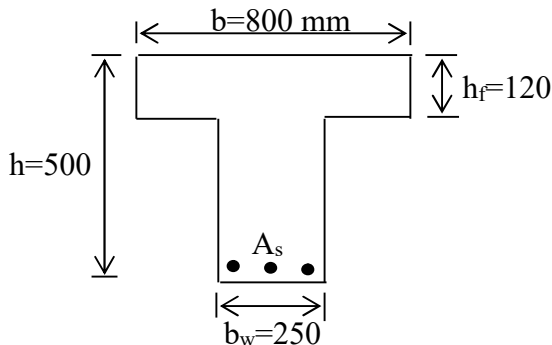
Tablalı kesitin taşıma gücü;

$$M_r = F_c (d - \bar{x}) = F_s (d - \bar{x}) \quad (3.13)$$

olarak hesaplanabilir.

3.1.9 Örnekler

Örnek 1

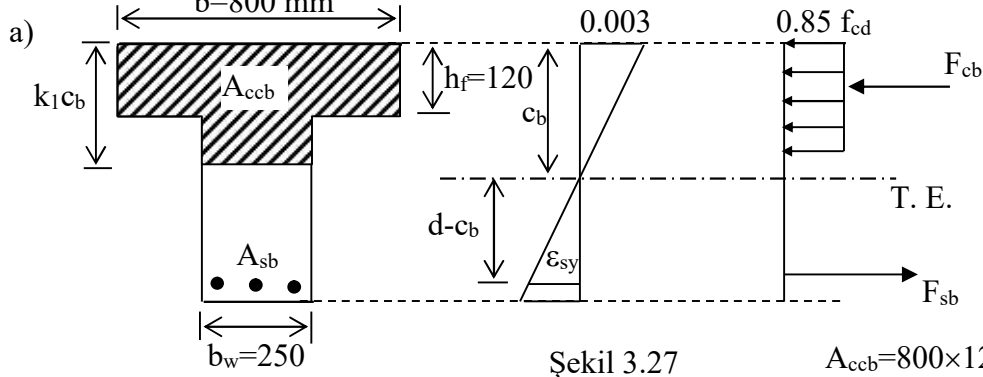


Şekil 3.26'da verilen T kesitli kirişin çekme donatısı alanı, $A_s=1365 \text{ mm}^2$, malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm olduğuna göre;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- Taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Şekil 3.26

Çözüm:



$$A_{ccb} = 800 \times 120 + (243.1 - 120) \times 250$$

$$A_{ccb} = 126775 \text{ mm}^2$$

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

$k_1 c_b = 0.85 \times 286 = 243.1 \text{ mm} > 120 \text{ mm}$ olduğundan basınç bölgesi tablanın dışındadır.

İç kuvvetlerin dengesinden;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} A_{ccb} = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 126775 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan } A_{sb} = 3838 \text{ mm}^2 \quad \text{elde edilir.}$$

$A_s < A_{sb}$ olduğundan kiriş denge altıdır.

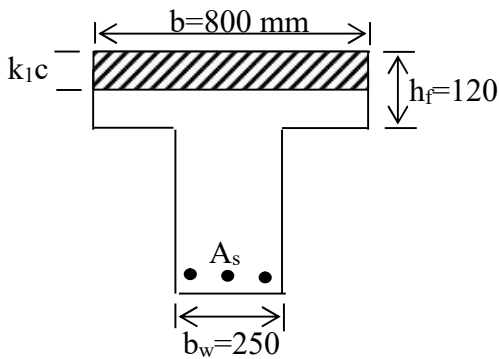
b) Kesitin çalışma biçimi tayini;

$k_1 c = h_f$ kabul edelim;

$$F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b = (0.85 \times 13 \times 120 \times 800) \times 10^{-3} = 1060.8 \text{ kN}$$

$$F_s = A_s f_{yd} = (1365 \times 365) \times 10^{-3} = 498.2 \text{ kN}$$

$F_c > F_s$ bulunmaktadır. İç kuvvetlerin dengesinden $F_c = F_s$ olması gerekmektedir. Bu durumda $k_1 c < h_f$ dir (Şekil 3.28). Tarafsız eksen tabla içerisinde kalmakta olup, dikdörtgen kesit hesabı yapılacaktır.



$$F_c = F_s$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b = A_s f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times 800 = 1365 \times 365$$

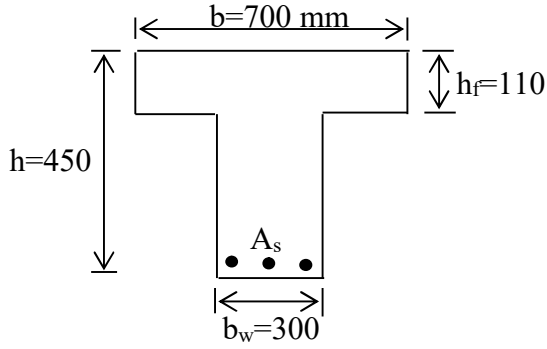
$c = 66.3 \text{ mm}$ elde edilir.

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) = 1365 \times 365 \times \left(460 - \frac{0.85 \times 66.3}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 215.14 \text{ kNm} \quad \text{bulunur.}$$

Şekil 3.28

Örnek 2



Şekil 3.29’da verilen T kesitli kirişin çekme donatısı alanı, $A_s=2200 \text{ mm}^2$ dir. Malzeme C16, S420 ve paspayı=30 mm olduğuna göre, kesitin taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Şekil 3.29

Çözüm:

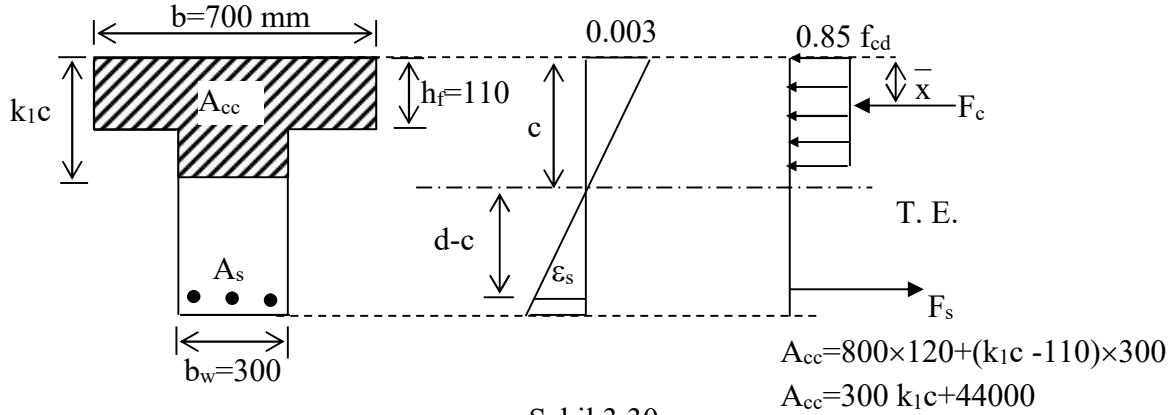
Kesitin çalışma biçimi tayini;

$k_{1c}=h_f$ kabul edelim;

$$F_c=0.85 f_{cd} k_{1c} b=(0.85 \times 11 \times 110 \times 700) \times 10^{-3}=719.95 \text{ kN}$$

$$F_s=A_s f_{yd}=(2200 \times 365) \times 10^{-3}=803 \text{ kN}$$

$F_c < F_s$ olduğundan $k_{1c} > h_f$ dir. Tarafsız eksen tabla dışına çıkmaktadır.



Şekil 3.30

İç kuvvetlerin dengesinden;

$$F_c=F_s$$

$$0.85 f_{cd} A_{cc}=A_s f_{yd}$$

$$0.85 \times 11 \times (300 k_{1c} + 44000) = 2200 \times 365 \quad \text{buradan} \quad k_{1c} = 139.6 \text{ mm elde edilir.}$$

Beton basınç bölgesi ağırlık merkezi;

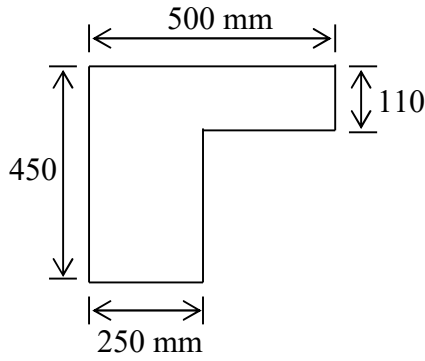
$$\bar{x} = \frac{700 \times 110 \times \frac{110}{2} + 29.6 \times 300 \times 124.8}{700 \times 110 + 29.6 \times 300} = 62.2 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Taşıma gücü moment;

$$M_r=A_s f_{yd} (d-\bar{x})=2200 \times 365 \times (420-62.2) \times 10^{-6}$$

$$M_r=287.3 \text{ kNm olarak bulunur.}$$

Örnek 3



Şekil 3.31’de verilen kirişin çekme donatısı alanı, $A_s=1200 \text{ mm}^2$ dir. Malzeme C20, S420 ve paspayı=35 mm olduğuna göre, taşıma gücü momentini bulunuz.

Şekil 3.31

Çözüm:

Kesitin çalışma biçimi tayini;

$$k_1 c = 110 \text{ mm kabul edelim;}$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} k_1 c b = (0.85 \times 13 \times 110 \times 500) \times 10^{-3} = 607.75 \text{ kN}$$

$$F_s = A_s f_{yd} = (1200 \times 365) \times 10^{-3} = 438 \text{ kN}$$

$F_c > F_s$ olduğundan $k_1 c < 110 \text{ mm}$ olmalıdır. Tarafsız eksen tabla içinde kalmaktadır.

İç kuvvetlerin dengesinden;

$$F_c = F_s$$

$$0.85 f_{cd} k_1 c b = A_s f_{yd}$$

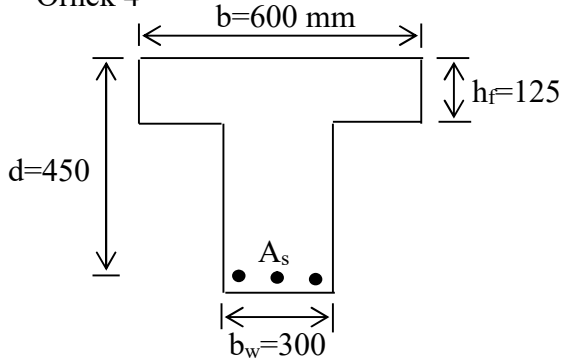
$$0.85 \times 13 \times k_1 c \times 500 = 1200 \times 365 \text{ buradan } k_1 c = 79.28 \text{ mm bulunur.}$$

Kesitin taşıma gücü momentini:

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) = 1200 \times 365 \times \left(415 - \frac{79.28}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 164.4 \text{ kNm bulunur.}$$

Örnek 4

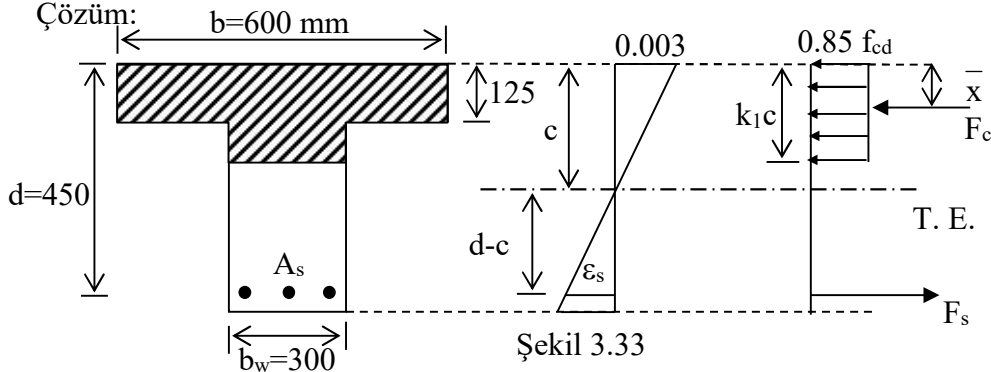


Şekil 3.32’de verilen T kesitli kirişin çekme donatısı alanı, $A_s=3300 \text{ mm}^2$ ve malzeme C16, S420 olduğuna göre;

- Dengeli donatı alanını
- Taşıma gücü momentini bulunuz.

Şekil 3.32

Çözüm:



Şekil 3.33

a) Dengeli donatı alanı;

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

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

$$k_1 c_b = 237.6 \text{ mm} > h_f$$

Beton basınç bölgesi alanı:

$$A_{ccb} = 125 \times 600 + (237.6 - 125) \times 300 = 108780 \text{ mm}^2$$

Kuvvet denge denkleminde

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} A_{ccb} = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 11 \times 108780 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 2786.5 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

$A_s > A_{sb}$ olduğundan kiriş denge üstüdür, dolayısıyla taşıma gücü sınır durumuna erişildiğinde donatı henüz akma konumuna gelmemiştir.

b)

Uygunluk denkleminde;

$$\frac{c}{d - c} = \frac{0.003}{\epsilon_s} \quad \sigma_s = 600 \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

Kuvvet Denge Denklemi

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$A_{cc} = 600 \times 125 + k_1 c \times 300 = 37500 + 255 c$$

$$0.85 f_{cd} A_{cc} = A_s \sigma_s$$

$$0.85 \times 11 \times (37500 + 255c) - 3300 \times 600 \times \left(\frac{450 - c}{c} \right) = 0$$

İfade düzenlendiğinde;

$$c^2 + 977.5 c - 373702.4 = 0 \quad \text{denklemi elde edilir. Bu denklemin çözümünden;} \\ c = 294 \text{ mm ve } k_1 c = 249.9 \text{ mm elde edilmektedir.}$$

$$\sigma_s = 600 \times \left(\frac{450 - 294}{294} \right) = 318.4 \text{ N/mm}^2$$

Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin kesit üst noktasına olan uzaklığı:

$$\bar{x} = \frac{125 \times 600 \times 62.5 + 300 \times 124.9 \times 187.45}{125 \times 600 + 300 \times 124.9} = 104.13 \text{ mm}$$

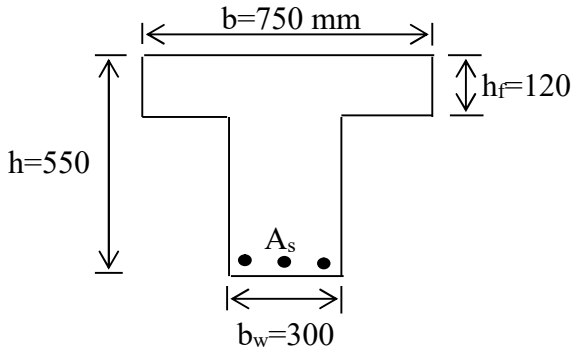
Kesitin taşıma gücü momenti:

$$M_r = A_s \sigma_s (d - \bar{x}) = 3300 \times 318.5 \times (450 - 104.13) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 363.53 \text{ kNm olarak bulunur.}$$

3.1.10 Çalışma Soruları

Soru 1



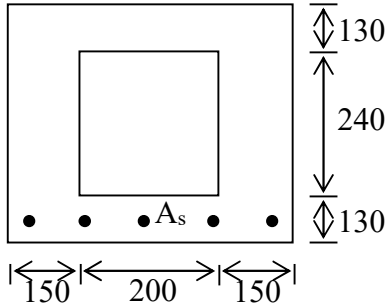
Şekil 3.34'te verilen tablalı kirişin donatı alanı $A_s=2520 \text{ mm}^2$ olduğuna göre;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- Taşıma gücü momentini (M_r) bulunuz.

Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm

Şekil 3.34

Soru 2



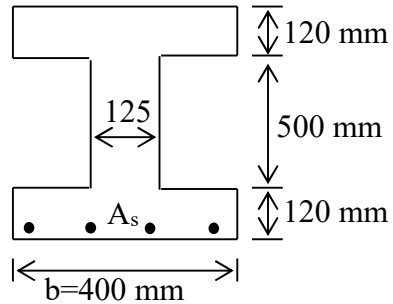
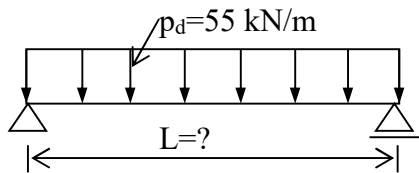
Şekil 3.35'te verilen kutu kesitli kirişin donatı alanı $A_s=2280 \text{ mm}^2$ olduğuna göre;

- Dengeli donatı alanını
- Taşıma gücü momentini bulunuz.

Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm

Şekil 3.35

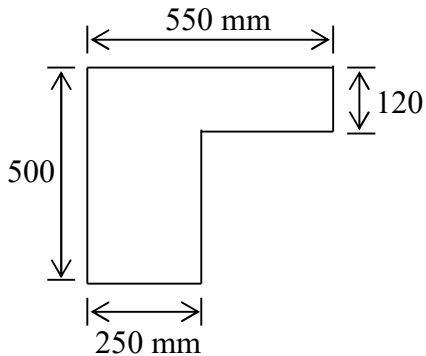
Soru 3



Şekil 3.36

Şekil 3.36'da verilen simetrik (I) kesit için $A_s=1720 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kirişin geçebileceği maksimum açıklık değerini bulunuz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

Soru 4



Şekil 3.37'de verilen kirişin çekme donatısı alanı, $A_s=2380 \text{ mm}^2$ dir. Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm olduğuna göre kirişin taşıma gücü momentini bulunuz.

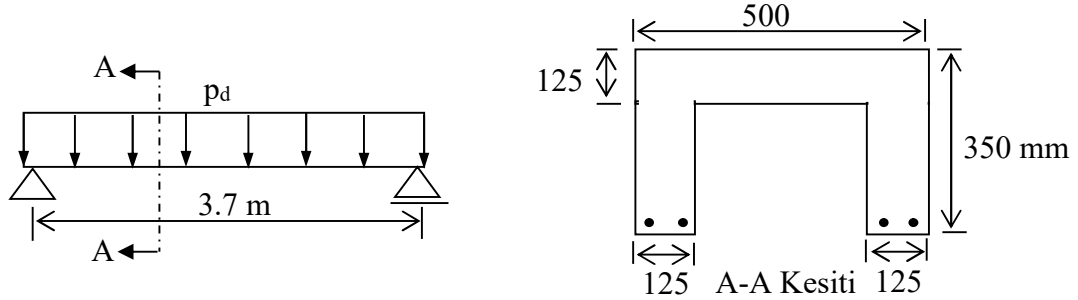
Şekil 3.37

3.1.11 Değişik Geometriye Sahip Kirişler

Değişik geometriye sahip kirişlerin taşıma gücü hesabı, dikdörtgen ve tablalı kesitler için önerilen yöntemlere göre yapılır. Bu tür kirişlerin hesabında önemli olan beton basınç bölgesinin alanı (A_{cc}) ve ağırlık merkezinin ($\bar{x}$) hesabıdır. Taşıma gücü momenti Tablalı kesitler için de önerilen yöntemlere göre yapılır (Bkz. Denklem 3.13).

3.1.12 Örnekler

Örnek 1



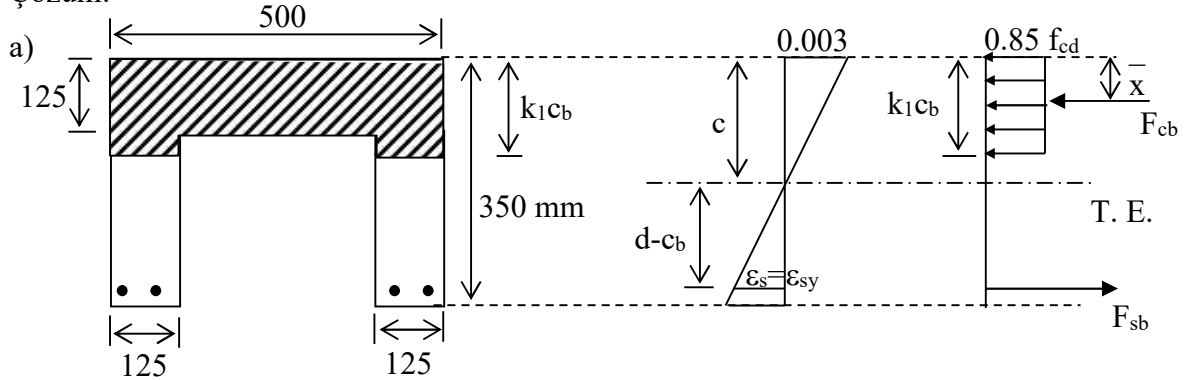
Şekil 3.38

Şekil 3.38’de verilen kesitin donatı alanı $A_s=804.25 \text{ mm}^2$ olduğuna göre;

- Dengeli donatı alanını bulunuz.
- Basit kirişin güvenle taşıyabileceği üniform yayılı yükün hesap değerini bulunuz.

Malzeme C20, S420 ve paspayı=25 mm.

Çözüm:



Şekil 3.39

Dengeli donatı alanı:

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

$$\frac{c_b}{325 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 202.36 \text{ mm} \quad \text{bulunmaktadır.}$$

$$k_1 c_b = 172 \text{ mm} > 125 \text{ mm}$$

Beton basınç bölgesi alanı:

$$A_{ccb} = 250 \times 125 + 172 \times 250 = 74250 \text{ mm}^2$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} A_{ccb} = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 74250 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 2248.8 \text{ mm}^2 \quad \text{bulunur.}$$

$$A_s < A_{sb} \quad \text{olduğundan kırılma biçimi çekme kırılmasıdır} \quad (\sigma_s = f_{yd}).$$

b)

Kesitin taşıma gücü momentini bulabilmek için öncelikle tarafsız eksen derinliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

$$k_{1c}=125 \text{ mm olsun;}$$

$$F_c=0.85 f_{cd} k_{1c} b=(0.85 \times 13 \times 125 \times 500) \times 10^{-3}=690.6 \text{ kN}$$

$$F_s=A_s f_{yd}=(804.25 \times 365) \times 10^{-3}=293.55 \text{ kN}$$

$F_c > F_s$ dolayısıyla $k_{1c} < 125 \text{ mm}$ olmalıdır. Bu durumda beton basınç bölgesi 500 mm genişliğinde ve k_{1c} derinliğinde dikdörtgen kesittir. Beton basınç bölgesi alanı;

$$A_{cc}=500 \times k_{1c}$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$0.85 f_{cd} A_{cc}=A_s f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 500 \times k_{1c}=804.25 \times 365$$

$$k_{1c}=53.13 \text{ mm bulunur.}$$

Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin kesit üst noktasına olan uzaklığı:

$$\bar{x} = \frac{53.13}{2} = 26.56 \text{ mm olarak bulunur. Taşıma gücü momenti;}$$

$$M_r=A_s f_{yd} (d-\bar{x})=804.25 \times 365 \times (325-26.56) \times 10^{-6}$$

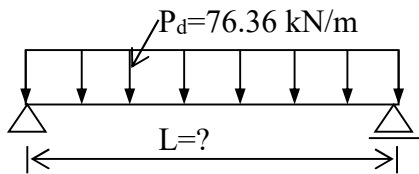
$$M_r=87.6 \text{ kNm elde edilmektedir.}$$

Kesitin taşıyabileceği maksimum yük kesitin taşıma gücü momentinin kiriş momentine eşitlenmesi ile elde edilir.

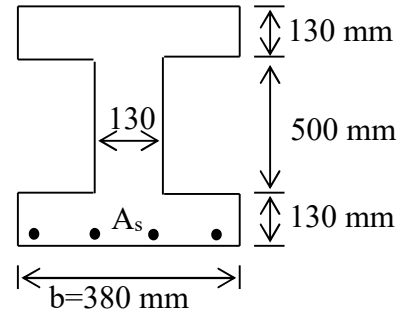
$$M_r=M_d=\frac{P_d L^2}{8}$$

$$87.6=\frac{P_d \times 3.7^2}{8} \text{ buradan } p_d=51.2 \text{ kN/m elde edilir.}$$

Örnek 2



Şekil 3.40

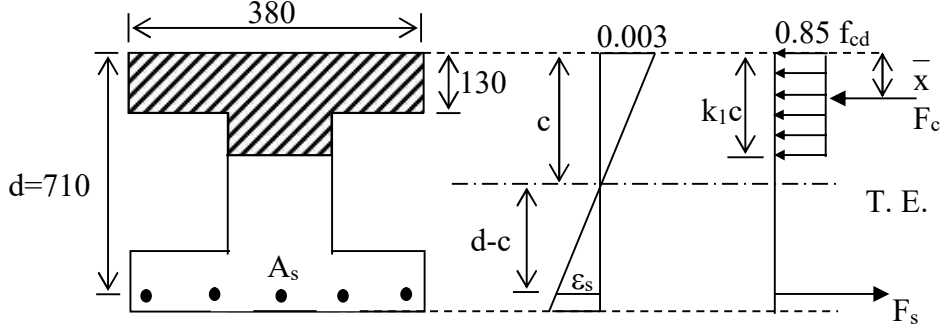


Şekil 3.40'da verilen simetrik (I) kesit için;

a) Dengeli donatı alanını (A_{sb})

b) $A_s=2035.7 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kirişin geçebileceği maksimum açıklık değerini bulunuz. Malzeme C16, S420 ve paspayı=50 mm.

Çözüm:



Şekil 3.41

a)

Dengeli donatı alanı:

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

$$\frac{c_b}{710 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 442.1 \text{ mm bulunmaktadır.}$$

$$k_1 c_b = 375.8 \text{ mm ve } A_{ccb} = 130 \times 380 + (375.8 - 130) \times 130$$

$$A_{ccb} = 81354 \text{ mm}^2$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} A_{ccb} = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 11 \times 81354 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan } A_{sb} = 2084 \text{ mm}^2 > A_s \text{ kiriş denge altıdır.}$$

b)

Beton basınç bölgesi alanı:

$$A_{cc} = 130 \times 380 + (0.85 \times c - 130) \times 130$$

$$A_{cc} = 32500 + 110.5 c$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$F_c = F_s$$

$$0.85 \times 11 \times (32500 + 110.5 c) = 2035.7 \times 365, \quad c = 425.05 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin kesit üst noktasına olan uzaklığı:

$$\bar{x} = \frac{130 \times 380 \times 65 + 231.3 \times 130 \times 245.6}{130 \times 380 + 231.3 \times 130} = 133.3 \text{ mm}$$

$$M_r = A_s f_{yd} (d - \bar{x}) = 2035.7 \times 365 \times (710 - 133.3) \times 10^{-6}$$

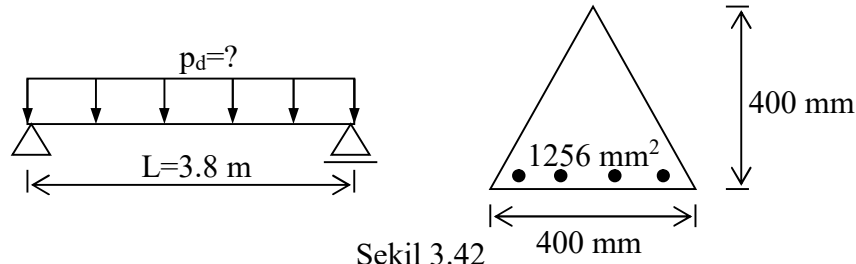
$$M_r = 428.5 \text{ kNm olarak taşıma gücü momenti elde edilir.}$$

Kiririşin geçebileceği maksimum açıklığı bulabilmek için kiriş taşıma gücü momenti kiriş momentine eşitlenmelidir. Bu durumda;

$$M_r = \frac{P_d L^2}{8} \quad \text{buradan } L^2 = \frac{8 \times M_r}{P_d} = \frac{8 \times 428.5}{76.36}$$

$$L = 6.7 \text{ m olarak bulunmaktadır.}$$

Örnek 3

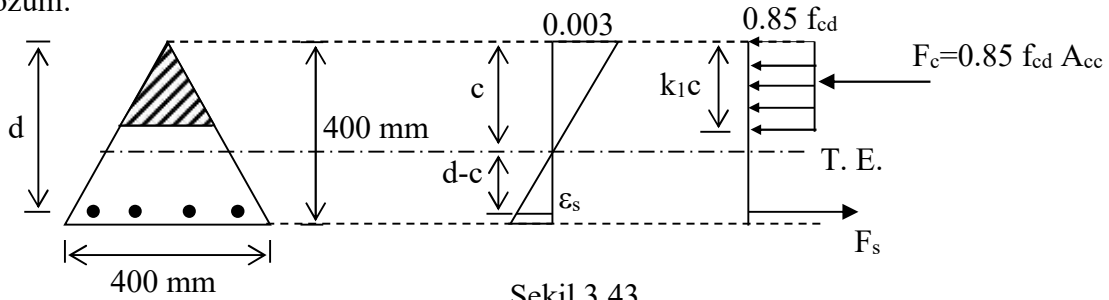


Şekil 3.42

Şekil 3.42’de verilen kirişin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- Donatı alanı $A_s=1256 \text{ mm}^2$ olduğuna göre taşıyabileceği maksimum yükü (p_d) bulunuz. Malzeme C20, S220 ve paspayı=40 mm.

Çözüm:



Şekil 3.43

- Birim deformasyon dağılımının benzerliğinden faydalanılarak dengeli tarafsız eksen derinliği c_b elde edilir ($\epsilon_s = \epsilon_{sy}$).

$$\frac{c_b}{d - c_b} = \frac{0.003}{\epsilon_{sy}} \quad \text{burada} \quad \epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{191}{2 \times 10^5} = 0.000955$$

Buradan $c_b = 273.16 \text{ mm}$ bulunur. $k_1 c_b = 0.85 \times 273.16 = 232.2 \text{ mm}$ dir.

Beton basınç bölgesi alanı A_{ccb} , $k_1 c_b$ ile sınırlı üçgen alanı olacağından;

$$A_{ccb} = \frac{(k_1 c_b)^2}{2} = 26958.4 \text{ mm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Kuvvet denge denklemi yazılarak;

$$F_{sb} = F_{cb}$$

$$A_{sb} f_{yd} = 0.85 f_{cd} A_{ccb}$$

$$A_{sb} \times 191 = 0.85 \times 13 \times 26958.4 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 1559.6 \text{ mm}^2 \quad \text{elde edilir.}$$

b)

$A_s = 1256 \text{ mm}^2$ dengeli donatı alanından küçük olduğundan kiriş denge altıdır ve kırılma türü çekme kırılmasıdır.

Beton basınç bölgesi alanı $A_{cc} = \frac{(k_1 c)^2}{2}$ dir. Kuvvet denge denklemi yardımı ile kiriş tarafsız eksen derinliği c elde edilir.

$$F_s = F_c, \quad A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} A_{cc}$$

$$1256 \times 191 = 0.85 \times 13 \times \frac{(k_1 c)^2}{2} \quad \text{buradan} \quad k_1 c = 208.37 \text{ mm} \quad \text{elde edilir.}$$

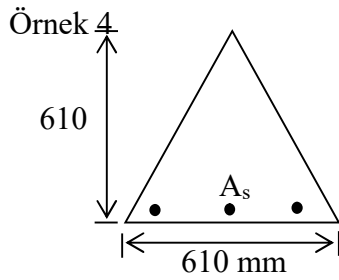
Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin kiriş üst noktasına olan uzaklığı $\bar{x} = \frac{2}{3} k_1 c = 138.9 \text{ mm}$ dir. Bu durumda kiriş kesitinin taşıma gücü momenti:

$$M_r = A_s f_{yd} (d - \bar{x}) = 1256 \times 191 \times (360 - 138.9) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 53.04 \text{ kNm} \quad \text{elde edilir.}$$

Kirişin taşıyabileceği maksimum yükü bulabilmek için kiriş taşıma gücü momenti kiriş momentine eşitlenmelidir. Bu durumda;

$$M_r = \frac{P_d L^2}{8} \quad \text{buradan} \quad P_d = \frac{8 \times M_r}{L^2} = \frac{8 \times 53.04}{3.8^2} = 29.38 \text{ kN/m} \quad \text{olarak bulunmaktadır.}$$



Şekil 3.44'te verilen basit eğilmeye maruz eşkenar üçgen kesitin

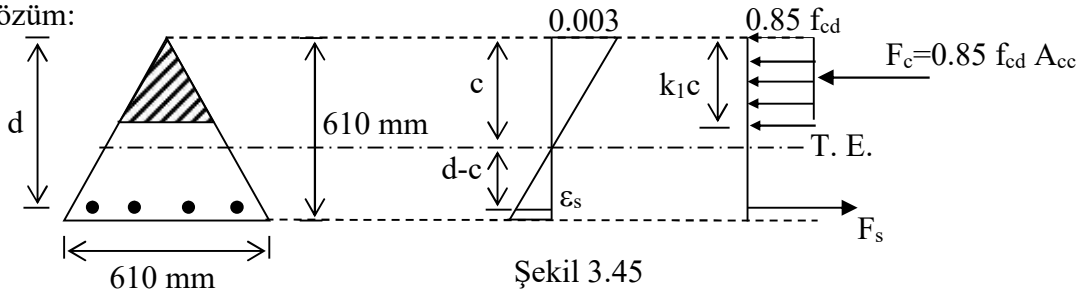
a) Dengeli donatı alanını bulunuz.

b) $A_s = 1264.5 \text{ mm}^2$ olduğuna göre tarafsız eksenin yerini (c) bulunuz ve kesit taşıma gücü momentini hesaplayınız.

Paspayı = 75 mm ve malzeme C20, S420.

Şekil 3.44

Çözüm:



Şekil 3.45

a) Birim deformasyon dağılımının benzerliğinden faydalanılarak dengeli tarafsız eksen derinliği c_b elde edilir ($\epsilon_s = \epsilon_{sy}$).

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

Buradan $c_b = 332.71 \text{ mm}$ bulunur. $k_1 c_b = 0.85 \times 332.71 = 282.8 \text{ mm}$ dir.

Beton basınç bölgesi alanı A_{ccb} , $k_1 c_b$ ile sınırlı üçgen alanı olacağından;

$$A_{ccb} = \frac{(k_1 c_b)^2}{2} = 39988 \text{ mm}^2 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Kuvvet denge denklemini yazılarak;

$$F_{sb} = F_{cb}$$

$$A_{sb} f_{yd} = 0.85 f_{cd} A_{ccb}$$

$$A_{sb} \times 365 = 0.85 \times 13 \times 39988 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 1210.6 \text{ mm}^2 \quad \text{elde edilir.}$$

$$A_s > A_{sb} \quad \text{Kesit denge üstüdür.}$$

b) Uygunluk bağıntısından;

$$\frac{c}{d-c} = \frac{0.003}{\epsilon_s} \text{ ve } \sigma_s = E_s \epsilon_s \quad (E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)$$

$$\sigma_s = 600 \times \left(\frac{535 - c}{c} \right)$$

Kuvvet denge denklemi yardımı ile kiriş tarafsız eksen derinliği (c) elde edilir.

$$F_s = F_c$$

$$A_s \sigma_s = 0.85 f_{cd} A_{cc}$$

$$1264.5 \times 600 \times \left(\frac{535 - c}{c} \right) = 0.85 \times 13 \times \frac{(k_1 c)^2}{2} \text{ denklem (c) ye bağlı olarak düzenlenirse;}$$

$$c^3 + 190150.4c - 101690225.6 = 0 \text{ Denklemin çözümünden;}$$

$$c = 335.75 \text{ mm} \quad k_1 c = 285.4 \text{ mm} \text{ olarak bulunmaktadır.}$$

$$\sigma_s = 600 \times \left(\frac{535 - c}{c} \right) = 356 \text{ N/mm}^2$$

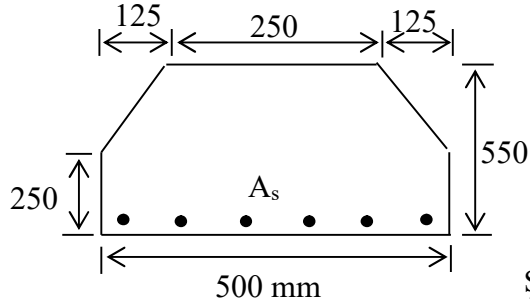
Kesitin beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin üst noktaya olan uzaklığı;

$$\bar{x} = \frac{2}{3} k_1 c = 190.26 \text{ mm} \text{ olarak bulunur. Taşıma gücü momenti:}$$

$$M_r = A_s f_{yd} (d - \bar{x}) = 1264.5 \times 356 \times (535 - 190.26) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 155.2 \text{ kNm} \text{ elde edilir.}$$

Örnek 5

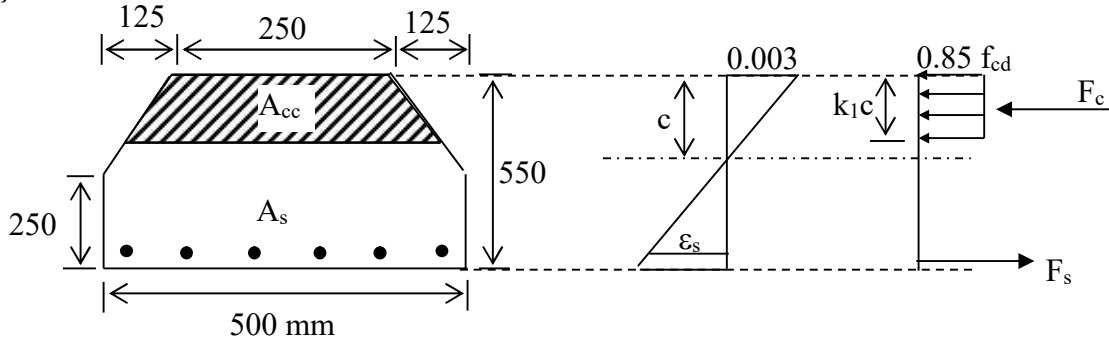


Şekil 3.46

Basit eğilme etkisi altındaki kesitin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- $A_s = 2280 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kesitin taşıma gücü momentini bulunuz. Paspayı=50 mm ve malzeme C20, S420

Çözüm:



Şekil 3.47

a)

Dengeli donatı alanı ($\epsilon_s = \epsilon_{sy}$);

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

$$\frac{c_b}{500 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 310.9 \text{ mm bulunmaktadır.}$$

$$k_1 c_b = 264.3 \text{ mm}$$

Dengeli durumda beton basınç bölgesi alanı:

$$A_{ccb} = 2 \times \frac{1}{2} \times \frac{125}{300} \times (264.3)^2 + 250 \times 264.3 = 95181 \text{ mm}^2$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} A_{ccb} = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 95181 = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 2881.5 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

$A_s < A_{sb}$ olduğundan kırılma biçimi çekme kırılmasıdır. Kiriş denge altı kiriştir.

b)

Taşıma gücü momentini bulabilmek için öncelikle kesitin tarafsız ekseninin yerinin belirlenmesi gerekir.

$k_1 c$ ile sınırlı beton basınç bölgesi alanı:

$$A_{cc} = 2 \times \frac{1}{2} \times \frac{125}{300} \times (k_1 c)^2 + 250 \times k_1 c = 0.416 \times (k_1 c)^2 + 250 \times k_1 c$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$F_c = F_s$$

$$0.85 f_{cd} A_{cc} = A_s f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times [0.416 \times (k_1 c)^2 + 250 \times k_1 c] = 2280 \times 365$$

Denklem $k_1 c$ değerine bağlı olarak düzenlendiğinde

$$(k_1 c)^2 + 600.96 \times (k_1 c) - 181039 = 0 \quad \text{denklemini elde edilir. Denklem çözüldüğünde;}$$

$$k_1 c = 220.4 \text{ mm bulunmaktadır.}$$

Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin kesit üst noktasına olan uzaklığı:

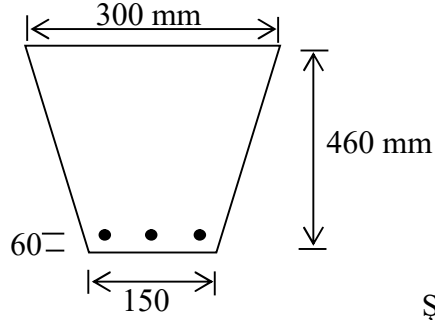
$$\bar{x} = \frac{250 \times 220.4 \times \frac{220.4}{2} + \frac{1}{2} \times 2 \times 220.4 \times \frac{125}{300} \times 220.4 \times \frac{2}{3} \times 220.4}{250 \times 220.4 + 2 \times \frac{1}{2} \times 220.4 \times \frac{125}{300} \times 220.4} = 120.07 \text{ mm}$$

bulunmaktadır. Taşıma gücü momenti:

$$M_r = A_s f_{yd} (d - \bar{x}) = 2280 \times 365 \times (500 - 120.07) \times 10^{-6}$$

$$M_r = 316.17 \text{ kNm olarak elde edilir.}$$

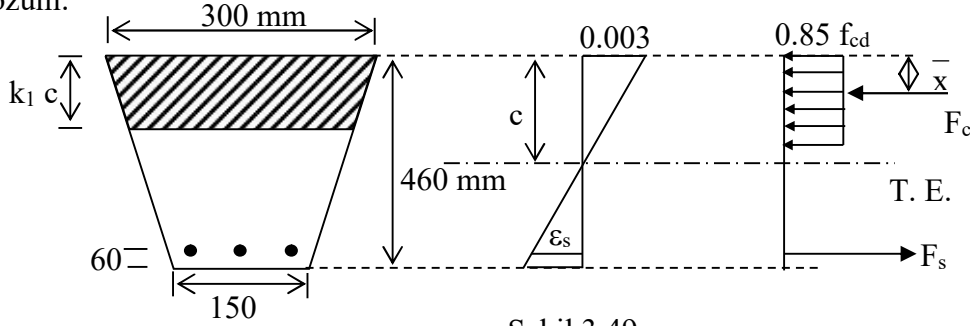
Örnek 6



Şekil 3.48

- a) Şekil 3.48'de verilen kesitin dengeli donatı alanını hesaplayınız.
 b) $A_s=1608.5 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kesit taşıma gücünü hesaplayınız.
 Malzeme C20, S420, paspayı=60 mm.

Çözüm:



Şekil 3.49

a)

Dengeli donatı alanı:

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

$$\frac{c_b}{400 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 248.7 \text{ mm} \quad \text{ve} \quad k_1 c_b = 211.4 \text{ mm} \quad \text{bulunmaktadır.}$$

Beton basınç bölgesi alanı:

$$A_{ccb} = 300 \times k_1 c_b - 2 \times \frac{1}{2} \times k_1 c_b \times 0.163 \times k_1 c_b$$

$$A_{ccb} = k_1 c_b \times (300 - 0.163 \times k_1 c_b)$$

Kuvvet denge denkleminde;

$$F_{cb} = F_{sb}$$

$$0.85 f_{cd} A_{ccb} = A_{sb} f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 211.4 \times (300 - 0.163 \times 211.4) = A_{sb} \times 365 \quad \text{buradan} \quad A_{sb} = 1699.4 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

$A_s < A_{sb}$ olduğundan kiriş denge altıdır.

b)

Beton basınç bölgesi alanı;

$$A_{cc} = k_1 c \times (300 - 0.163 \times k_1 c)$$

$$0.85 f_{cd} A_{cc} = A_s f_{yd}$$

$$0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times (300 - 0.163 \times 0.85 \times c) = 1608.5 \times 365$$

İfade c'ye bağlı olarak düzenlenirse;

$$c^2 - 2167.5 c + 451617.3 = 0 \quad \text{denklemin elde edilmektedir. Denklemin çözümünden}$$

$$c = 233.5 \text{ mm} \quad \text{ve} \quad k_1 c = 198.5 \text{ mm.} \quad \text{bulunur.}$$

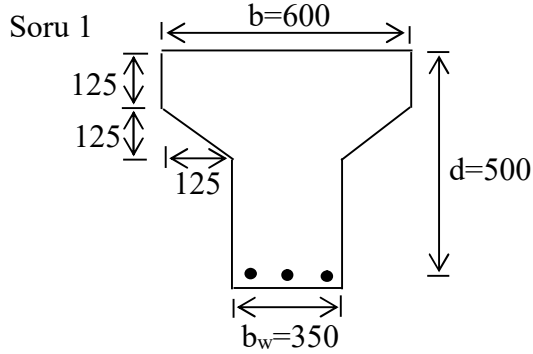
Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin kesit üst noktasına olan uzaklığı:

$$\bar{x} = \frac{300 \times 198.5 \times \frac{198.5}{2} - 2 \times 32.35 \times \frac{198.5}{2} \times \frac{2}{3} \times 198.5}{300 \times 198.5 - 2 \times 32.35 \times \frac{198.5}{2}} = 95.25 \text{ mm}$$

$$M_r = A_s f_{yd} (d - \bar{x}) = 1608.5 \times 365 \times (400 - 95.25) \times 10^{-6}$$

$M_r = 178.9 \text{ kNm}$ olarak taşıma gücü momenti elde edilir.

3.1.13 Çalışma Soruları



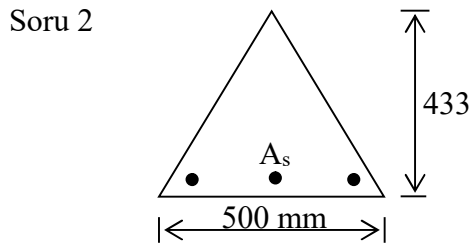
Şekil 3.50'de verilen kesitin donatı alanı

$A_s = 3090 \text{ mm}^2$ olduğuna göre;

- Dengeli donatı alanını
- Taşıma gücü momentini bulunuz.

Malzeme C20, S420.

Şekil 3.50

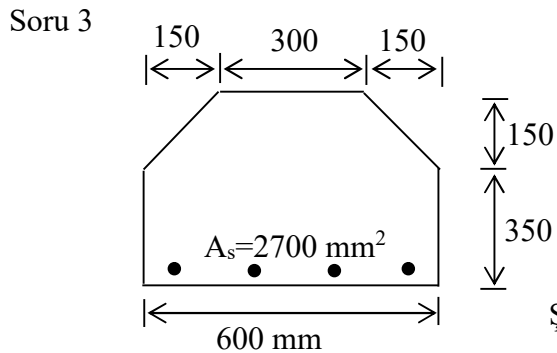


Şekil 3.51'de verilen eşkenar üçgen kesitli kirişin donatı alanı $A_s = 1270 \text{ mm}^2$ olduğuna göre

- Dengeli donatı alanını
- Taşıma gücü momentini bulunuz.

Malzeme C16, S220 ve paspayı=30 mm.

Şekil 3.51



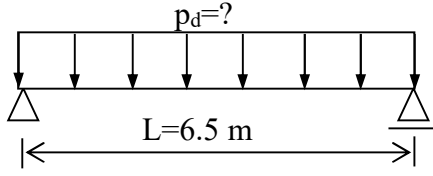
Şekil 3.52'de verilen kirişin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- Taşıma gücü momentini bulunuz.

Malzeme C20, S420 paspayı=40 mm.

Şekil 3.52

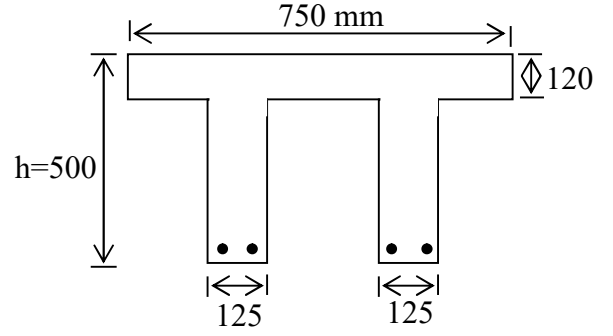
Soru 4



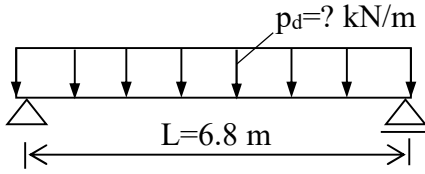
Şekil 3.53

Şekil 3.53'te verilen kirişin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- $A_s=2900 \text{ mm}^2$ olduğuna göre taşıyabileceği maksimum yükü (p_d) bulunuz. Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm.



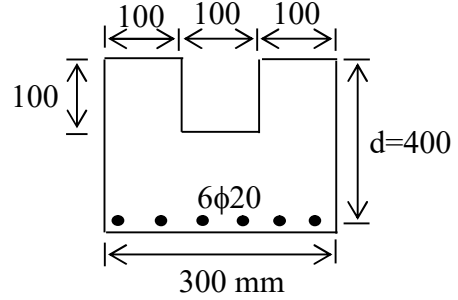
Soru 5



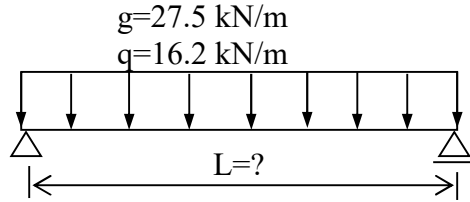
Şekil 3.54

Şekil 3.54'te verilen kirişin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb}) bulunuz.
- $A_s=1885 \text{ mm}^2$ olduğuna göre kesitin taşıma gücü momentini bularak kirişin taşıyabileceği yayılı yükü (p_d) hesaplayınız. Malzeme C25, S420.



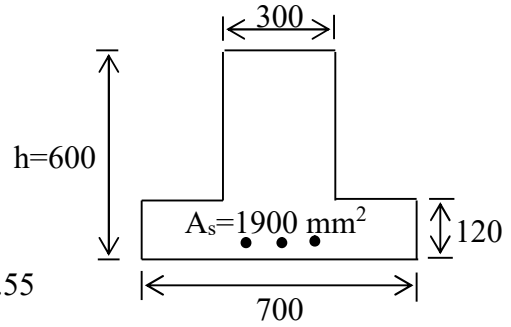
Soru 6



Şekil 3.55

Şekil 3.55'te verilen kirişin;

- Dengeli donatı alanını (A_{sb})
- Kirişin geçebileceği maksimum açıklığı (L) bulunuz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=35 mm.



3.2 Betonarme Kirişlerin Tasarımı

3.2.1 Basit Donatılı Dikdörtgen Kesitler

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

M_d : Gerekli yük katsayıları ile çarpılmış hesap momenti,

K_I : Denklemden veya çizelgeden alınır.

$$K_I = \frac{4.95}{f_{cd}} \quad (3.14)$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} \quad (3.15)$$

(3.15) denklemini ile K hesaplanır. K , K_I ile karşılaştırılır. $K < K_I$ 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 $(\rho - \rho') \leq \rho_1$ tutularak deformasyon koşulu sağlandığı gibi süneklikte artırılmış olur.

3.2.2 Çift Donatılı Dikdörtgen Kirişler

Kirişlerde büyük momentlerin karşılanamadığı durumlarda kesiti büyütmek yerine basınç bölgesini kuvvetlendirmek için çift donatılı kiriş tasarımına gidilebilir. Şekil 3.56'da açıklıkta T kesitli kirişte, basınç bölgesi tablaya rastladığından b genişliğinde tek donatılı dikdörtgen kesit gibi davranır. Yönetmelik gereğince donatının en az 1/3'ü mesnetten mesnete uzatıldığından kiriş kesiti mesnette çift donatılı kesite dönüşür. Bu tür kesitler için;

$$K_o' = \frac{b_w d^2}{M} \text{ değerinin hesaplanması boyutlandırmada yararlı olur. } (K_o' \text{ } K \text{ değeri ile}$$

aynıdır fakat bu değer hesaplanırken basınç donatısı da dikkate alınmıştır).

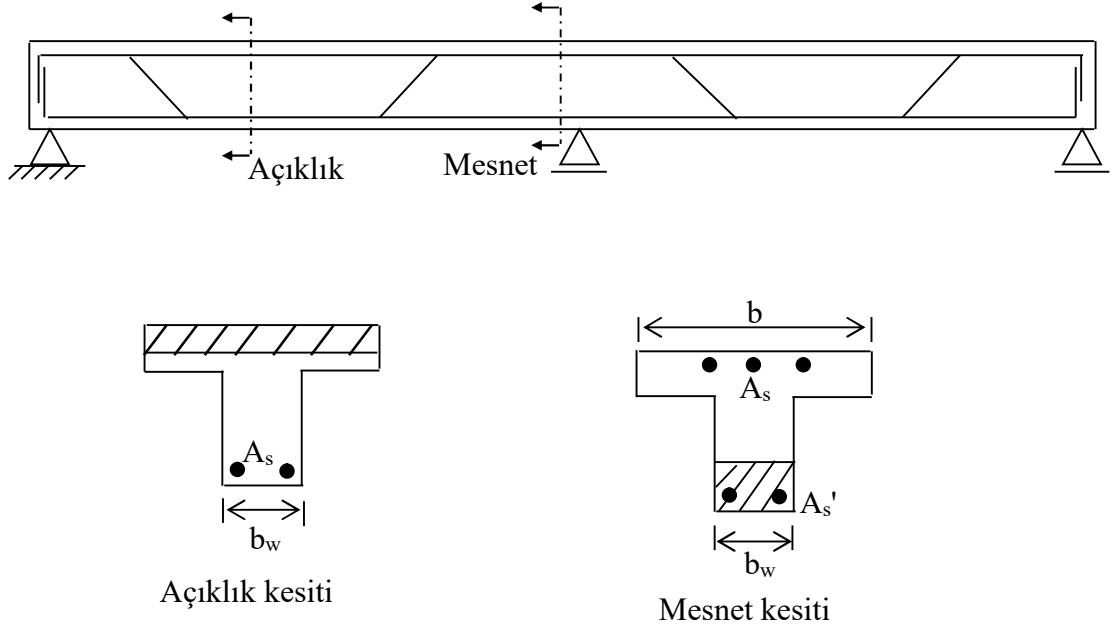
$$\rho' = \frac{1}{3} \rho \text{ ve kesitin deformasyon sınırlaması içinde kaldığı varsayılırsa}$$

$$\rho - \rho' = 0.235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad j = 0.86 \quad \text{buradan} \quad \rho' = 0.117 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ olur.}$$

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

$$K_o' = \frac{8.55}{f_{cd} \left(2.73 - \frac{d'}{d}\right)} \quad (3.16)$$

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



Şekil 3.56 Çift donatılı kiriş

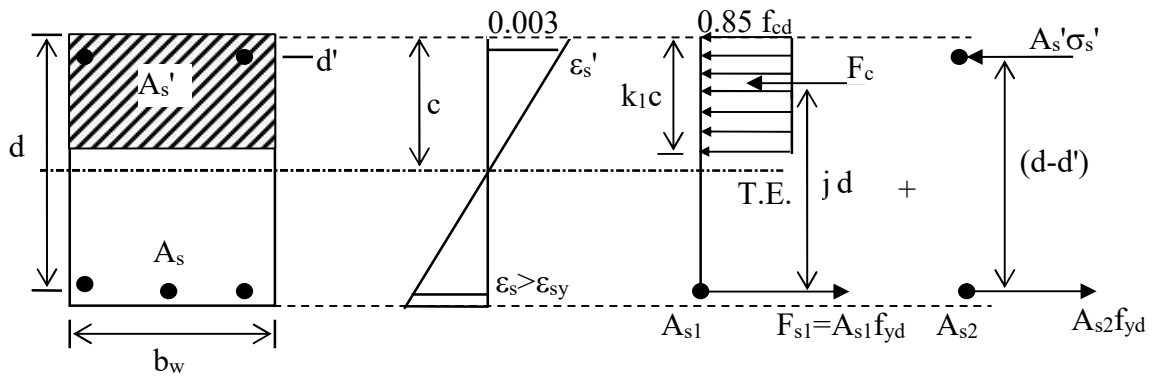
Çift donatılı kesit hesabında iki tür problemle karşılaşılır. Birinci tür problemde moment, kesit geometrisi ve malzeme dayanımları bilinmektedir. Kesitteki çekme ve basınç donatısı (A_s , A_s') istenmektedir. Çözümde;

(i) K hesaplanır ($K = \frac{b_w d^2}{M_d}$)

(ii) K_l bulunur.

(iii) K , K_l ile karşılaştırılır. $K > K_l$ ise basınç donatısına gerek yoktur.

(iv) $K < K_l$ ise basınç donatısı gerekir. Çözümde; $\sigma_s' = f_{yd}$ kabul edilir ve aşağıda anlatıldığı şekilde çift donatılı kesit hesabı yapılarak donatı miktarları belirlenir.



Şekil 3.57 Çift donatılı dikdörtgen kesit ve iç kuvvetler

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

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

İkinci tür problemde ise moment, kesit geometrisi, malzeme dayanımları ve basınç donatısı (A_s') bilinmekte olup çekme donatısı (A_s) istenmektedir. Çözümde;

(i) Basınç donatısının akmış olduğu ($\sigma_s' = f_{yd}$) kabulü yapılarak donatı miktarı aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$(ii) M_2 = A_s' f_{yd} (d - d') \quad A_s' = A_{s2} \text{ ve } M_1 = M_d - M_2$$

$$(iii) A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} J d} \text{ ve } A_s = A_{s1} + A_{s2} = A_{s1} + A_s'$$

Hesaplanan donatılar ile başlangıçta yapılan kabulün doğruluğu kontrol edilir;

$$(iv) \alpha = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} (\rho - \rho') \text{ hesaplanıp } \alpha_c \text{ ile karşılaştırılır.}$$

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

(vi) Eğer $\alpha < \alpha_c$ ise yukarıdaki hesap geçerli değildir. σ_s' uygunluk denkleminde ifade edilerek temel denklemler yardımıyla çözüme gidilir.

3.2.3 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.

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

3.2.4 Mesnette Moment Azaltma

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

$$\Delta M = V_d \left(\frac{a}{2} \right) \quad V_d: \text{Hesap kesme kuvveti}$$

a: Mesnet genişliği

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

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

3.2.5 Kirişler İçin 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.

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

Kiriş mesnetlerindeki alt donatı:

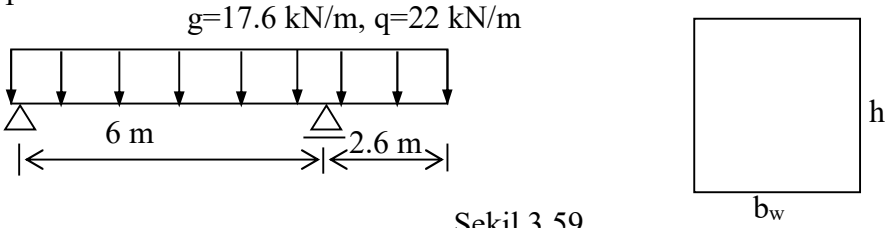
$$\rho_a \geq 0.5\rho_{\bar{u}} \text{ (TDY, I. ve II. derece deprem bölgesinde)}$$

$$\rho_a \geq 0.3\rho_{\bar{u}} \text{ (TDY, III. ve IV. derece deprem bölgesinde).}$$

Kirişlerde boyuna donatı olarak 12 mm den küçük çaplı çubuklar kullanılmamalı, gövde yüksekliği 600 mm den büyük olan kirişlerde en az $A_{sl}=0.001b_wd$ 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 mesnete kadar uzatılıp kenetlenmesi gereklidir.

3.2.6 Örnekler

Örnek 1



Şekil 3.59

Şekil 3.59’da verilen kirişin;

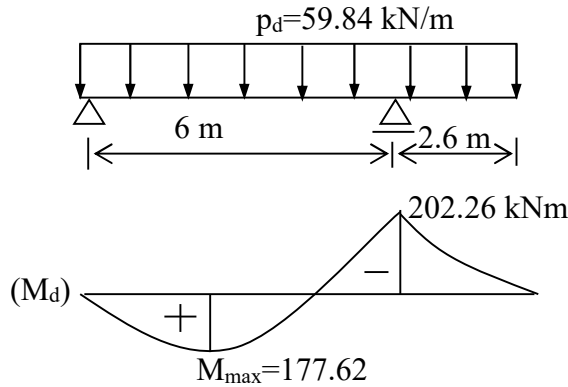
- Ön tasarımını
- $b_w=250$ mm ve $h=500$ mm alarak kesin tasarımını yapınız. Paspayı=50 mm ve malzeme C25, S420.

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.



Şekil 3.60

a) Ön tasarım:

Kesit boyutları belirlenir. Boyutlar belirlenirken maksimum moment esas alınmaktadır.

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

$$b_w d^2 = M_d K_l$$

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

$$b_w d^2 = 58857660$$

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

b) Kesin tasarım:

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

Donatı hesabı:

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

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

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 450^2}{291 \times 10^3} = 285 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$K < K_l$ olduğundan çift donatılı kesite gidilmelidir.

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

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

$$M_2 = M_d - M_1$$

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

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

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

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

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

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

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

$$M_2 = M_d - M_1$$

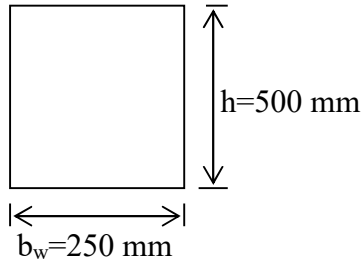
$$M_2 = 202.26 - 173.9 = 28.36 \text{ kNm}$$

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

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

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

Örnek 2



Şekil 3.61’de verilen kiriş $M_d=300$ kNm moment etkisi altındadır. Buna göre kiriş kesitinin boyutlarını kontrol ederek gerekli donatı miktarlarını hesaplayınız. Malzeme C20, S220 ve paspayı=30 mm

Şekil 3.61

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.

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

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

$$M_2 = M_d - M_1$$

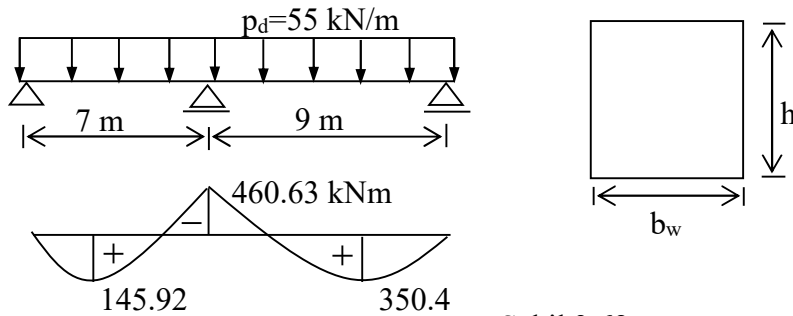
$$M_2 = 300 - 145.3 = 154.7 \text{ kNm}$$

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

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

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

Örnek 3



Şekil 3.62

Şekil 3.62’de verilen sürekli kiriş sabit yükseklikli dikdörtgen kesit olarak tasarılacaktır. Kiriş 55 kN/m lik üniform yüke maruzdur (verilen yük, hesap yüküdür).

- a) Maksimum momentin bulunduğu kesitte $\rho = 0.75\rho_b$ ve $b_w = 350$ mm olarak kesitin faydalı yüksekliğini bulunuz.

- b) Kesit boyutlarını $d=550$ mm, $b_w=350$ mm ve paspayı=50 mm olarak maksimum pozitif ve negatif moment noktalarında gerekli donatı miktarlarını hesaplayınız. Malzeme C25, S420.

Çözüm:

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

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

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

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

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

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

$$d = 535.5 \text{ mm elde edilmektedir. Seçilen boyut } d = 550 \text{ mm}$$

b) $b_w=350$ mm $d=550$ mm

Kesitin boyutlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

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

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

hesabı yapılacaktır).

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

hesabı yapılacaktır).

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

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

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

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

$$M_2 = M_d - M_1$$

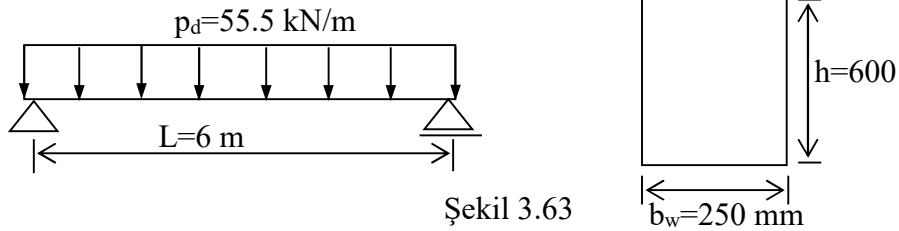
$$M_2 = 460.63 - 363.8 = 96.83 \text{ kNm}$$

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

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

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

Örnek 4



Şekil 3.63’de verilen kiriş kesitinin boyutlarını eğilmeye göre kontrol ederek gerekli donatı miktarını hesaplayınız. Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm.

Çözüm:

$$M_d = \frac{P_d L^2}{8} = \frac{55.5 \times 6^2}{8} = 249.75 \text{ kN m}$$

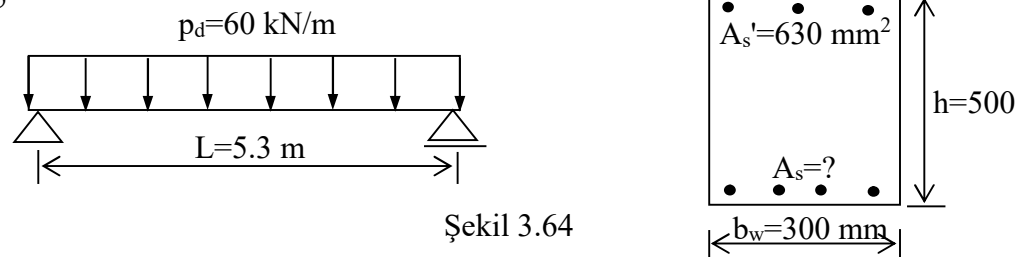
$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = \frac{4.95}{17 \times 10^{-3}} = 291 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 560^2}{249.75 \times 10^3} = 313.91 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$K > K_1$ olduğundan tek donatılı kesit hesabı yapılacaktır.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{249.75 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 560} = 1420.7 \text{ mm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek 5



Şekil 3.64’de 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.

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

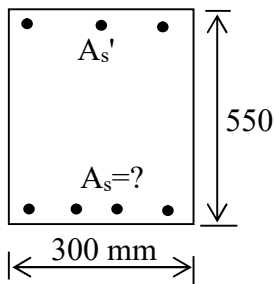
$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = \frac{630}{300 \times 470} = 0.00447 \quad , \text{ donatı indeksi;}$$

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

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

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

Örnek 6



Şekil 3.65’te verilen kesite etki eden hesap momenti $M_d = 250 \text{ kN m}$ olduğuna göre ve konstrüktif nedenlerle basınç donatısı 1200 mm^2 olarak verildiğine göre gerekli çekme donatısını hesaplayınız. Paspayı=50 mm ve malzeme C16, S420.

Şekil 3.65

Çözüm:

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

$$M_2 = A_s' f_{yd} (d - d') = [1200 \times 365 \times (500 - 50)] \times 10^{-6}$$

$$M_2=197.1 \text{ kN m}$$

$$M_1=M_d-M_2=250-197.1$$

$$M_1=52.9 \text{ kN m}$$

$$A_{s1}=\frac{M_1}{f_{yd} j d}=\frac{52.9 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 500}=337.1 \text{ mm}^2$$

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=337.05+1200=1537.1 \text{ mm}^2$$

Başlangıçta kabul edilen basınç donatısının aktığı varsayımının kontrol edilmesi gerekmektedir.

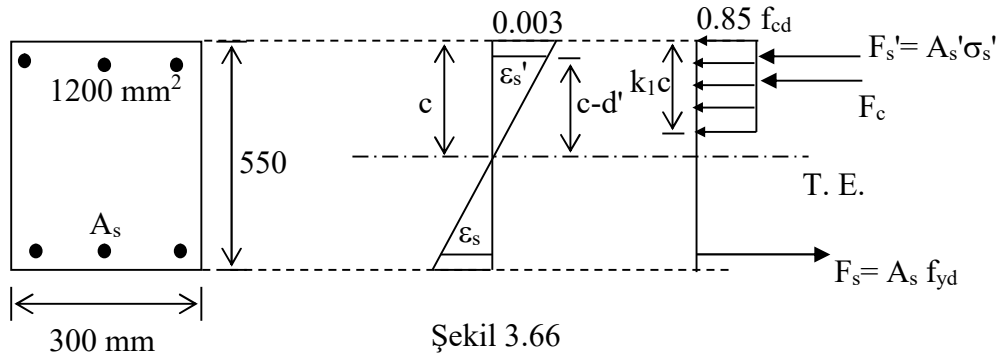
$$\rho=\frac{A_s}{b_w d}=\frac{1537.1}{300 \times 500}=0.0102$$

$$\rho'=\frac{A_s'}{b_w d}=\frac{1200}{300 \times 500}=0.008$$

$$\alpha=(\rho-\rho')\frac{f_{yd}}{f_{cd}}=(0.0102-0.008) \times \frac{365}{11}=0.073$$

$$\alpha_c=0.85 k_1 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{d}=0.85 \times 0.85 \times \frac{600}{(600-365)} \times \frac{50}{500}=0.18$$

$\alpha < \alpha_c$. varsayım geçersizdir. Basınç donatısı taşıma gücü sınır durumunda henüz akmamıştır ($\epsilon_s' < \epsilon_{sy}$). Bu durumda temel denklemlerle çözüme gidilmelidir.



Uygunluk denkleminde;

$$\epsilon_s' = 0.003 \frac{c-d'}{c} \quad \sigma_s' = E_s \epsilon_s' \quad (E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)$$

$$\sigma_s' = 600 \left(\frac{c-d'}{c} \right)$$

$$M = 0.85 f_{cd} k_1 c b \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_s' \sigma_s' (d-d')$$

$$250 \times 10^6 = 0.85 \times 11 \times 0.85 \times c \times (500 - \frac{0.85 \times c}{2}) + 1200 \times 600 \times \left(\frac{c-50}{c} \right) \times (500-50)$$

Denklem c'ye bağlı olarak düzenlendiğinde;

$$c^3 - 1176.47 c^2 - 73028.7 c + 15987368 = 0 \text{ ifadesi elde edilmektedir.}$$

Denklem çözülerek $c=92.4 \text{ mm}$ elde edilmektedir.

$$\sigma_s' = 600 \times \left(\frac{92.4 - 50}{92.4} \right) = 275.3 \text{ N/mm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Kuvvet denge denkleminde;

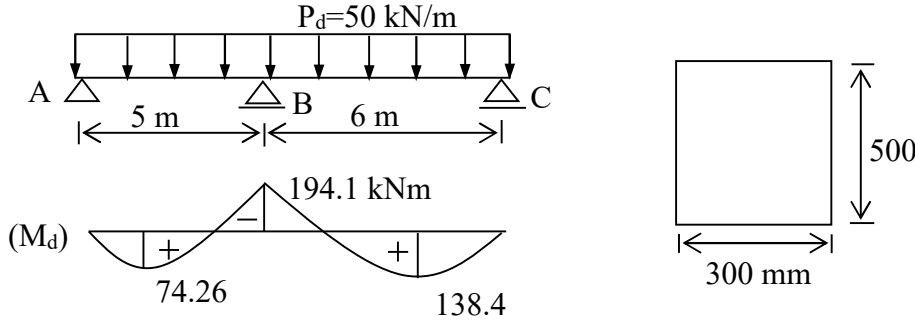
$$F_s = F_c + F_s'$$

$$A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} k_l c b + A_s' \sigma_s'$$

$$A_s \times 365 = 0.85 \times 11 \times 0.85 \times 92.4 \times 300 + 1200 \times 275.3$$

$$A_s = 1508 \text{ mm}^2 \text{ olarak elde edilir.}$$

Örnek 7



Şekil 3.67

Kirişe ait moment diyagramı Şekil 3.67'deki 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.

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

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

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

hesabı yapılacaktır).

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

yapılacaktır).

Donatı hesabı:

$$\text{A-B Açıklığı (+)} M_d = 74.26 \text{ kNm}$$

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

Seçilen donatı: 5φ16 (3φ16 düz+2φ16 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: 6φ20 (3φ20 düz+3φ20 pilye)

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

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

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

$$M_2 = M_d - M_1$$

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

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

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

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

Mesnet bölgesinde açıklıktaki pilyelerin katkısından meydana gelen mevcut donatı bulunmaktadır.

Mevcut donatı:

$$2\phi 12 \text{ Montaj donatısı} : 226 \text{ mm}^2$$

$$2\phi 16 \text{ Pilye (I. açıklıktan gelen)} : 402 \text{ mm}^2$$

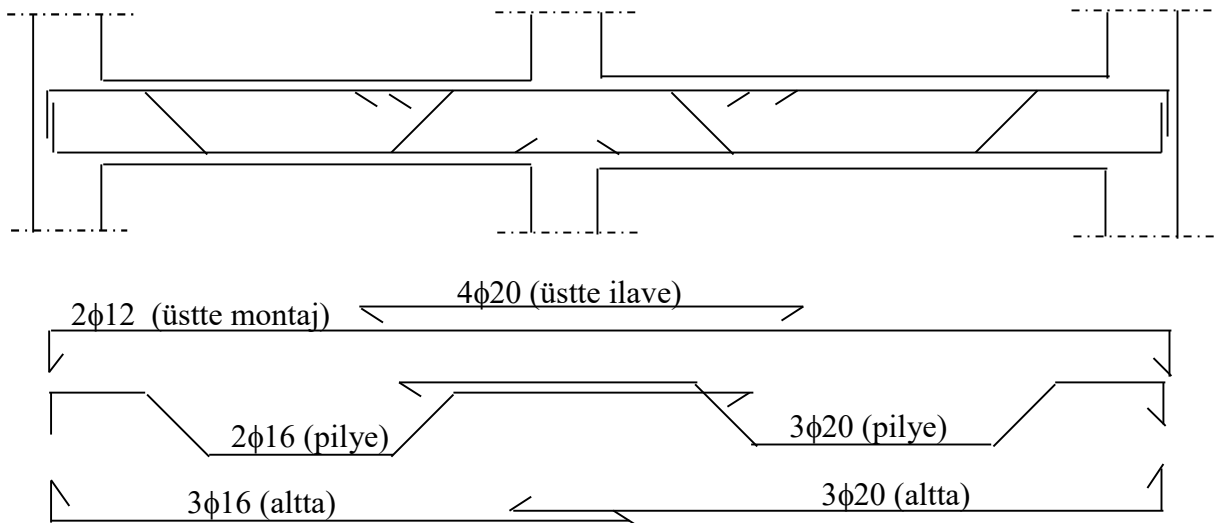
$$3\phi 20 \text{ Pilye (II. açıklıktan gelen)} : \underline{628 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Toplam} : 1256 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Altta } 3\phi 16 = 603 \text{ mm}^2 > 234 \text{ mm}^2 \text{ Ek donatıya gerek yoktur.}$$

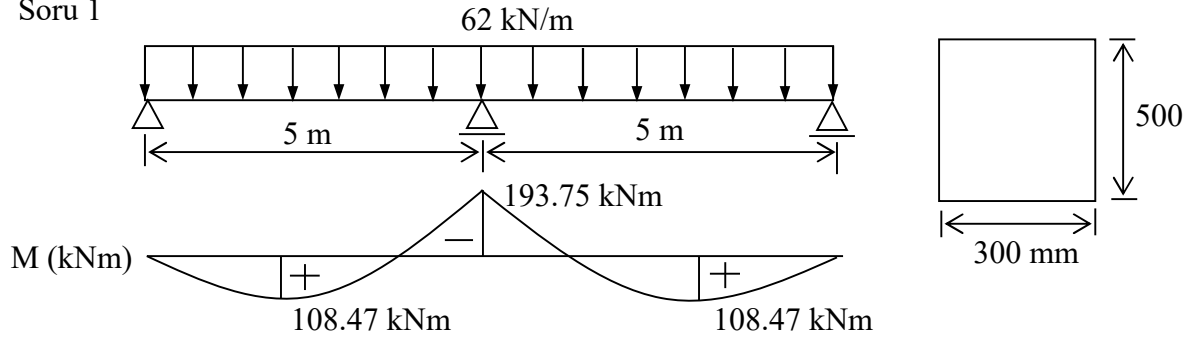
Donatı detayı:



Şekil 3.68

3.2.7 Çalışma Soruları

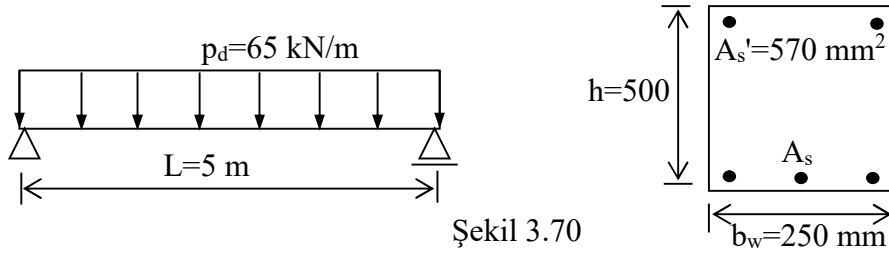
Soru 1



Şekil 3.69

Şekil 3.69’da verilen sürekli kirişin boyutlarını eğilmeye göre kontrol ederek tasarımını yapınız ve donatıyı detaylandırınız. Malzeme C20, S420, paspayı=30 mm.

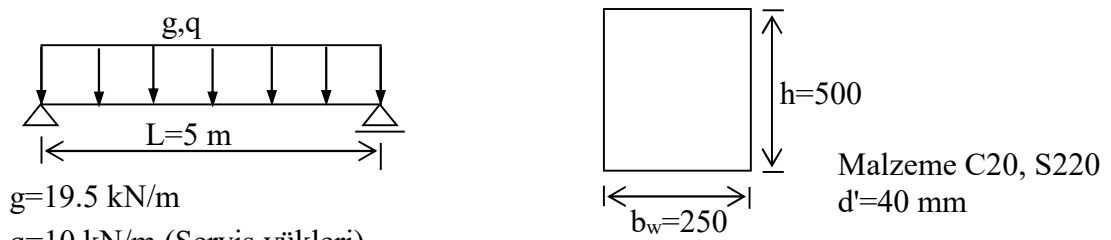
Soru 2



Şekil 3.70

Şekil 3.70’de verilen kirişte konstrüktif nedenlerle basınç donatısı $A_s'=570$ mm² olduğuna göre çekme donatısını (A_s) belirleyiniz. Malzeme C16, S420 ve paspayı=40 mm.

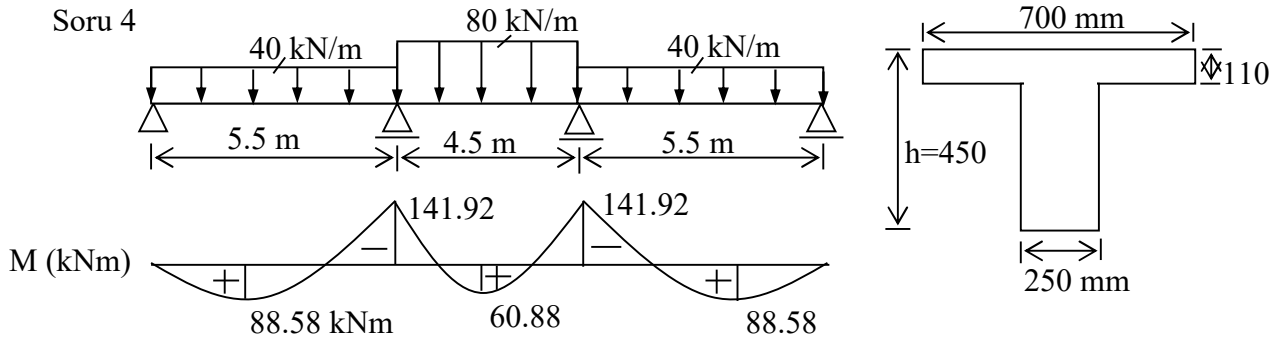
Soru 3



Şekil 3.71

Şekil 3.71’de verilen kiriş kesitinin boyutlarını kontrol ederek gerekli donatı miktarını hesaplayınız ve donatıyı seçerek detaylandırınız.

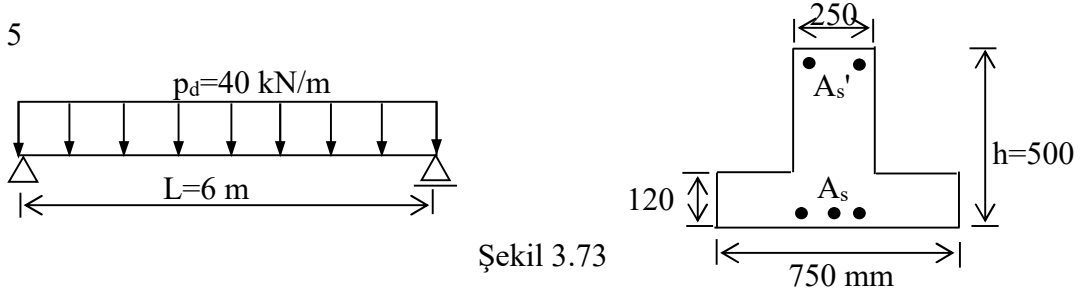
Soru 4



Şekil 3.72

Şekil 3.72’de verilen sürekli kirişin tasarımını yapınız ve donatı şemasını çiziniz. Malzeme C20, S420 ve paspayı=30 mm.

Soru 5



Şekil 3.73

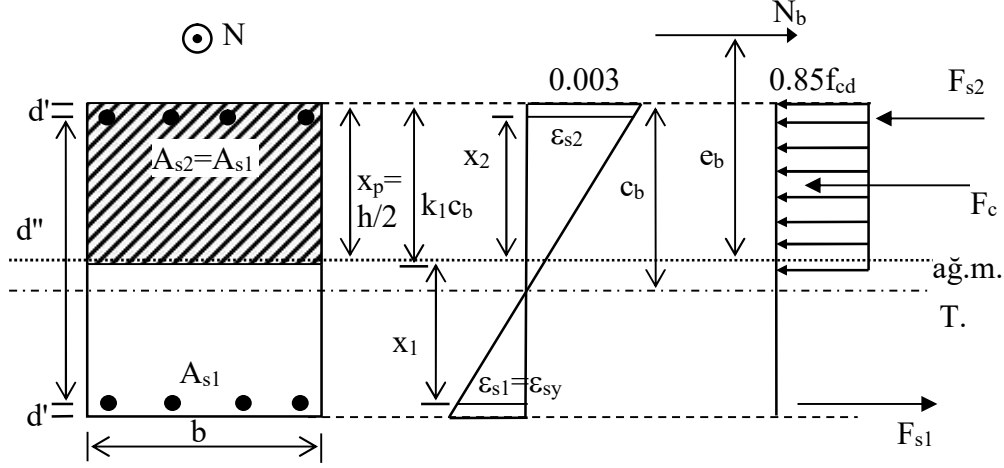
Şekil 3.73’de verilen kirişte konstrüktif nedenlerle $A_s'=900$ mm² olduğuna göre kirişin çekme donatısı alanını (A_s) bulunuz. Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm.

4 BİLEŞİK EĞİLME – EKSENEL BASINÇ VE EĞİLME ALTINDAKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

4.1 Bileşik Eğilme Altındaki Elemanların Taşıma Gücü

4.1.1 İki Yüzü Donatılı Dikdörtgen Kesitler

4.1.1.1 Dengeli Durum



Şekil 4.1 İki yüzü donatılı dikdörtgen kesit dengeli durum

$$x_2 = -x_1 = d''/2$$

Birim deformasyon dağılımından;

$$c_b = 0.003 \frac{d}{0.003 + \epsilon_{sy}} \quad \sigma_{s1} = -f_{yd} \quad , \quad \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$x_p = h/2$ ve $A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{st}}{2}$ değerleri denklemlerde yerine konularak N ve M hesaplanır.

$$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b + A_{s2} f_{yd} - A_{s1} f_{yd} \quad (4.1)$$

$N_b = 0.85 f_{cd} k_1 c_b b$, bu değer moment ifadesinde yerine konur;

Kesit ağırlık merkezine göre moment;

$$M_b = N_b \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c_b}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} f_{yd} (d - d')$$

$$M_b = N_b \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c_b}{2} \right) + \left(\frac{A_{st}}{2} f_{yd} \frac{d''}{2} \right) 2 \quad (4.2)$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} \text{ alınırsa, } c_b = \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_{yd}} d$$

4.1.1.2 Çekme Kırılması

Tanım gereği:

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

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

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

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

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

Sınır durumda basınç donatısındaki birim kısalma ϵ_{sy} değerine ulaşacaktır ($\epsilon_{s2} = \epsilon_{sy}$).

Tanım gereği çekme donatısı akmış olacağından $\sigma_{s2} = -\sigma_{s1} = f_{yd}$

Benzer üçgenlerden uygunluk denklemi;

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

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

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

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

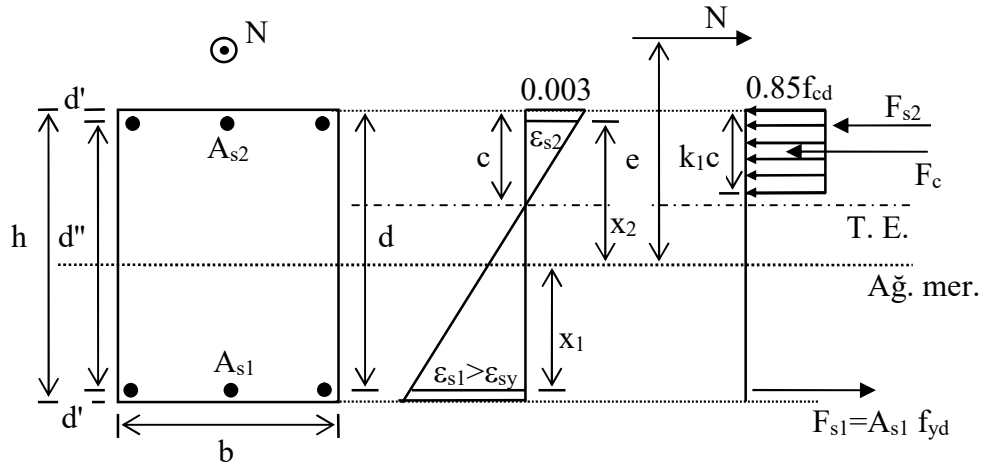
$\sigma_{s2} = -\sigma_{s1} = f_{yd}$ ve c nin değeri yerine konursa;

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

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

$$\psi_c = \frac{N}{b h f_{cd}} = 0.72 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \left(\frac{d'}{h} \right), \quad (4.3)$$

hesaplanan ψ değeri ψ_c den büyükse basınç donatısı akar.



Şekil 4.2 İki yüzü donatılı dikdörtgen kesit çekme kırılması

Yukarıda verilen değerler denklem (4.4)'te yerine konursa;

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + A_{s2} f_{yd} - A_{s1} f_{yd} \quad (4.4)$$

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b \quad (4.5)$$

elde edilir.

Kesit ağırlık merkezine göre moment;

$$M=N e=0.85 f_{cd} k_1 c b \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} x_i \quad (4.6)$$

$$M=N \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} f_{yd} d'' , \quad (4.7)$$

ifadesi bulunur.

Eksenel yükün çok düşük düzeyde olduğu durumlarda,

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

uygunluk denklemi yardımıyla σ_{si} değerlerini bulmak gerekir.

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

$$\sigma_{s2} = 0.003 E_s \left(1 - \frac{d'}{c} \right) \quad (4.8)$$

Basınç donatısının akmadığı durumlara çok az rastlanır.

4.1.1.3 Basınç Kırılması

Tanım gereği:

- 1) $\epsilon_{s2} > \epsilon_{sy} \quad \sigma_{s2} = f_{yd}$
- 2) $\epsilon_{s1} < -\epsilon_{sy} \quad \sigma_{s1} < -f_{yd} \quad (\text{veya } \sigma_{s1} \leq f_{yd})$
- 3) $A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{st}}{2}$
- 4) $x_p = \frac{h}{2}$ ve $x_2 = -x_1 = d''/2$, Bu değerler denklemlerde yerine konursa;

$$N = 0.85 f_{cd} k_1 c b + \frac{A_{st}}{2} (f_{yd} + \sigma_{s1}) \quad (4.9)$$

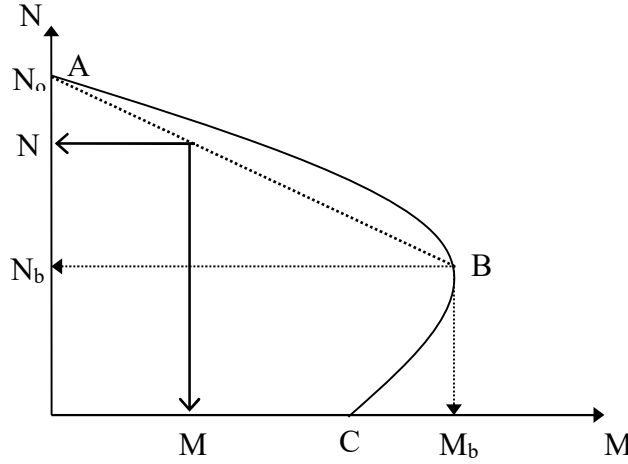
Kesit ağırlık merkezine göre moment;

$$M = N e = 0.85 f_{cd} k_1 c b \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + \frac{A_{st}}{2} (f_{yd} - \sigma_{s1}) \left(\frac{d''}{2} \right) \quad (4.10)$$

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

$$\sigma_{sl}=0.003 E_s \left(1-\frac{d}{c}\right) \quad (4.11)$$

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



Şekil 4.3 Karşılıklı etki diyagramı

A-B eğrisi düz bir doğru ile değiştirildikten sonra benzer üçgenlerden (Şekil 4.3);

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

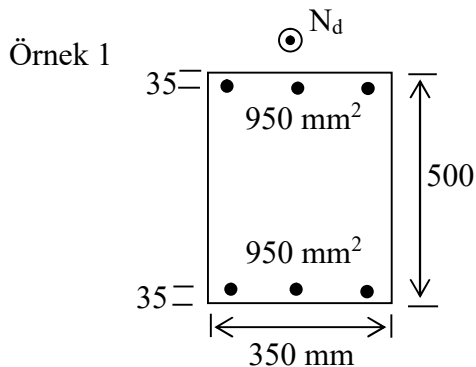
$$N = N_o - \frac{M}{M_b} (N_o - N_b), \text{ buradaki momentler (N e) olarak ifade edilebilir.}$$

$$N = N_o - \frac{N e}{N_b e_b} (N_o - N_b) = \frac{N_o}{1 + \frac{e}{e_b} \left(\frac{N_o}{N_b} - 1 \right)} \quad (4.12)$$

olarak eksenel kuvvet ifadesi elde edilir.

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

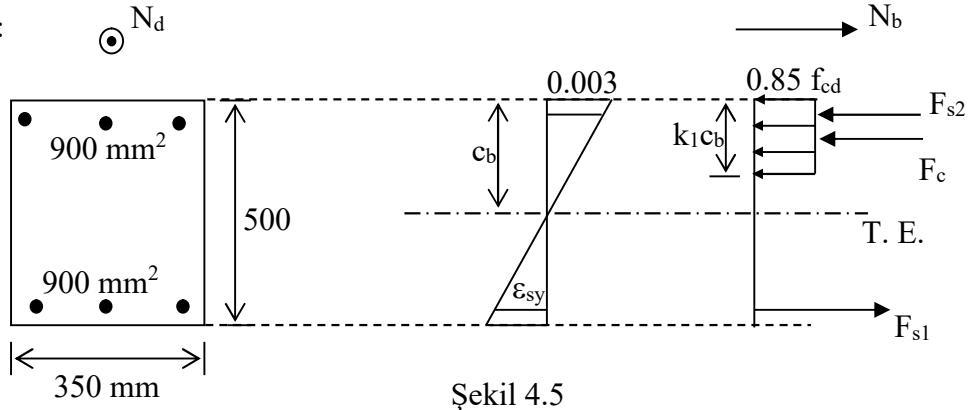
4.1.2 Örnekler



$N_d=400$ kN olduğuna göre Şekil 4.4'te verilen kolon kesitinin güvenle taşıyacağı momenti hesaplayınız. Malzeme C20, S420.

Şekil 4.4

Çözüm:



Şekil 4.5

Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir;

Dengeli durumda;

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

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

Kesitteki donatı simetrik olduğundan;

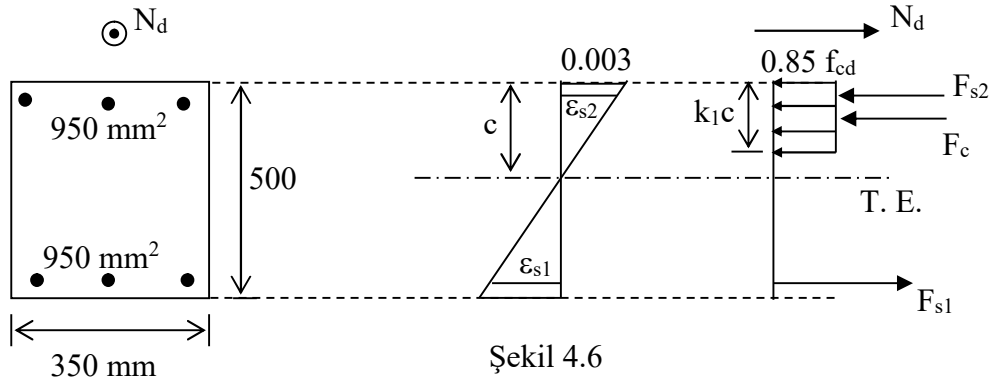
$$N_b = F_c + F_{s2} - F_{s1}$$

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

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

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

$N_d < N_b$ olduğundan çekme kırılması oluşmaktadır.



Şekil 4.6

Tanım gereği;

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

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

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

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

Tarafsız eksen derinliği kuvvet denge denkleminde elde edilir.

$$N = F_c$$

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

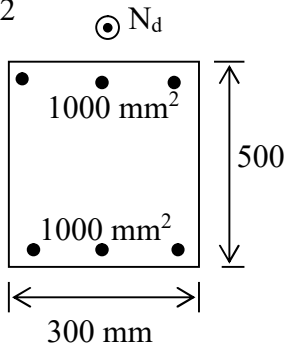
$c = 121.67$ mm elde edilir. Kesit ağırlık merkezine göre moment alınır;

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

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

$$M_r = 228.4 \text{ kNm elde edilir.}$$

Örnek 2



Şekil 4.7’de verilen kolona $N_d = 1250$ kN eksenel kuvvet etki etmektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği momenti hesaplayınız. Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm.

Şekil 4.7

Çözüm:

Öncelikle kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekir.

Dengeli durumda (Şekil 4.1);

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

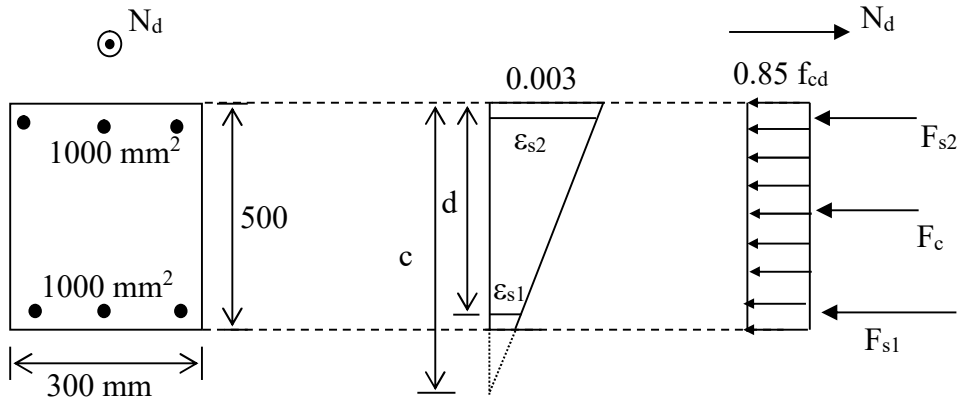
Kesit simetrik donatılı olduğundan;

$$N_b = F_{cb}$$

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

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

Basınç kırılması durumunda en genel anlamda, tarafsız eksenin kesit dışında oluştuğu varsayılırsa, birim deformasyon dağılımı ve iç kuvvetler Şekil 4.8’de görüldüğü gibi meydana gelir.



Şekil 4.8

Uygunluk denkleminde;

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

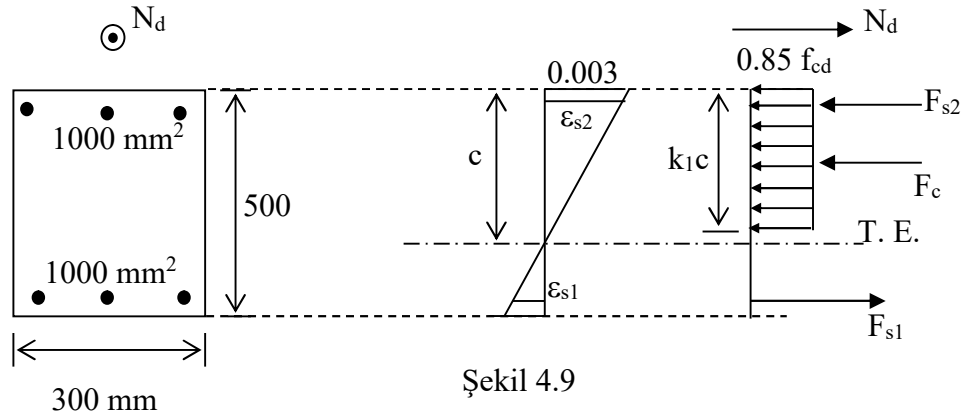
Kuvvet denge denkleminde;

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

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

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

düzenlendiğinde, $c^2 - 101.144c - 97950.5 = 0$ formunu alır. İkinci derece denklemin çözümünden; $c = 367.6$ mm bulunur. Yani tarafsız eksen kesitin içinde kalmaktadır. Bu durumda $\sigma_{s1} = -150.82$ N/mm² elde edilir. Gerilmenin negatif çıkması, alt donatının çekme olduğunu göstermektedir. Birim deformasyon dağılımı yeniden oluşturulacak olursa;



Şekil 4.9

Kesit ağırlık merkezine göre moment;

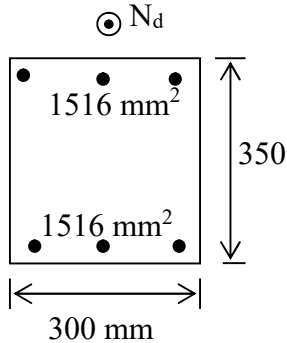
$$M_r = F_c \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_{s2} f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_{s1} \sigma_{s1} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_r = [0.85 \times 13 \times 0.85 \times 367.6 \times (250 - \frac{0.85 \times 367.6}{2}) + 1000 \times 365 \times (250 - 40) + 1000 \times 150.82 \times$$

$$(250 - 40)] \times 10^{-6}$$

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

Örnek 3



Şekil 4.10

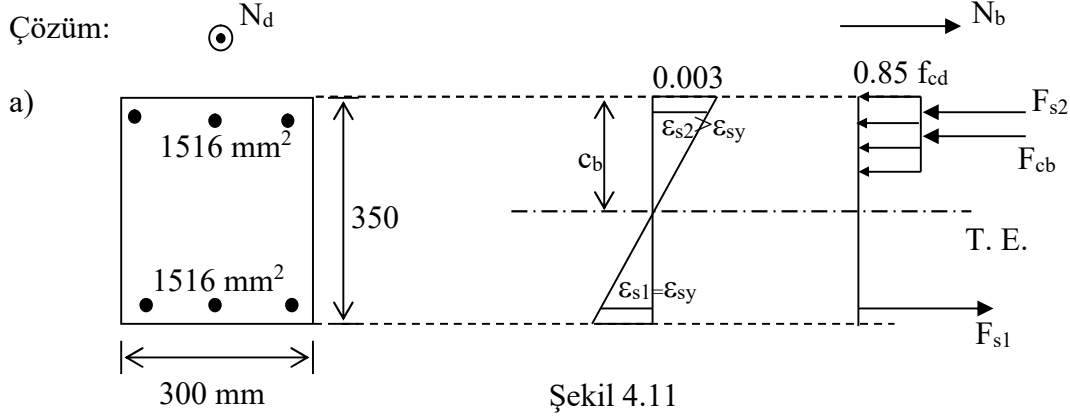
Şekil 4.10'da verilen kolonun $e = 130$ mm eksantrisite ile taşıyabileceği aksel yükün hesap değerini

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

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

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

Çözüm:



Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir; Dengeli durumda (Şekil 4.11);

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

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

Kesit simetrik donatılı olduğundan;

$$N_b = F_{cb}$$

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

İç kuvvetlerin momentinden dengeli moment değeri;

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

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

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

Bu durumda $\sigma_{s2} = f_{yd}$ ve $\sigma_{s1} = 600 \left(\frac{c - d}{c} \right)$, Tüm kuvvetler basınç olarak düşünülmüştür (Bkz. Şekil 4.8).

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

Kuvvet denge denklemi yazılırsa;

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

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

İç kuvvetlerin momenti yazılırsa;

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

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

eşitlikleri elde edilir. Bu iki denklemin eşitlenmesinden;

$$\begin{aligned} & 0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300 \times \left(175 - \frac{0.85 c}{2} \right) + 1516 \times 365 \times (175 - 45) - 1516 \times 600 \times \left(\frac{c - 305}{c} \right) \times (175 - 45) \\ & = \left[0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300 + 1516 \times 365 + 1500 \times 600 \times \left(\frac{c - 305}{c} \right) \right] \times 130 \end{aligned}$$

c parametresine bağlı aşağıdaki ifade elde edilir.

$c^3 - 105.88 c^2 + 151019.16 c - 46053639.85 = 0$ Bu denklemin çözümünden $c = 247.5 \text{ mm}$ bulunmaktadır.

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

b)

$c = 247.5 \text{ mm}$ için

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

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

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

c)

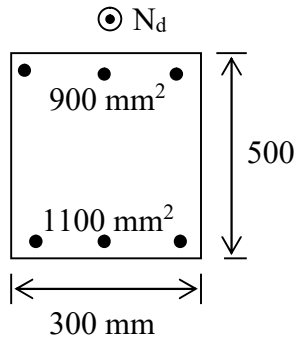
$$N_o = 0.85 f_{cd} A_c + A_{st} f_{yd}$$

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

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

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

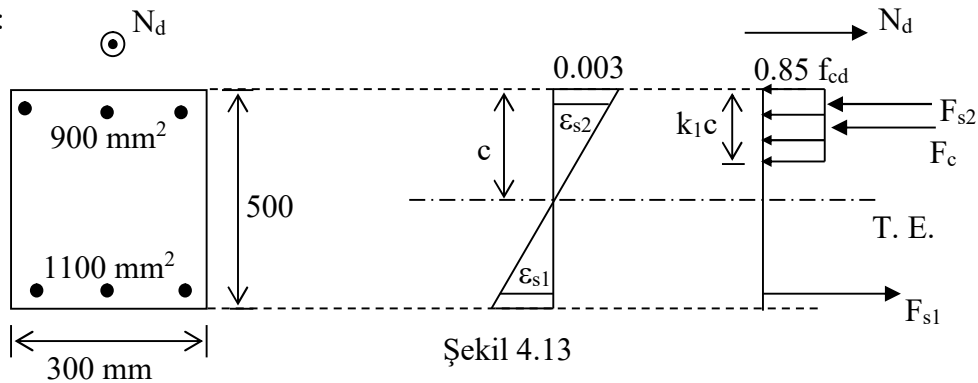
Örnek 4



Şekil 4.12’de verilen kolon $N_d = 825 \text{ kN}$ eksenel yüke maruz kaldığına göre kolon kesitinin taşıma gücü momentini bulunuz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

Şekil 4.12

Çözüm:



Şekil 4.13

Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir; Dengeli durumda (Şekil 4.1);

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

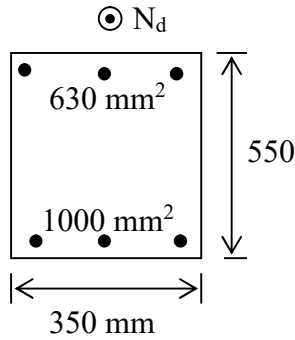
$$c = 243.7 \text{ mm elde edilir.}$$

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

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

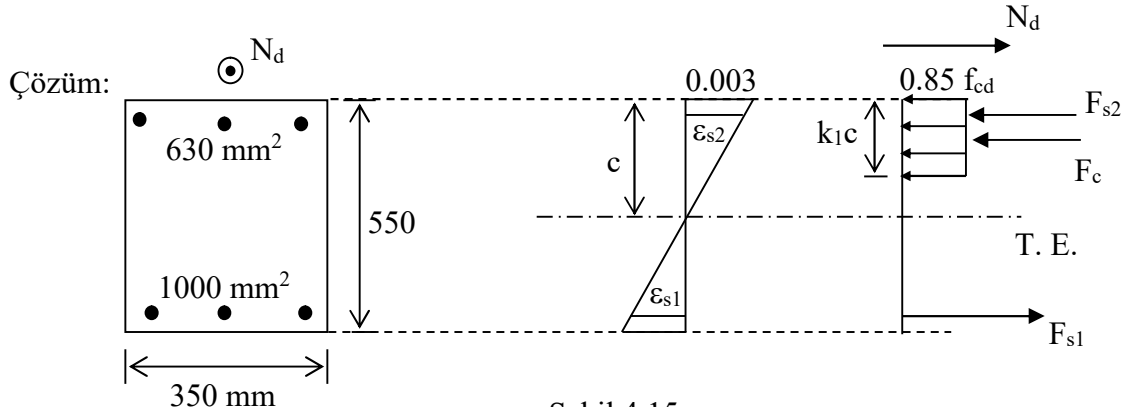
$$M_r = 277.5 \text{ kNm elde edilir.}$$

Örnek 5



Şekil 4.14'te verilen kolona etki eden eksenel yük, $N_d = 750 \text{ kN}$ olduğuna göre kolonun güvenle taşıyabileceği momenti bulunuz. Malzeme C20, S420 ve paspayı=50 mm

Şekil 4.14



Şekil 4.15

Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir;

Dengeli durumda;

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

$$\frac{c_b}{500 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 310.6 \text{ mm bulunur.}$$

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

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

$$N_b = (0.85 \times 13 \times 0.85 \times 310.6 \times 350 + 630 \times 365 - 1000 \times 365) \times 10^{-3}$$

$$N_b = 886 \text{ kN}$$

$N_d < N_b$ olduğundan çekme kırılması oluşmaktadır (Şekil 4.15).

Tanım gereği;

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

$$\psi = \frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{750 \times 10^3}{350 \times 550 \times 13} = 0.3$$

$$\psi_c = 0.72 \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_{yd}} \frac{d'}{h} = 0.72 \times \frac{600}{(600 - 365)} \times \frac{50}{550} = 0.167$$

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

Tarafsız eksen derinliği kuvvet denge denkleminde elde edilir.

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

$$750 \times 10^3 = 0.85 \times 13 \times 0.85 \times c \times 350 + 630 \times 365 - 1000 \times 365$$

$c = 269.2 \text{ mm}$ elde edilir.

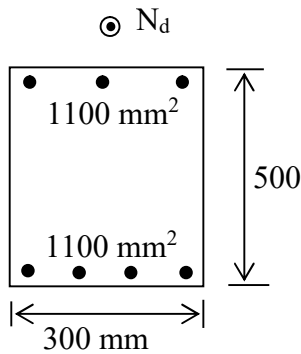
$$M_r = F_c \left(\frac{h}{2} - \frac{k_1 c}{2} \right) + A_{s2} f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_{s1} f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_r = [0.85 \times 13 \times 0.85 \times 269.2 \times 350 \times (275 - \frac{0.85 \times 269.2}{2}) + 630 \times 365 \times (275 - 50) + 1000 \times 365 \times$$

$$(275 - 50)] \times 10^{-6}$$

$M_r = 276 \text{ kNm}$ elde edilir.

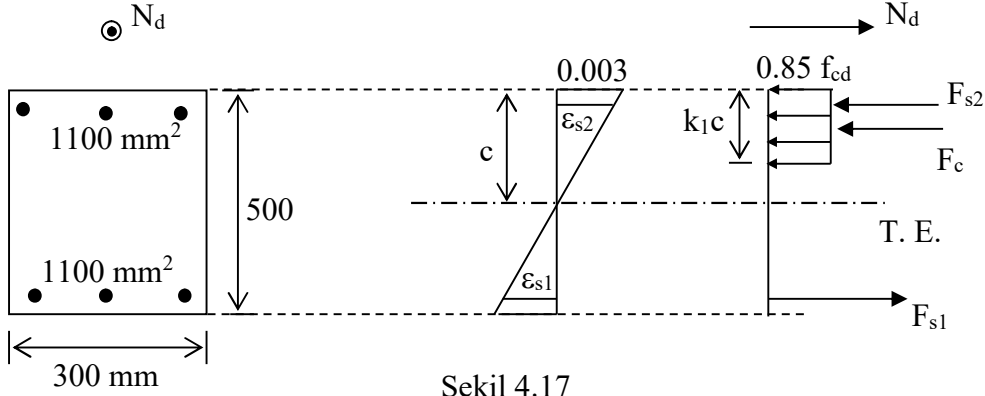
Örnek 6



$N_d = 825 \text{ kN}$ olduğuna göre Şekil 4.16'da verilen kolon kesitinin taşıma gücü momentini bulunuz. Malzeme C25, S420 paspayı=50 mm.

Şekil 4.16

Çözüm:



Şekil 4.17

Kolonun kırılma biçiminin belirlenmesi gerekmektedir;

Dengeli durumda;

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

$$\frac{c_b}{450 - c_b} = \frac{0.003}{0.001825} \quad c_b = 279.8 \text{ mm bulunur.}$$

Kesitteki donatı simetrik olduğundan;

$$N_b = F_c$$

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

$$N_b = (0.85 \times 17 \times 0.85 \times 279.8 \times 300) \times 10^{-3}$$

$$N_b = 1031 \text{ kN}$$

$N_d < N_b$ olduğundan çekme kırılması oluşmaktadır.

Tanım gereği;

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

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

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

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

Tarafsız eksen derinliği kuvvet denge denkleminde elde edilir.

$$N = F_c + F_{s2} - F_{s1} \quad (F_{s2} = F_{s1}, \text{ simetrik donatılı});$$

$$825 \times 10^3 = 0.85 \times 17 \times 0.85 \times c \times 300$$

$$c = 223.9 \text{ mm elde edilir.}$$

Kesit ağırlık merkezine göre moment alınır;

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

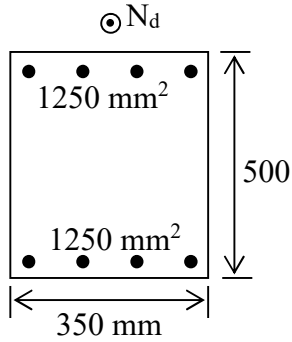
$$M_r = [0.85 \times 17 \times 0.85 \times 223.9 \times 300 \times (250 - \frac{0.85 \times 223.9}{2}) + 1100 \times 365 \times (250 - 50) + 1100 \times 365 \times$$

$$(250 - 50)] \times 10^{-6}$$

$$M_r = 288.3 \text{ kNm elde edilir.}$$

4.1.3 Çalışma Soruları

Soru 1

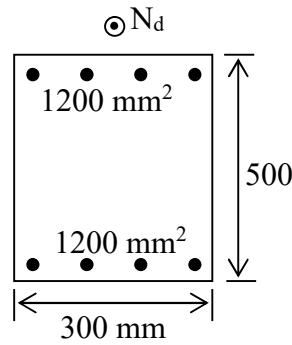


Şekil 4.18’de verilen kolon kesitine $N_d=1200$ kN eksenel kuvvet etki etmektedir. Kolonun taşıma gücü momentini bulunuz.

Malzeme C20, S420, paspayı=40 mm.

Şekil 4.18

Soru 2

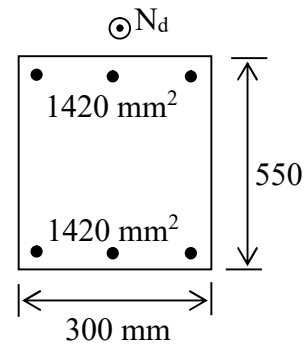


Şekil 4.19’da verilen kolon kesitine $N_d=850$ kN eksenel kuvvet etki etmektedir. Kolonun taşıma gücü momentini bulunuz.

Malzeme C25, S420, paspayı=50 mm.

Şekil 4.19

Soru 3



Şekil 4.20’de verilen kolona $N_d=1800$ kN eksenel kuvvet etki etmektedir. Buna göre,

a) Denge denklemlerini kullanarak

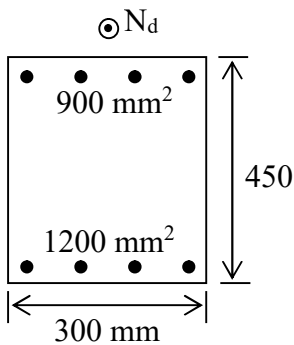
b) $N=N_o - \frac{M}{M_b} (N_o - N_b)$ ifadesini kullanarak taşıma

gücü momentini bulunuz.

Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm

Şekil 4.20

Soru 4



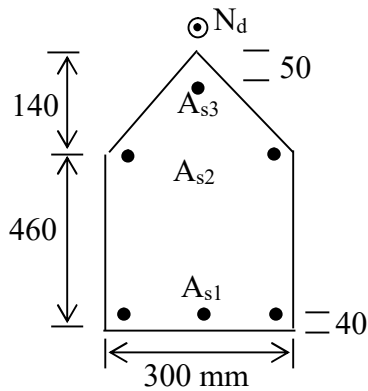
Şekil 4.21’de verilen kolon;

a) $N_d=750$ kN

b) $N_d=500$ kN eksenel kuvvete maruz kaldığına göre taşıma gücü momentlerini bulunuz.

Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm

Şekil 4.21



Şekil 4.22’de verilen kolona $N_d=1150$ kN eksenel kuvvet etki etmesi durumunda kolonun;

a) N_b , N_o ve M_b değerlerini hesaplayınız.

b) $N=N_o - \frac{M}{M_b}(N_o - N_b)$ denklemini kullanarak taşıma

gücü momentini bulunuz. Malzeme C25, S420.

$$A_{s1}=1245 \text{ mm}^2, A_{s2}=830 \text{ mm}^2 \text{ ve } A_{s3}=415 \text{ mm}^2.$$

Şekil 4.22

4.2 Eğik Eğilme ve Eksenel Basınç Taşıyan Elemanların Taşıma Gücü

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

4.2.1 Bresler Yöntemi

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

$$\frac{1}{N_r} = \frac{1}{N_{rv}} + \frac{1}{N_{rz}} - \frac{1}{N_o} \quad (4.13)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Burada;

N_R : İki yönlü eğilme altındaki kesitin eksenel yük kapasitesi.

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

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

N₀: Eksenel basınç altındaki kesitin taşıma gücü ($e_y = e_z = 0$).

4.2.2 İngiliz Betonarme Yönetmeliği (CPIIO)

İngiliz yönetmeliğinde, iki eksenli eğilme momentine maruz kolonlar için ifade edilen denklem, Bresler yönteminde verilen denklemin temellerine dayanmaktadır.

$$\left(\frac{M_{\text{xyd}}}{M_{\text{ov}}}\right)^{\alpha_n} + \left(\frac{M_{\text{xzd}}}{M_{\text{oz}}}\right)^{\alpha_n} \leq 1 \quad (4.14)$$

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

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

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

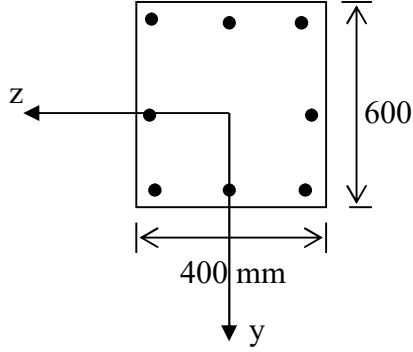
M_{oz} : N_d eksenel yükünün ve yalnızca M_{xzd} momentinin etkisindeki kesitin taşıma gücü ($e_z=0$).

α_n : 1.0 ile 2.0 arasında değişen katsayı olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\alpha_n = 0.67 + 1.67 \frac{N}{N_o} \quad (4.15)$$

4.2.3 Örnekler

Örnek 1



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

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

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

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

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

Şekil 4.23

Çözüm:

Bresler kontrolü:

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

Taşıma gücü:

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

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

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

Uygun abaktan;

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

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

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

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

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

yükleri taşıyamaz.

CPIIO:

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

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

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

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

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

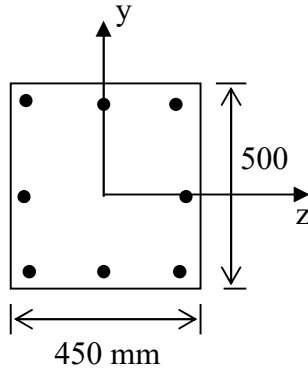
$$\frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}} = 0.125 \text{ okunur. } M_{oz} = (0.125 \times 400 \times 600^2 \times 13) \times 10^{-6} = 234 \text{ kNm bulunur.}$$

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

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

taşıyamaz.

Örnek 2



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

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

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

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

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

Şekil 4.24

Çözüm:

Bresler kontrolü:

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

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

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

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

Uygun abaktan;

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

bulunur.

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

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

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

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

Kesit bu yükleri güvenle taşıyamaz.

CPIIO:

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

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

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

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

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

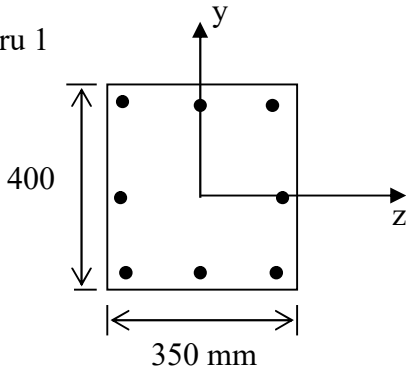
$$\frac{M_{oz}}{b h^2 f_{cd}} = 0.14 \text{ okunur. } M_{oz} = (0.14 \times 450 \times 500^2 \times 13) \times 10^{-6} = 204.75 \text{ kNm bulunur.}$$

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

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

4.2.4 Çalışma Soruları

Soru 1



Şekil 4.25’de verilen kolonda;

$$N_d = 1500 \text{ kN},$$

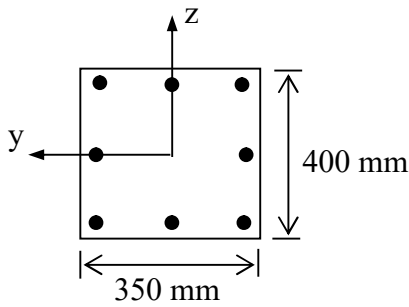
$$M_{xyd} = 115 \text{ kNm}$$

$$M_{xzd} = 140 \text{ kNm ve}$$

$N_o = 1.5 N_d$ olacak şekilde Bresler ve CPIIO yöntemlerine göre güvenlik kontrolünü yapınız. Malzeme C20, S420 ve paspayı=35 mm.

Şekil 4.25

Soru 2



$$N_d = 1300 \text{ kN}$$

$$M_{xyd} = 140 \text{ kNm}$$

$$M_{xzd} = 120 \text{ kNm}$$

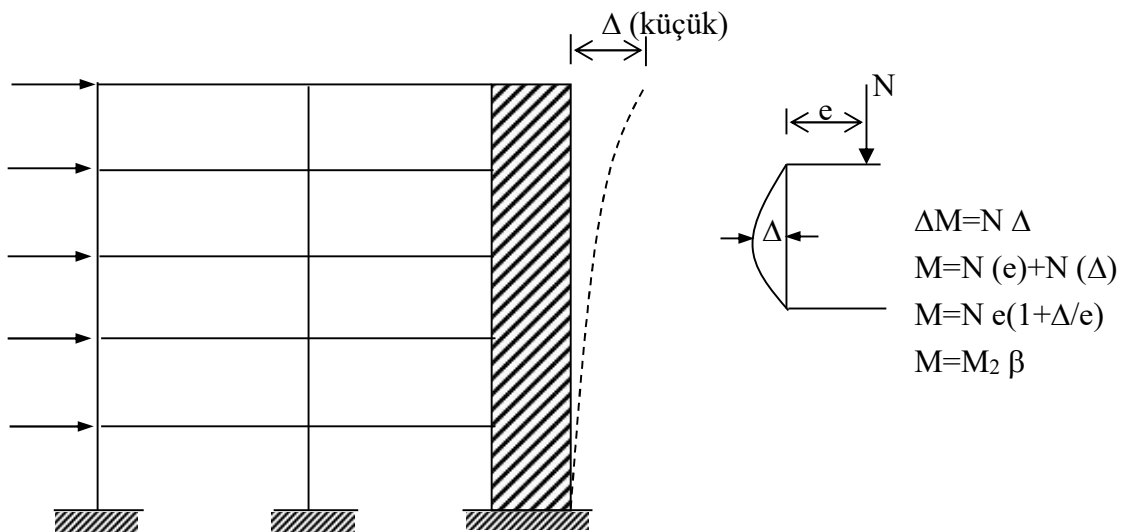
$$A_{st} = 8\phi 18, \text{ Malzeme C20, S420 ve paspayı} = 35 \text{ mm}$$

Kolonun Bresler ve CPIIO yöntemleri ile güvenlik kontrolünü yapınız.

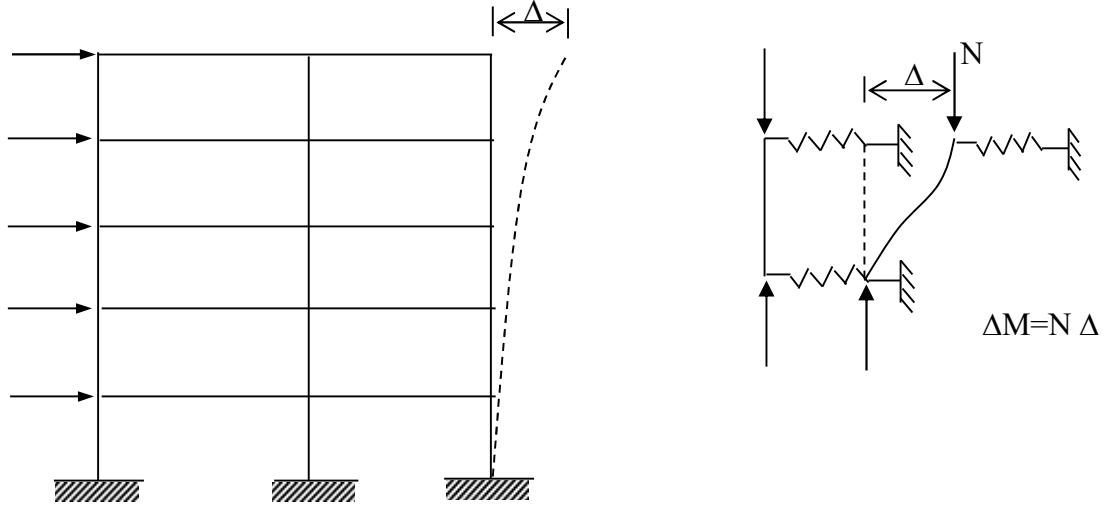
Şekil 4.26

4.3 Narinlik Etkisi

Yapılarda tüm kolonlar eğilme momenti taşırlar ve bu momentler kolonda eğrilik oluşturur. Eğrilik kolonun iki ucu arasında deplasman yapmasına neden olur. Bazan bu deplasmanlar yanal ötelenmeye bağlı olarakta (görel olarak) meydana gelebilirler. Bu deplasmanlar sonuç olarak eksantrisiteyi artırır ve momenti büyötmüş olur.



Şekil 4.27 Yanal deplasmanı önlenmiş çerçeve



Şekil 4.28 Yanal deplasmanı önlenmemiş çerçeve

4.3.1 Genel Yöntem

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

$$(l_k/i) \leq 100 \quad (4.16)$$

4.3.2 Yaklaşık Yöntem (Moment Büyütme Yöntemi)

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

(a) Yanal Öteleme Ölçütü:

Yapı sistemi içinde yatay kuvvetlere karşı yeterli rijitlik taşıyan perde, duvar ya da benzeri elemanlar varsa yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu varsayılabilir. Doğrusal malzeme davranışı varsayımı ile yatay ve düşey yükler altında yapılan ikinci mertebe yapısal çözümlemelerden elde edilen kolon uç momentlerinin aynı varsayımlar ve yükler altında yapılan birinci mertebe çözümlemesinden elde edilen kolon uç momentlerinden en çok %5 kadar farklı olduğu durumlarda yanal ötelenmenin önlenmiş olduğu kabul edilebilir.

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

$$\phi = 1.5 \Delta_i \frac{\sum N_d / l_i}{V_{fi}} \leq 0.05 \quad (4.17)$$

Bu hesaplarda çatlamamış kesit varsayımı ve

$$F_d = 1.0G + 1.0Q + 1.0E \quad (4.18)$$

$$F_d = 1.0G + 1.3Q + 1.3W \quad (4.19)$$

yük bileşimlerinden bulunan değerlerden elverişsiz olanı temel alınır.

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

Δ_i : i. kattaki göreceli kat öteleme

(b) Kolon Etkili Boyu:

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

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

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

a) Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonları için:

$$k = 0.7 + 0.05 (\alpha_1 + \alpha_2) \quad \text{ancak,}$$

$$k \leq (0.85 + 0.05 \alpha_1) \quad (4.20)$$

$$k \leq 1.0$$

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

b) Yanal ötelenmesi önlenmemiş kat kolonları için:

$$\alpha_m < 2 \text{ ise, } k = \frac{20 - \alpha_m}{20} \sqrt{1 + \alpha_m} \quad (4.21)$$

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

Bir ucu mafsallı olan yanal ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda, $k=2+0.3 \alpha_2$ alınır.

$$\alpha_{1,2} = \frac{\sum (I/l)_{\text{kolon}}}{\sum (I/l)_{\text{kiriş}}} ; \quad \alpha_m = 0.5 (\alpha_1 + \alpha_2) \quad (4.22)$$

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

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

Kolon atalet momenti gross kesit atalet momenti olarak hesaplanır. Kiriş atalet momentleri ise pratikte daima kirişlerde kılcal çatlamlar oluşabileceğinden çatlama kesit atalet momenti hesaba katılır. çatlama kesit atalet momenti, yaklaşık olarak kesit atalet momentinin yarısı olarak kabul edilir.

TS500 e göre şu koşulların sağlandığı durumlarda ikinci mertebe momentleri ihmal edilebilir;

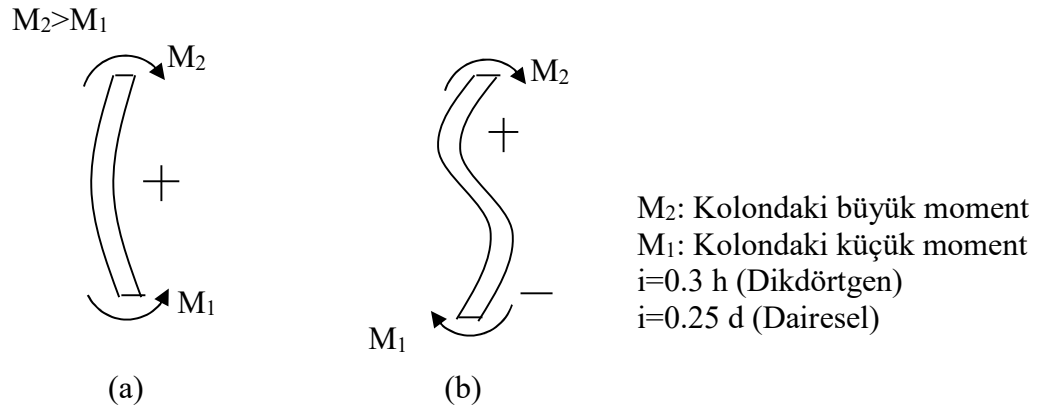
(c) Narinlik etkisinin İhmal Edilebileceği Durumlar:

Yanal öteleme önlenmiş kat kolonlarında:

$$l_k/i \leq 34-12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40 \quad (4.23)$$

koşulu sağlanıyorsa narinlik etkisi ihmal edilebilir.

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



Şekil 4. 29 Kolon eğrilik durumları

Yanal öteleme önlenmemiş kat kolonlarında:

$$l_k/i \leq 22 \quad (4.24)$$

koşulu sağlanıyorsa narinlik etkisi ihmal edilebilir.

(d) Burkulma Yüğü Hesabı:

Kolon burkulma yüğü Euler denklemiyle hesaplanır.

$$N_k = \frac{\pi^2 E I}{(l_k)^2} \quad (4.25)$$

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

$$EI = \frac{0.2 E_c I_c + E_s I_s}{1 + R_m} \quad (4.26)$$

veya

$$EI = \frac{0.4 E_c I_c}{1 + R_m} \quad (4.27)$$

Burada $E_c I_c$ tüm beton kesitinin eğilme rijitliği, $E_s I_s$ de boyuna donatı kesitinin, eleman kesiti ağırlık merkezine göre oluşturduğu eğilme rijitliğidir. Sünme oranı R_m , yanal ötelenmesi önlenmiş sistemlerde, düşey yüklerden elde edilen kolon hesap eksenel kuvvetindeki kalıcı yük katkısının, toplam değere oranıdır.

$$R_m = \frac{N_{gd}}{N_d} \quad (4.28)$$

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

$$R_m = \frac{\sum V_{gd}}{\sum V_d} \quad (\text{Tüm kat için}). \quad (4.29)$$

(e) Narin Kolon Hesap Yöntemi:

Moment Büyütme Katsayısı:

a) Yanal ötelenmesi önlenmiş kat kolonlarında:

$$\beta = \frac{C_m}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} \geq 1.0 \quad (4.30)$$

Burada,

$$C_m = (0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2}) \geq 0.4 ; M_1 \leq M_2 \quad (4.31)$$

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

$$M_d = \beta M_2 \quad (4.32)$$

b) Yanal ötelenme önlenmemiş kat kolonlarında:
Tüm kat kolonları için;

$$\beta_s = \frac{1}{1 - 1.3 \frac{\sum N_d}{\sum N_k}} \geq 1.0 \quad (4.33)$$

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

$$\sum N_d \leq 0.45 \sum N_k \quad (4.44)$$

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

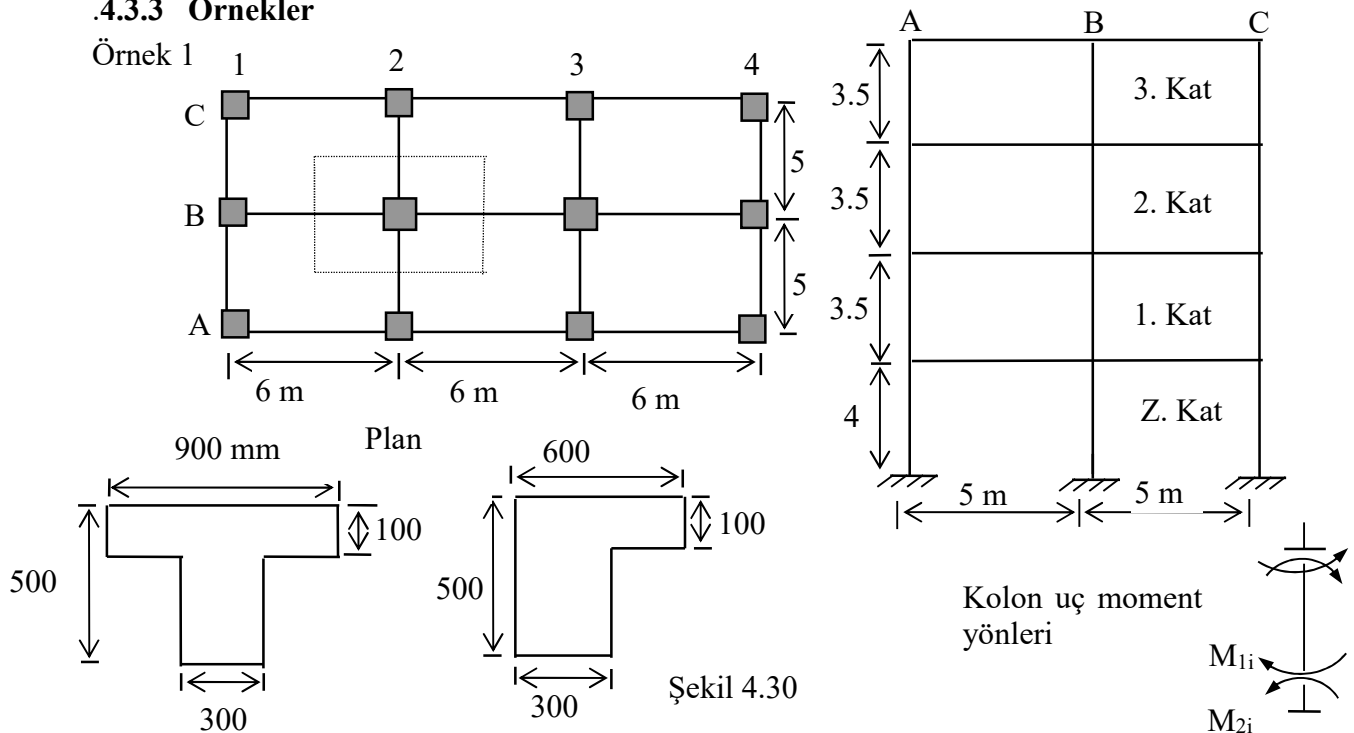
Ancak, serbest boy ile bulunan narinlik oranı,

$$\left(\frac{l}{i}\right) > \frac{35}{\sqrt{\frac{N_d}{f_{ck} A_c}}} \quad (4.45)$$

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

4.3.3 Örnekler

Örnek 1



Kolon boyutları:

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

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

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

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

Çözüm:

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

Eylemsizlik momentleri:

Tablalı kirişlerin eylemsizlik momentleri, μ tablosu yardımı ile hesaplanmış olup çatlamamış beton kesitler esas alınmıştır.

İç kirişler için : $b_w/b=300/900=0.33$, $h_f/h=100/500=0.20$ buradan $\mu=23.15$

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

Kenar kirişler için: $b_w/b=300/600=0.5$, $h_f/h=100/500=0.20$ buradan $\mu=18.08$

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

B2 ve B3 kolonları için:

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

Diğer kolonlar için :

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

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

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

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

B2 kolonu için etkili boy hesaplanır.

$\alpha_A=0$ (Ankastre uç)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kat İçin Moment Büyütme Katsayısının Hesabı (β_s):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

B1 ve B4 kolonları için N_k belirlenir.

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

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

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

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

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

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

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

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

Kat için β_s değeri;

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

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

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

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

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

B2 Kolonu için kesit hesabı:

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

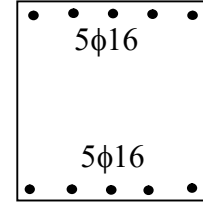
$M_d = \beta_s M_2 = 1.69 \times 95 = 160.55 \text{ kNm}$, $N_d = 2000 \text{ kN}$, $d' = 45 \text{ mm}$, $\lambda = 0$ $d''/h = 310/400 = 0.8$, BÇIII.

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

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

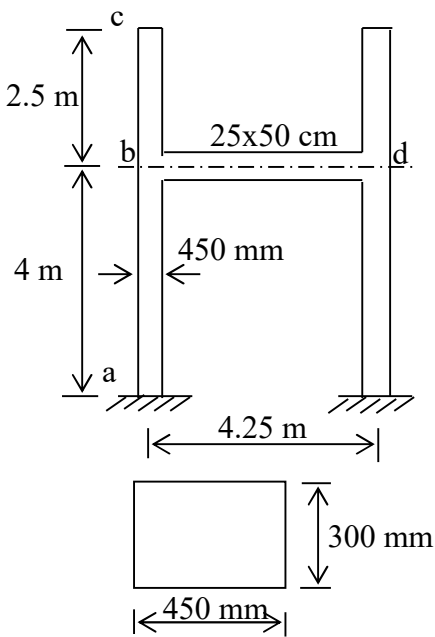
$\rho_t = 0.0125$, $A_{st} = \rho_t b h = 0.0125 \times 400 \times 400 = 2000 \text{ mm}^2$ bulunur.

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



Şekil 4.31

Örnek 2



a-b ve b-c kolonu kesiti

Şekil 4.32

Çözüm:

a)

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

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

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

(a-b) Kolonu:

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

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

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

(b-c) Kolonu:

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

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

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

(a-b)

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

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

Bireysel β ; ($C_m = 1$)

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

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

b) (a-b) Kolonu tasarımı:

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

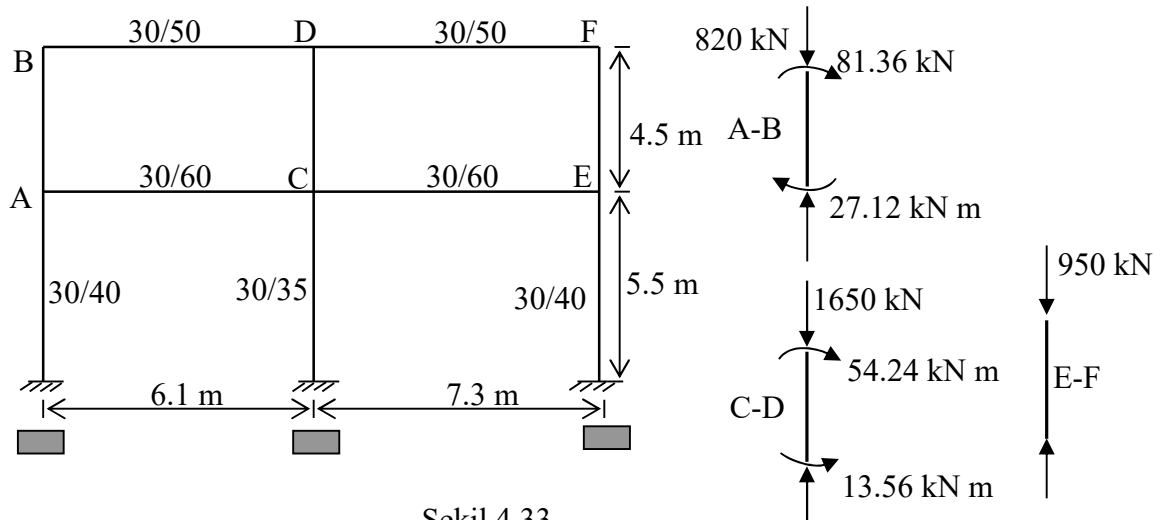
$$\frac{N_d}{b h f_{cd}} = \frac{1250 \times 10^3}{300 \times 450 \times 17} = 0.54, \quad \frac{M_d}{b h^2 f_{cd}} = \frac{182.6 \times 10^6}{300 \times 450^2 \times 17} = 0.177, \quad \frac{d''}{h} = 0.8$$

Abaktan;

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

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

Örnek 3



Şekil 4.33'te verilen çerçeve kendi düzlemi içerisinde. A-B, C-D, E-F kolonlarının kısa veya narin kolon olup olmadığını belirleyiniz. A-B ve C-D kolonlarının tasarımını yapınız. $R_m=0.4$, $E_c=30000$ Mpa, $f_{cd}=17$ Mpa, $f_{yd}=365$ Mpa, paspayı=25mm, yanal deplasman önlenmemiştir.

Çözüm:

A-B Kolonu:

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

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

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

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

$$\alpha_A = \frac{\frac{0.0016}{4.5} + \frac{0.0016}{5.5}}{\frac{0.0027}{6.1}} = 1.46, \quad \alpha_B = \frac{\frac{0.0016}{4.5}}{\frac{0.00155}{6.1}} = 1.4$$

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

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

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

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

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

$$\text{Kritik yük, } N_k = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 13714.3}{6.5^2} = 3203.7 \text{ kN}, \quad \beta = \frac{1}{1 - 1.3 \frac{N_d}{N_k}} = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{820}{3203.7}} = 1.5$$

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

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

C-D Kolonu:

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

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

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

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

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

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

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

$$N_k = \frac{\pi^2 \times 9428.6}{(5.4)^2} = 3191.2 \text{ kN}, \quad \beta = \frac{1}{1 - 1.3 \times \frac{1650}{3191.2}} = 3.05$$

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

EF Kolonu:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kesit hesabı:

A-B Kolonu:

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

$$d' = 2.5 \text{ cm}, d'' = 35 \text{ cm}, \frac{d''}{h} = \frac{35}{40} = 0.9, \lambda = 0, \text{S420, B}\check{\text{C}}\text{III}$$

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

$$\rho_t m = 0.18, m = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{365}{17} = 21.47, \quad \rho_t = 0.18 / 21.47 = 0.0084 < \rho_{t(\min)} = 0.01$$

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

C-D Kolonu:

$$M_d' = \beta M_d = 3.05 \times 54.24 = 165.43 \text{ kNm}, N_d = 1650 \text{ kN}$$

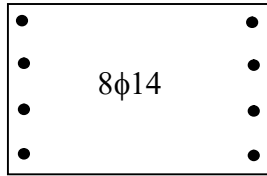
$$d' = 2.5 \text{ cm}, d'' = 30 \text{ cm}, \frac{d''}{h} = \frac{30}{35} \cong 0.9, \lambda = 0, \text{S420.}$$

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

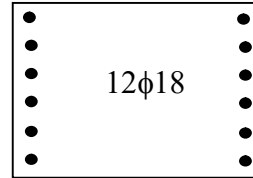
$$\frac{M_d'}{b h^2 f_{cd}} = \frac{165.43 \times 10^6}{300 \times 350^2 \times 17} = 0.26, \quad \rho_t m = 0.64, m = 21.47, \quad \rho_t = 0.64 / 21.47 = 0.029$$

$$A_{st} = 0.029 \times 300 \times 350 = 3045 \text{ mm}^2 \quad (12\phi 18 = 2540 \text{ mm}^2).$$

Görüldüğü üzere CD kolonu büyük eksenel yüke maruz bir kolon olup donatı miktarı da fazla gerekmektedir. Bu durumda CD kolon boyutunu biraz daha büyütüp, yeniden tasarım yapılabilir.



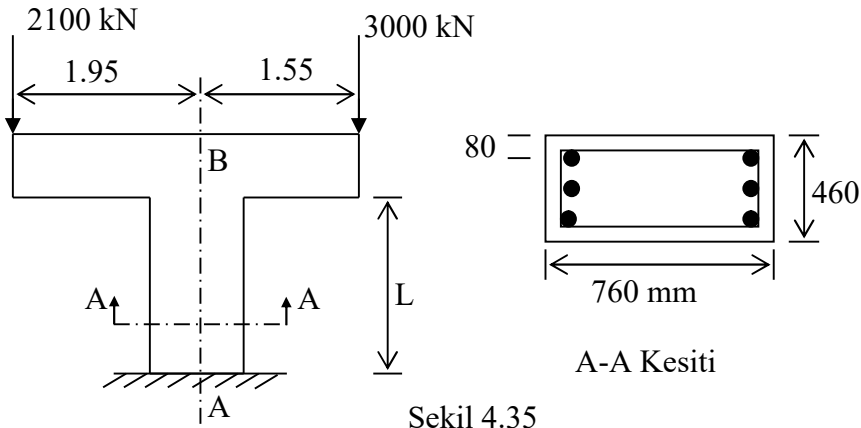
A-B Kolonu



C-D Kolonu

Şekil 4.34

Örnek 4



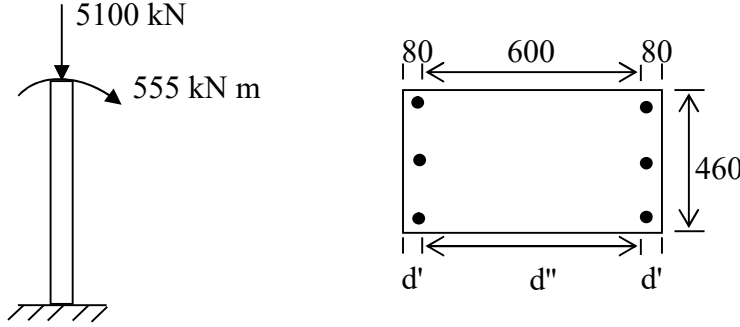
Şekil 4.35

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

Çözüm:

a)

$$M_d = 2100 \times 1.95 + 3000 \times 1.55 = 555 \text{ kNm}, \quad N_d = 2100 + 3000 = 5100 \text{ kN}$$



Şekil 4.36

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

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

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

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

b)

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

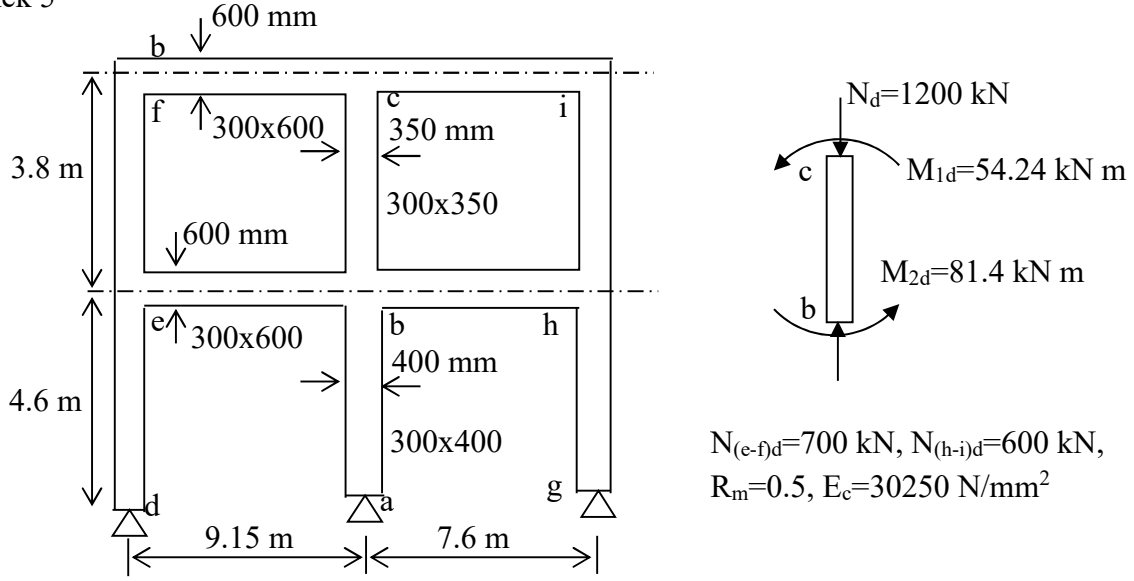
$$\alpha_A = \frac{\sum (I/L)_{\text{kolon}}}{\sum (I/L)_{\text{kiriş}}} = 0 \quad (\text{Payda } \infty \text{ olduğundan})$$

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

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

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

Örnek 5



Şekil 4.37

Şekil 4.37’de verilen çerçeve dikdörtgen kesitli elemanlardan oluşmakta olup düzlemi içinde eğildiği kabul edilmektedir. (a-b) ve (b-c) kolonunun narin olup olmadığını;

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

Çözüm:

a)

(e-f), (b-c), (h,i) Kolonları:

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

(a-b) Kolonu:

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

Kirişler:

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

(b-c) Kolonu:

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

Yanal deplasman önlenmiş:

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

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

Yanal deplasman önlenmiş kolonlarda;

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

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

değıldir.

(a-b) Kolonu:

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

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

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

değıldir.

Yanal deplasman önlenmemiş olması durumu:

(b-c) Kolonu:

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

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

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

(a-b) Kolonu:

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

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

(b)

(b-c) Kolonu yanal deplasman önlenmemiş:

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

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

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

(e-f) Kolonu:

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

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

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

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

(h-i) Kolonu:

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

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

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

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

(b-c) Kolonu bireysel β ; ($C_m=1$)

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

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

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

kullanmaya gerek yoktur!

Kat için β_s hesabı ($C_m=1$)

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

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

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

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

(b-c) Kolonu tasarımı:

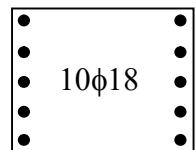
$$M_d' = 1.723 \times 81.4 = 140.25 \text{ kNm}, \quad N_d = 1200 \text{ kN}$$

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

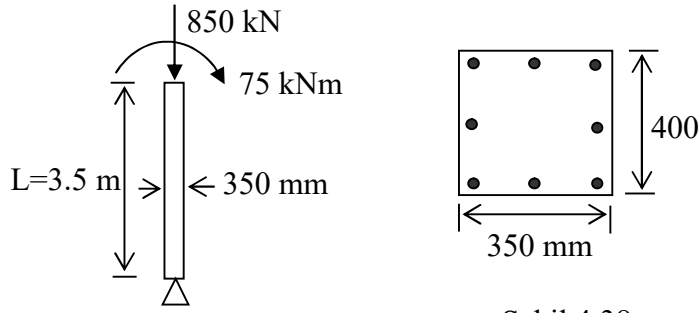
Abaktan;

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

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



Örnek 6



Şekil 4.38

Şekil 4.38’de verilen kolonun yanıl deplasmanının önlenmediğini kabul ederek narinlik kontrolünü ve tasarımını yapınız. Kalıcı eksenel yük, eksenel yükün %65’i olarak alınacak ve $k=2.1$ kabul edilecektir. Malzeme C20, S420 ($E_c=28000 \text{ N/mm}^2$) ve paspayı=30 mm.

Çözüm:

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

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

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

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

Bireysel β ; ($C_m=1$)

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

Tasarım:

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

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

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

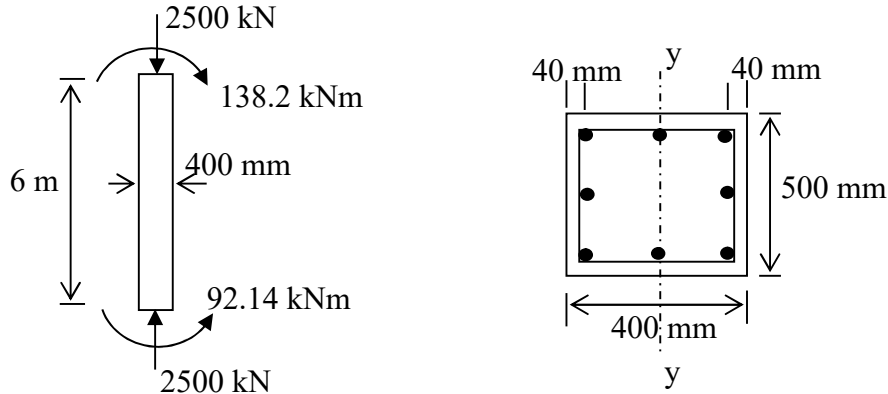
Abaktan;

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

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

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

Örnek 7



Şekil 4.39

Şekil 4.39'da verilen kolonun üzerindeki yükleri taşıyacak şekilde donatı hesabını yapınız. Toplam tasarım yükünün %50 'si ölü yük nedeni ile oluşmaktadır. Kolonun yanıl deplasmanının önleildiğini kabul ediniz ve $k=0.85$ alınız. (Analiz, eğilmenin sadece y ekseninde etrafında olduğunu göstermektedir). Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm.

Çözüm:

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

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

$$R_m = 0.5$$

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

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

Bireysel β ; ($C_m=1$)

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

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

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

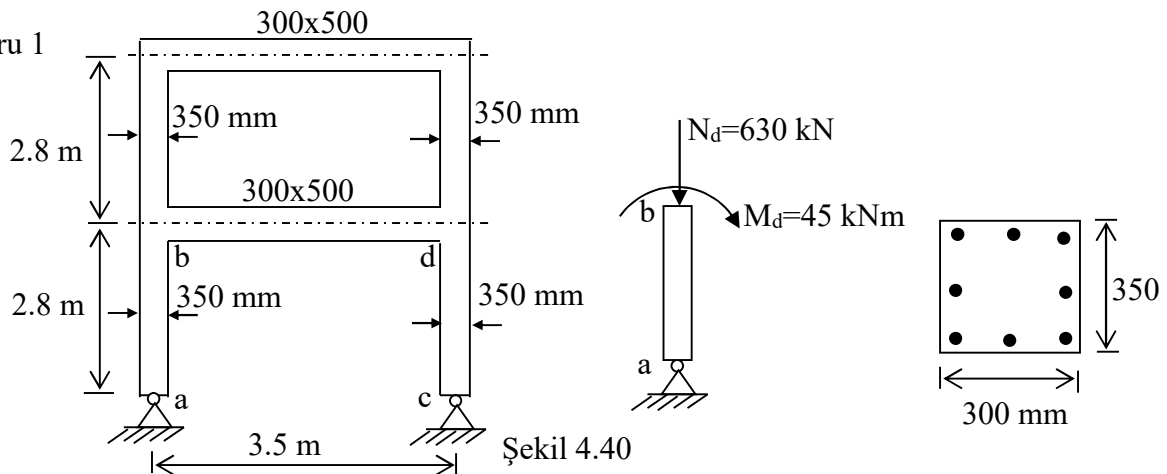
Abaktan;

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

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

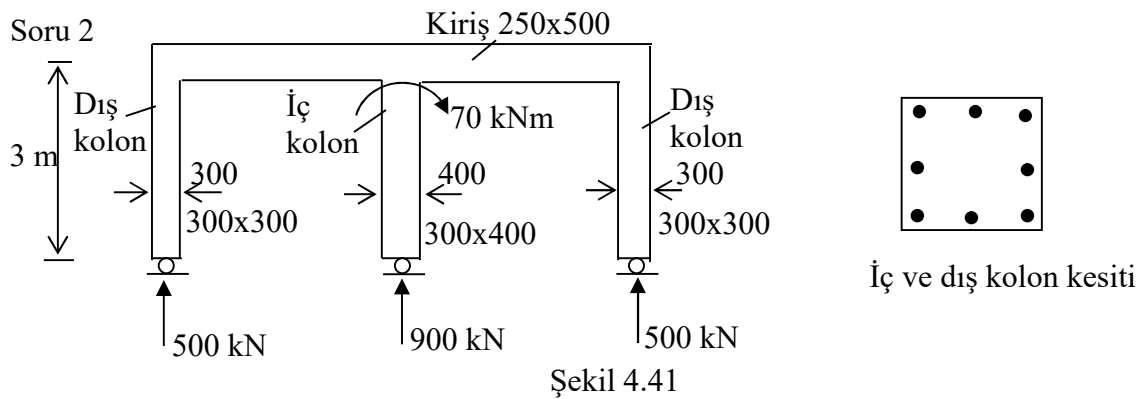
4.3.4 Çalışma Soruları

Soru 1



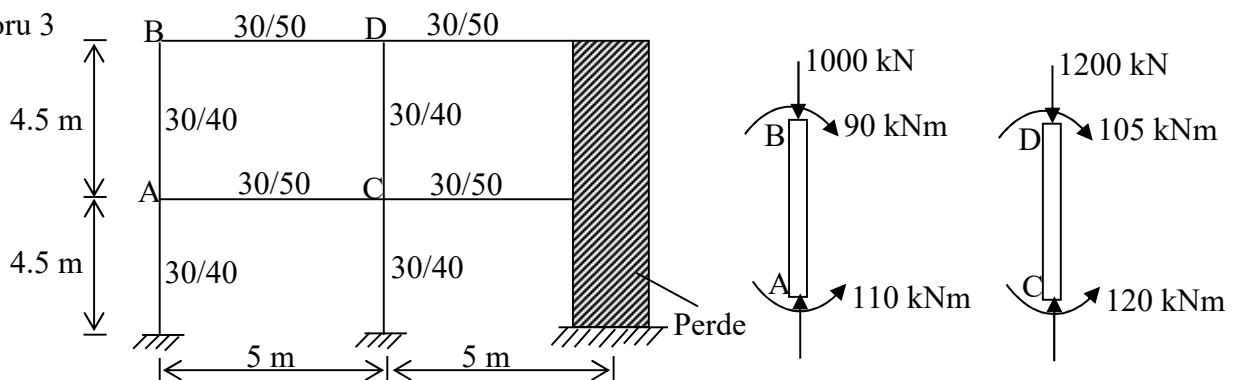
Şekil 4.40’da verilen çerçevede yanal deplasmanın önlenmediğini kabul ederek (a-b) kolonunun narinlik kontrolünü yaparak tasarımını yapınız. Malzeme C20, S420, $R_m=0.55$ paspayı=35 mm, ve $E_c=28000$ N/mm².

Soru 2



Şekil 4.41’de verilen çerçevede dış kolon ve iç kolonun narinlik kontrolünü yaparak, iç kolonun tasarımını yapınız. $k=2.2$ (Dış kolon), $k=2.3$ (İç kolon), $R_m=0.4$, $E_c=28000 \text{ N/mm}^2$, $\lambda=1/4$, Malzeme C20, S420 ve paspayı=40 mm

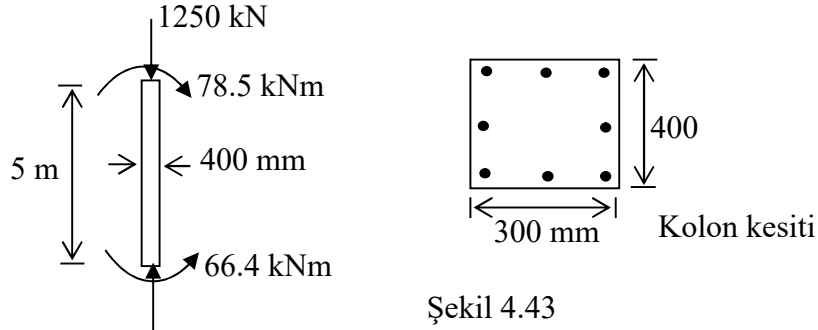
Soru 3



Şekil 4.42

Şekil 4.42’de verilen çerçevede A-B ve C-D kolonlarının narinlik kontrolünü yaparak tasarımını yapınız. Yanal deplasmanın önlenmediği kabul edilecek ve tasarımda $\lambda=1/4$ alınacaktır. Malzeme C20, S420, $E_c=28000 \text{ N/mm}^2$, paspayı=40 mm ve $R_m=0.65$.

Soru 4



Şekil 4.43

Şekil 4.43’te verilen kolonun narinlik kontrolünü ve donatı hesabını;

- Yanal deplasman önlenmiş
- Yanal deplasman önlenmemiş durumlara göre yapınız. $R_m=0.5$, $k=0.8$, malzeme C20, S420, paspayı=40 mm. ve $E_c=28000 \text{ N/mm}^2$ (Eğilme boyutu kolon üzerinde gösterilmiştir).

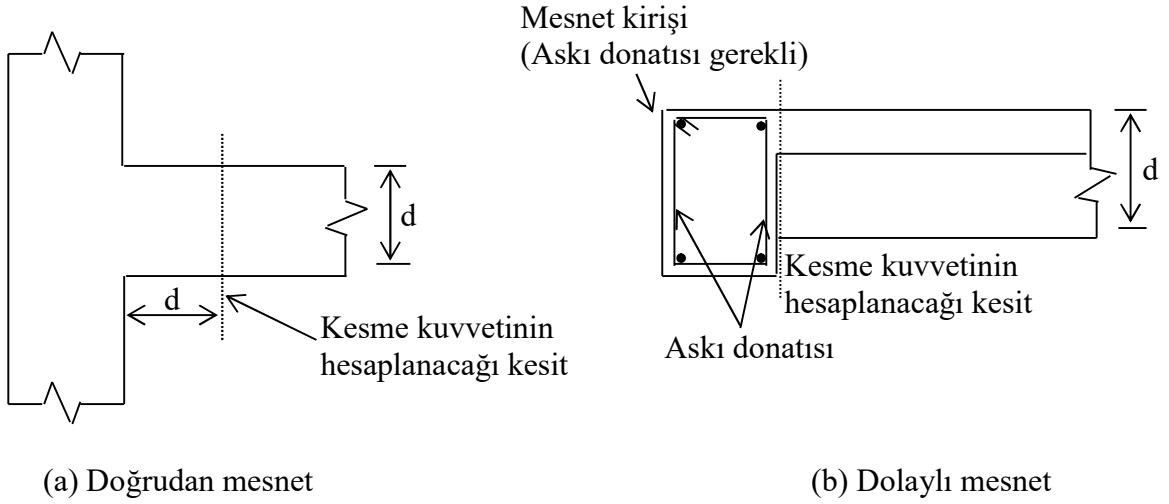
5 KESME KUVVETİ ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

5.1 Kesme Kuvveti Etkisi

Betonarme yapı elemanlarında eğilme momenti ile birlikte etkiyen kesme kuvvetlerinin oluşturduğu asal çekme gerilmeleri, beton ve uygun kesme donatısı ile karşılanmalı, asal basınç gerilmelerinin de gövdede ezilme oluşturmayacak bir düzeyde tutulması sağlanmalıdır.

5.1.1 Kesme Kuvveti Hesabı

Tasarım kesme kuvveti V_d , mesnet yüzünden “d” uzaklığında hesaplanmalıdır. Ancak mesnet olarak başka bir eğilme elemanına oturan kirişlerde mesnet yüzündeki kesme kuvveti esas alınmalıdır (dolaylı mesnet).



Şekil 5.1 Değişik mesnetlenme türleri

Tekil bir yükün mesnet yüzünden “d” veya daha az uzaklıkta etkiye olasılığı bulunan durumlarda da, mesnet yüzünde hesaplanan kesme kuvveti temel alınmalıdır.

5.1.2 Eğik Çatlama Dayanımı

Betonarme bir kesitin kesmede çatlama dayanımı, daha kesin hesaba gerek duyulmadığı durumlarda, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir. Bu denklemde N_d çekmede de basınçta da pozitif alınmalıdır.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) \quad (5.1)$$

Denlemde, eksenel basınç durumunda $\gamma=0.07$, eksenel çekme durumunda ise $\gamma=-0.3$ alınır. Güvenilir bir yöntem kullanılarak ve gövde beton kesit alanı temel alınarak hesaplanan eksenel çekme gerilmesi, 0.5MPa dan küçükse, $\gamma=0$ alınabilir.

5.1.3 Kesme Dayanımı

Kesme güvenliği için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır;

$$V_r \geq V_d \quad (5.2)$$

V_d : Tasarım kesme kuvveti,

V_r : Kesitin kesme dayanımıdır, beton katkısı (V_c) ve kesme donatısı katkısının (V_w) toplanması ile elde edilir.

$$V_r = V_c + V_w \quad (5.3)$$

Beton katkısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_c = 0.8 V_{cr} \quad (5.4)$$

Deprem durumunda, eleman uçlarında (sargı bölgelerinde) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik de verilen V_c değerleri kullanılmalıdır.

Etriye katkısı;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad (5.5)$$

veya

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - V_c}{f_{ywd} d} \geq \min \rho_w(b_w) \quad (5.6)$$

denkleminde hesaplanır.

Tasarım kesme kuvveti eğik çatlama dayanımına eşit veya ondan az ise ($V_d \leq V_{cr}$) kesme donatısı hesabına gerek yoktur. Ancak bu durumda minimum etriyenin bulundurulması zorunludur.

5.1.4 Gevrek Kırılmanın Önlenmesi

Minimum Kesme Donatısı:

Betonarme kirişlerde açıklık boyunca etriye bulundurmak zorunludur. Minimum etriye;

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \quad (5.7)$$

koşulunu sağlamalıdır.

5.1.5 Kesme Kuvveti Üst Sınırı

Yüksek asal basınç gerilmeleri nedeniyle gövde betonunun ezilmesini önlemek amacıyla, hesap kesme kuvvetine bir üst sınır getirilmiştir. Bu sınır, sağlanamazsa, kiriş kesit boyutları büyütülmelidir. Kesme kuvveti üst sınırı;

$$V_d \leq 0.22 f_{cd} b_w d \quad (5.8)$$

bağıntısı ile belirlenir.

Kesme Donatısı Detayları:

Kesme dayanımını sağlamak için bireysel çubuklar (düşey ve yatay etriye, fırkete, çiroz vb.) ve hasır donatı kullanılır. Kesme dayanımına pilyelerin katkısı dahil edilmemelidir.

Etriye aralığı kiriş faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olmamalıdır ($s \leq d/2$). Ayrıca, $V_d > 3V_{cr}$ olan durumlarda, etriye aralığı yukarıda verilen değerin yarısını aşmamalıdır ($s \leq d/4$). Çerçeve kirişlerinin uçlarında, kiriş derinliğinin iki katı kadar olan bölgede, etriye aralığı aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

$$s \leq d/4$$

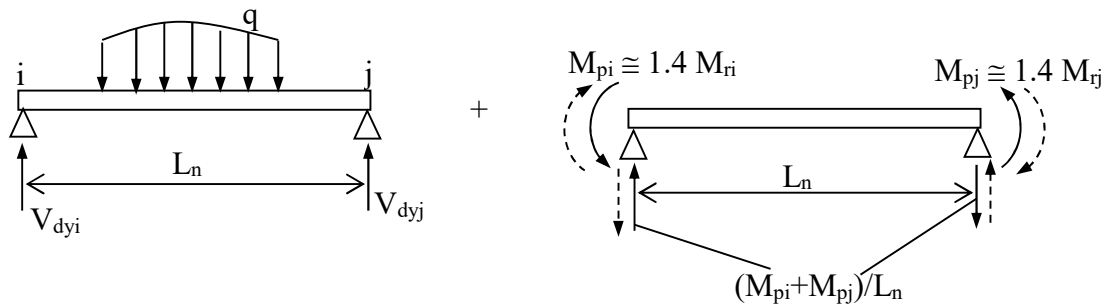
$$s \leq 8 \phi_l$$

$$s \leq 150 \text{ mm.}$$

Deprem bölgelerinde Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kurallarına uyulmalıdır.

5.1.6 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Kirişlerin Kesme Güvenliği

Kesme Kuvveti, elemanın kesit özellikleri gözönünde bulundurularak her iki uça hesaplanan eğilme momentleri temel alınarak hesaplanır. Yönetmelikte kirişlerin kesme güvenliği için kapasite tasarımı kavramı getirilmiştir. Yani tasarım, yapıda oluşan yük etkisine göre yapılmayıp, elemanın taşıma gücü kapasitesine göre yapılmaktadır.



Şekil 5.2 Deprem durumunda kesme kuvveti

Deprem durumunda esas alınacak Kesme kuvveti (V_e);

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj})/L_n \quad (5.9)$$

M_{pi} ve M_{pj} , kiriş uçlarındaki pekleşmeli taşıma gücü momentleri olup daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda aşağıdaki gibi alınabilir.

$$M_p \approx 1.4 M_r = 1.4 A_s (f_{yd}) J d \quad (5.10)$$

Ayrıca, TDY'ye göre kesme kuvveti üst sınırı;

$$V_e \leq V_r$$

$V_e \leq 0.22 b_w d f_{cd}$ denklemleri ile kontrol edilir. Eğer, bu koşul sağlanmazsa kesit boyutları büyütülmelidir.

Betonun kesme dayanımına katkısı V_c , kiriş sarılma bölgesindeki enine donatı hesabında;

$$V_e - V_{dy} \geq 0.5 V_d \quad (5.11)$$

olması durumunda $V_c=0$ alınacaktır. Hiçbir durumda pilyelerin kesme dayanımına katkısı gözönüne alınmayacaktır.

5.1.7 Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerinde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri

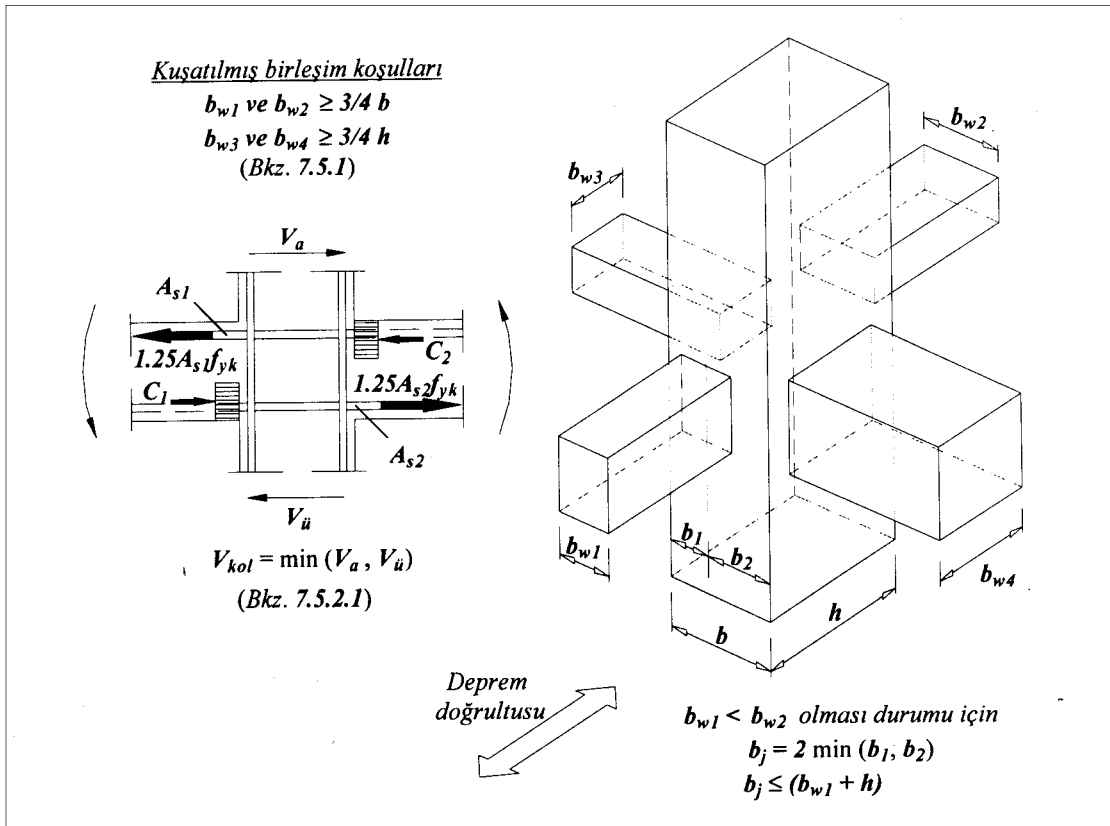
(a) Kuşatılmış Birleşim:

Kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kirişin genişliğinin, birleştiği kolon genişliğinin 3/4'ünden daha az olmaması hali.

(b) Kuşatılmamış Birleşim:

(a)'daki koşulu sağlamayan tüm birleşimler.

5.1.8 Kolon – Kiriş Bölgelerinin Kesme Güvenliği



Şekil 5.3 Kolon-kiriş birleşim bölgeleri

$$V_e = 1.25 f_{yk}(A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (5.12)$$

Kirişin kolona bir taraftan saplandığı ve diğer tarafa devam etmediği durumlarda $A_{s2}=0$ alınacaktır.

$$(a) \text{ kuşatılmış birleşimlerde } V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd}$$

$$(b) \text{ kuşatılmamış birleşimlerde } V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd} . \quad (5.13)$$

Bu sınırın aşılması durumunda, kolon ve/veya kiriş kesit boyutları büyütülerek deprem hesabı tekrarlanacaktır.

5.1.9 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Minimum Enine Donatı Koşulları

(a) Kuşatılmış Birleşim

- Alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim boyunca kullanılacaktır.

$$\phi_{etr} \geq 8 \text{ mm} , s_c \leq 150 \text{ mm}$$

olmalıdır.

(b) Kuşatılmamış Birleşim

- Alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı birleşim boyunca kullanılacaktır.

$$\phi_{etr} \geq 8 \text{ mm} , s_c \leq 100 \text{ mm}$$

olmalıdır.

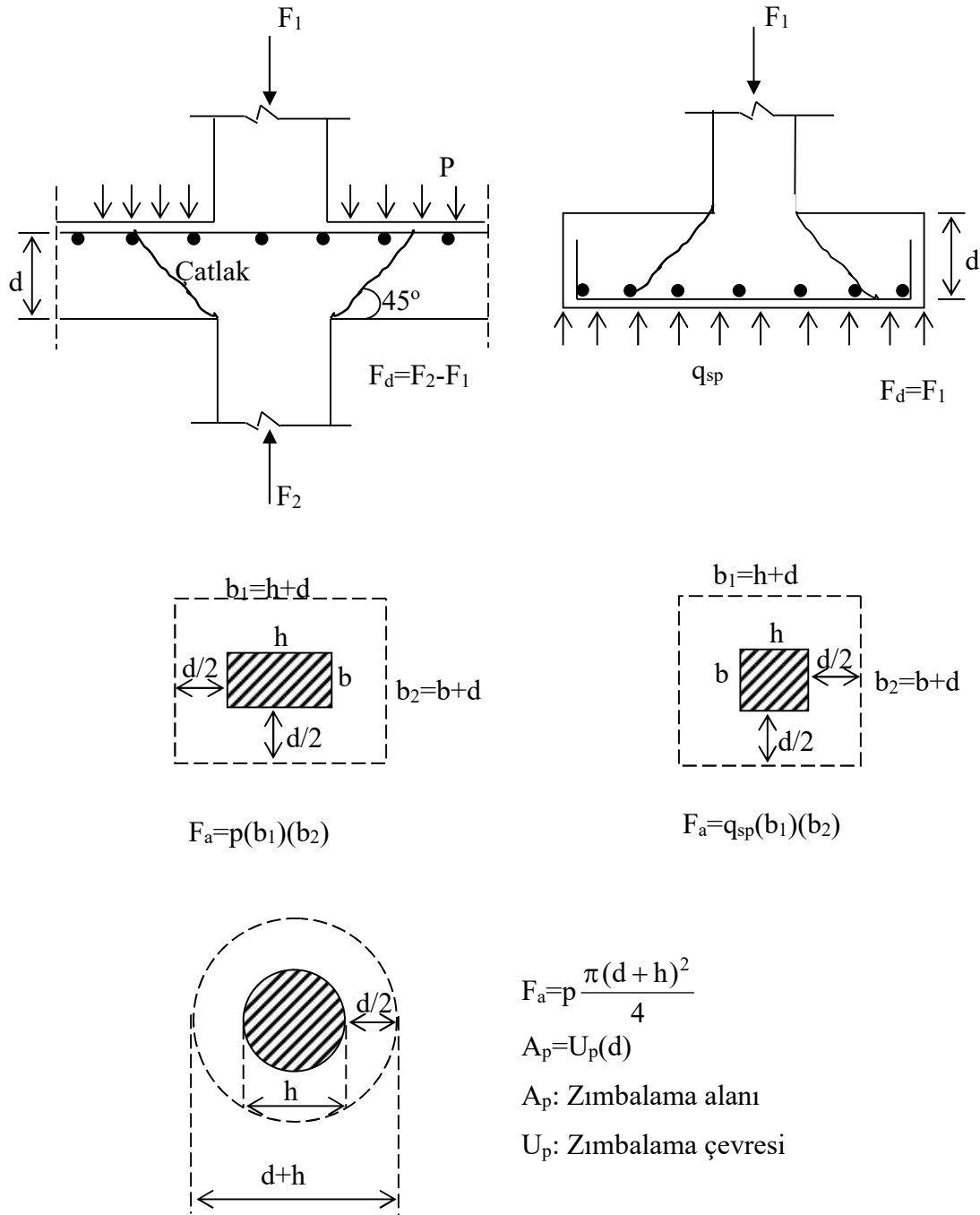
5.2 Zımbalama Etkisi

5.2.1 Zımbalama Dayanımı

Sınırlı bir alana yayılmış yükler veya kolonlar tarafından yerel olarak yüklenen plakların zımbalama dayanımı hesaplanarak bunun tasarım zımbalama kuvvetine eşit veya ondan büyük olduğu gösterilmelidir.

$$V_{pr} \geq V_{pd} \quad (5.14)$$

Zımbalama dayanımının hesabında, yüklenen alana $d/2$ uzaklıkta zımbalama çevresi ile belirlenen kesit alanı gözönüne alınır.

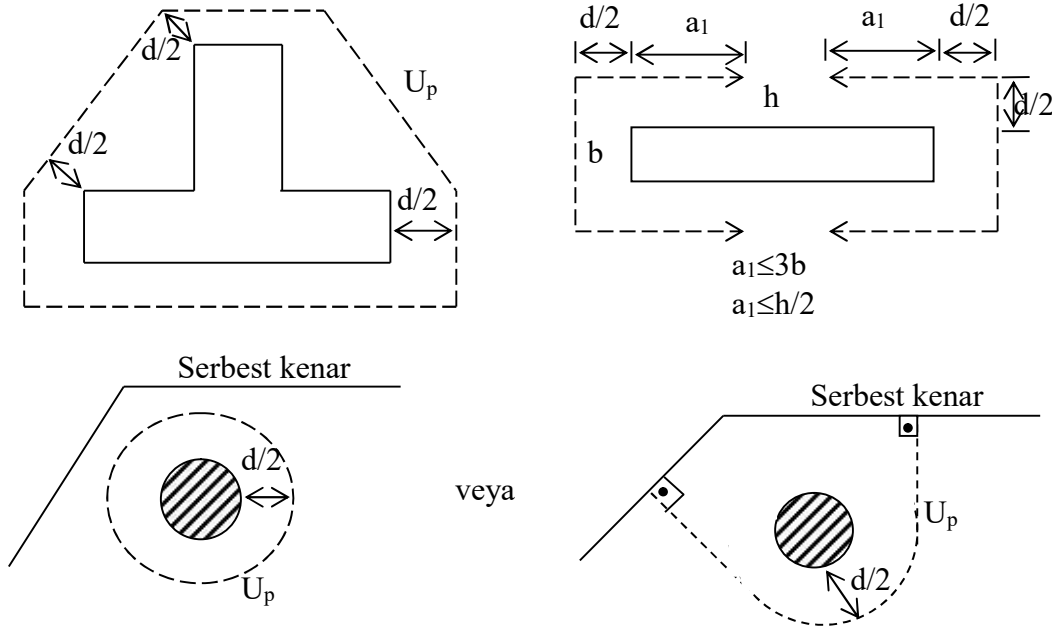


Şekil 5.4 Zımbalama bölgesi özellikleri ve tasarım zımbalama kuvveti

Bu durumda zımbalama dayanımı;

$$V_{pr} = A_p f_{ctd} = U_p d f_{ctd} \quad (5.15)$$

Kenar kolonlar ve geometrisi dikdörtgenden değişik kesitler için zımbalama çevresinin hesabı:



Şekil 5.5 Kritik kesit seçenekleri

Plağa uygulanan kuvvet V_{pd} , hesaplanırken, kolonlardan döşemeye aktarılan momentin bir bölümünün oluşturacağı kesme kuvvetleri de dikkate alınmalıdır.

Momentin olmadığı veya ihmal edilebilir düzeyde olduğu durumlarda V_{pd} hesaplanırken, zımbalama çevresi içinde kalan yayılı yük, hesap kesme kuvvetinden çıkarılmalıdır.

$$V_{pd} = F_d - F_a \quad (5.16)$$

F_d : Sömelde kolon eksenel yükü, döşemelerde ise alt ve üst kolonların eksenel yüklerinin farkıdır.

$$F_d = F_2 - F_1 \quad (5.17)$$

Daha önce, V_d hesap kuvvetinin momentler nedeni ile oluşan kesme kuvvetini de içermesi gerektiği söylenmişti. V_d nin moment etkisi içermesi yerine V_{pr} ile belirlenen zımbalama dayanımının belirli bir katsayı ile azaltılması uygun olacaktır. TS500 de (V_{pd}), $V_{pd} = F_d - F_a$ ile hesaplanır. V_{pr} ise;

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} (U_p) d \quad (5.18)$$

γ : Moment etkisi altında zımbalama dayanımını azaltan katsayı ($\gamma \leq 1$). Momentin sıfır veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğu durumlarda $\gamma = 1$ alınmalıdır.

Dikdörtgen kesitli kolonlar:

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_1 b_2}}}$$

Dairesel kesitli kolonlar:

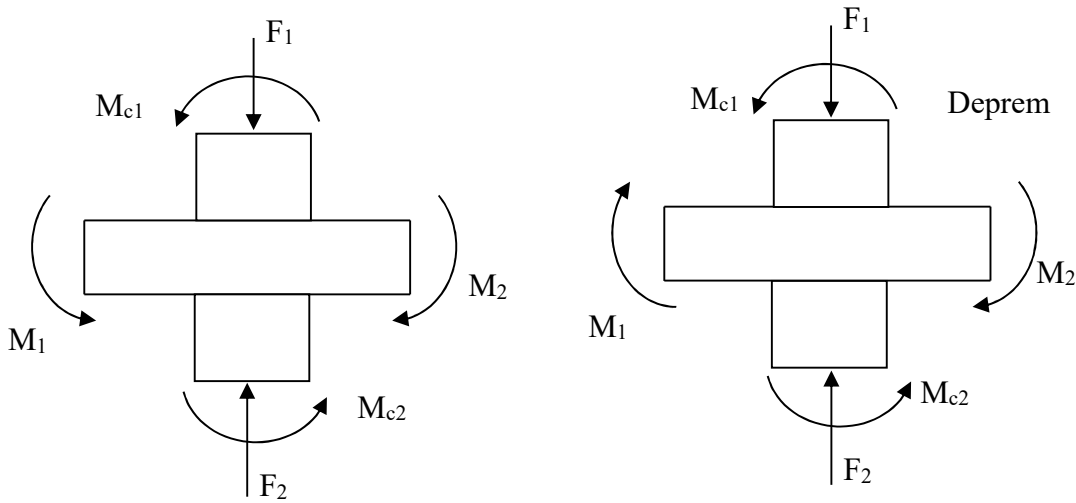
$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{2e}{d+h}} \quad (5.19)$$

e , e_x , e_y : Dışmerkezlik hesaplanırken sömellerde kolon momentinin %40' ı temel alınmalıdır. Döşemelerde ise kolon iki yüzünde döşemenin dengelenmemiş momentinin %40' ı dış merkezliğin hesaplanmasında temel alınmalıdır.

b_1 , b_2 : Zımbalama çevresinin boyutları.

d : Döşeme faydalı yüksekliği.

h : Dairesel kolonun çapı.



Şekil 5.6 Hesaba katılacak dışmerkezlik

$$M_2 > M_1, \quad e = \frac{M_2 - M_1}{F_2 - F_1} \quad e = \frac{M_2 + M_1}{F_2 - F_1} \quad (5.20)$$

Döşemede kolon yüzüne bitişik veya yakın boşlukların bulunduğu durumlarda, zımbalama çevresini azaltmak gerekir. TS500 de, kolon ekseninden boşluğa teğet iki doğru çizilmesi ve zımbalama çevresinin iki teğet arasında kalan bölümün dikkate alınmaması önerilir. Kolon yüzünden (5d) den daha uzakta bulunan boşluklar dikkate alınmayabilir.

5.3 Kısa Konsollar

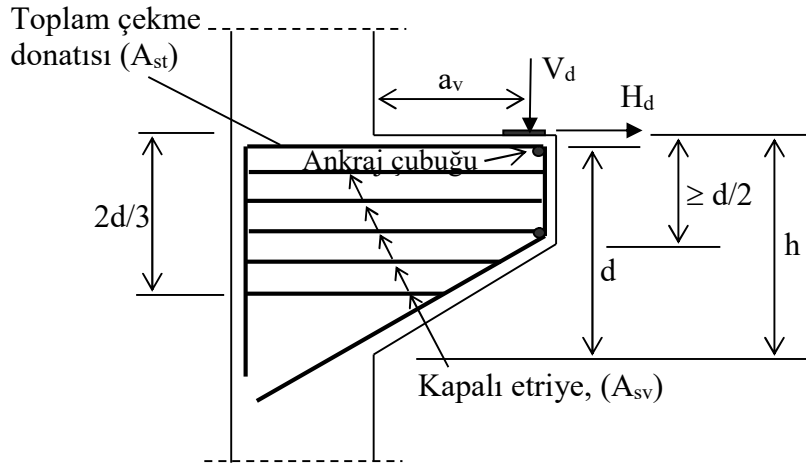
Yükleme noktasından mesnet yüzüne olan uzaklığın, mesnetteki faydalı yüksekliğe oranı 1.0 veya daha küçük olan ($a_v \leq d$) konsollar kısa konsol olarak adlandırılır ve taşıma gücü hesabı aşağıda anlatıldığı şekilde yapılır.

Özel önlem alınmayan durumlarda, konsola oturan kirişlerde sıcaklık değişimi ve büzülme gibi olaylar nedeni ile kısılma ve uzamalar, konsol üzerinde yatay kuvvetler oluştururlar, H_d . Bu yatay kuvvet için yük katsayısı 1.6 alınır. Her zaman çekme olarak hesaba katılacak olan bu yatay kuvvet, $0.2V_d$ den küçük seçilemez. Konsolun kesme dayanımı;

$$V_d \leq 0.22 f_{cd} b_w d \quad \text{değerini geçmemelidir.}$$

5.3.1 Kayma Sürtünme Dayanımı

Kısa konsollarda sürtünme kesmesi için hesap yapılmalıdır.



Şekil 5.7

Kısa konsollarda kesme kuvveti nedeniyle mesnette çatlak oluşabilir. Bu çatlamayı önlemek için kapalı etriye şeklinde kayma sürtünme donatısı kullanılır (Şekil 5.7). Bu donatı aşağıda ifade edilen denklem ile hesaplanır.

$$A_{wf} = \frac{V_d}{f_{yd} \mu_f} \quad (5.21)$$

V_d : Konsol mesnetindeki hesap kesme kuvveti

μ_f : Sürtünme katsayısı

Monolitik yapılarda $\mu_f=1.4$

Prefabrik yapılarda $\mu_f=1.0$

5.3.2 TS 500 de Kısa Konsol Hesabı

Toplam çekme donatısı (A_{st}), eğilme ve eksenel kuvvet (H_d) için hesaplanan donatıların toplamıdır.

$$A_{st}=(A_s+A_n) \geq \left(\frac{2}{3} A_{wf} + A_n \right) \quad (5.22)$$

ve

$$A_{st} \geq 0.05 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d \quad (5.23)$$

$$A_s = \frac{V_d a_v + H_d (h - d)}{f_{yd} (0.8) d} \quad (5.24)$$

$$A_n = \frac{H_d}{f_{yd}} \quad (5.25)$$

Konsolun kiriş üst yüzünden $2d/3$ derinliğine kadar yayılan kapalı veya açık yatay etriyelerin kesit alanı olan A_{sv} , aşağıdaki değerden az olamaz.

$$A_{sv} \geq 0.5(A_{st} - A_n) \quad (5.26)$$

$$V_r \geq V_d$$

$$V_d \leq V_{\max} = 0.22 f_{cd} b_w d \quad (5.27)$$

A_{st} : Toplam çekme donatısı alanı

M_d : Konsol yüzündeki hesap momenti

d : Konsol yüzündeki faydalı yükseklik

V_d : Konsol yüzündeki kesme kuvveti

H_d : Sıcaklık değişimi, büzülme gibi olaylar nedeni ile oluşan, kısalma ve uzamalardan dolayı meydana gelen yatay kuvvet.

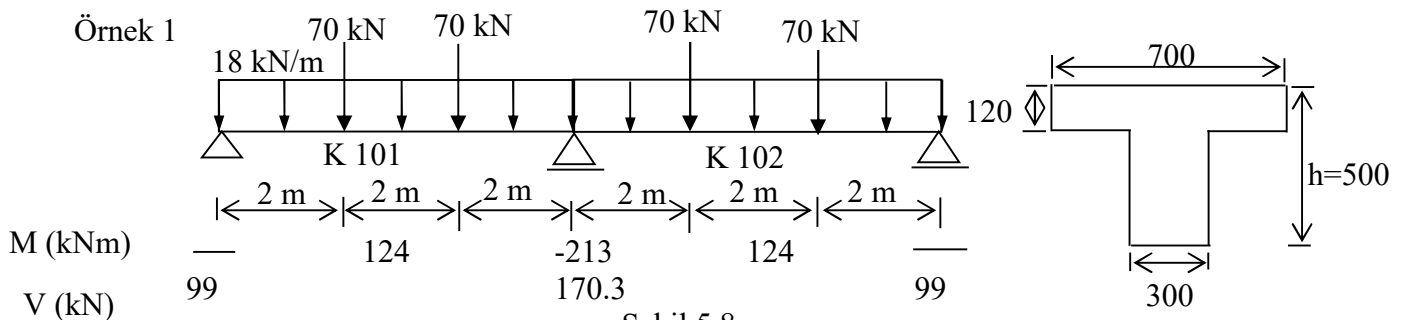
V_r : Kayma dayanımı

A_{sv} : Konsol eksenine paralel yerleştirilen kayma donatısı alanı.

Kolon yüzünde ölçülen konsol derinliği, yükün uygulandığı noktadaki derinliğin iki katını geçmemelidir. Çekme donatısı akmayı sağlamaya yeterli bir biçimde kenetlenmelidir. Bu amaçla, çekme donatısının, çapı en az çekme donatısının çapına eşit bir ankraj çubuğuna yeterli bir biçimde kaynaklanması veya çekme donatısının U-biçimli firketelerden oluşturulması gereklidir. Bu ankraj çubuğunun veya firketenin taban bölümü (kapalı tarafı), yük alanının ötesine geçmelidir (Şekil 5.7)

5.4 Örnekler

Örnek 1



Şekil 5.8

Şekil 5.8’de verilen kirişin;

- Boyutlarını kontrol ediniz ve tasarımını yapınız.
- K101 kirişinin TDY 97’ye göre etriye hesabını yapınız ve donatıyı şematik olarak gösteriniz.

Malzeme C20, S420, etriyeler S220, paspayı=40 mm, mesnet genişliği $a=40$ cm ve beton katkısı %50 alınacaktır.

Çözüm:

a)

Eğilme:

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN}, \quad K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{300 \times 460^2}{213 \times 10^3} = 298 \text{ mm}^2/\text{kN} < K_1$$

Çift donatılı kesit hesabı yapılacaktır!

Açıklık:

$$(+)\text{M}_d = 124 \text{ kNm} (K > K_1), \quad 0.9 \times d = 414 \text{ mm} > d - h_f/2$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} 0.9 d} = \frac{124 \times 10^6}{365 \times 414} = 820.6 \text{ mm}^2 \text{ Seçilen } (2\phi 18 \text{ düz} + 2\phi 16 \text{ pilye} = 912 \text{ mm}^2)$$

Mesnet:

$$(-)\text{M}_d = M_d - V \frac{a}{3} = 213 - 170.3 \times \frac{0.4}{3} = 190.3 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{300 \times 460^2}{190.3 \times 10^3} = 333.6 \text{ mm}^2/\text{kN} < K_1, \text{ Çift donatılı kesit hesabı yapılacaktır.}$$

$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{300 \times 460^2}{380 \times 10^3} = 167.05 \text{ kNm}, \quad M_2 = M_d - M_1 = 190.3 - 167.05 = 23.25 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{167.05 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 460} = 1157 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{23.25 \times 10^6}{365 \times (460 - 40)} = 151.7 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1308.7 \text{ mm}^2, \quad A_s' = A_{s2} = 151.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Mesnette; } A_s(\text{mevcut}) = 4\phi 16 + 2\phi 12 = 1032 \text{ mm}^2$$

$$A_s(\text{ek, üst}): 1308.7 - 1032 = 276.7 \text{ mm}^2 \quad (2\phi 14 \text{ ilave})$$

$$A_s' = 151.7 \text{ mm}^2, \quad 2\phi 18 \text{ (mevcut yeterlidir). Ek donatı gerekmez!}$$

Kesme tasarımı:

$$V_d = V - P_d(d + \frac{a}{2}) = 170.3 - 18 \times (0.46 + \frac{0.4}{2}) = 158.42 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 300 \times 460 = 89.7 \text{ kN}, \quad V_c = 0.8 V_{cr} = 71.76 \text{ kN}$$

$$V_{\max} = 0.22 f_{cd} b_w d = 0.22 \times 13 \times 300 \times 460 \times 10^{-3} = 395 \text{ kN}$$

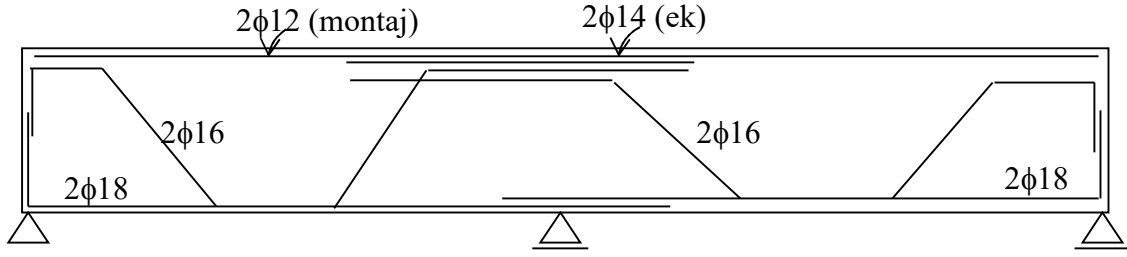
$$V_{cr} < V_d < V_{\max} \text{ olduğundan etriye hesap ile bulunmalıdır.}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} (d)} = \frac{(158.42 - 0.5 \times 71.76) \times 10^3}{191 \times 460} = 1.39 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\phi 10 \text{ için, } A_o = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2, \quad A_{sw} = 2 \times A_o = 157 \text{ mm}^2$$

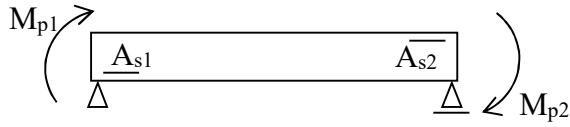
$$\frac{A_{sw}}{s} = 1.39, \text{ buradan } s = 113 \text{ mm bulunur. Etriye } \phi 10/11 \text{ cm.}$$

b) Deprem yönetmeliğine göre:



Şekil 5.9

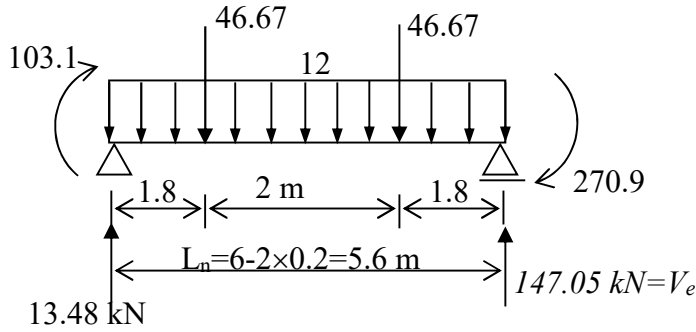
$$A_{s1}=2\phi 18=510 \text{ mm}^2, A_{s2}=4\phi 16+2\phi 14+2\phi 12=1340 \text{ mm}^2$$



$$M_{r1}=A_{s1} f_{yd} 0.86 d=510 \times 365 \times 0.86 \times 460 \times 10^{-6}=73.64 \text{ kNm}$$

$$M_{r2}=A_{s2} f_{yd} 0.86 d=1340 \times 365 \times 0.86 \times 460 \times 10^{-6}=193.5 \text{ kNm}$$

$$M_{p1}=1.4 M_{r1}=103.1 \text{ kNm}, M_{p2}=1.4 M_{r2}=270.9 \text{ kNm}$$



Deprem durumunda;

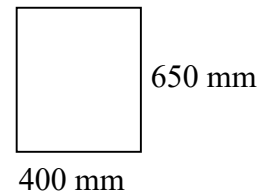
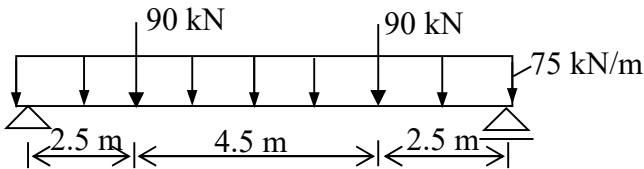
$$P_e=P_d/1.5$$

$$18/1.5=12 \text{ kN/m}$$

$$70/1.5=46.67 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e}{f_{ywd} (d)} = \frac{147.05 \times 10^3}{191 \times 460} = 1.673 \text{ mm}^2/\text{mm}, \phi 10 \text{ için } s=94 \text{ mm Etriye } \phi 10/9 \text{ cm}$$

Örnek 2

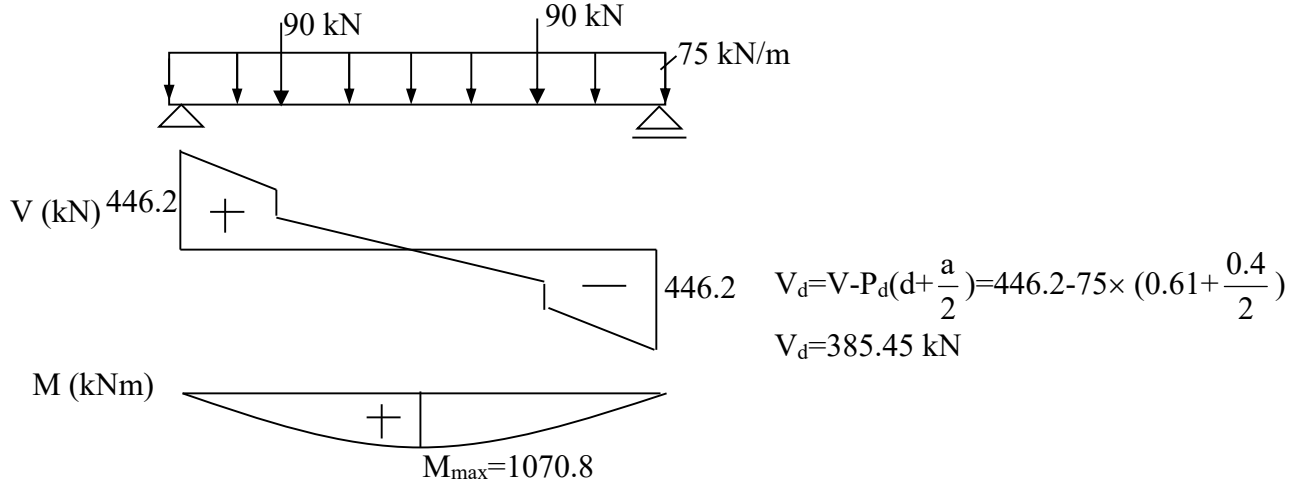


Şekil 5.10

a) Şekil 5.10'da verilen kiriş için 10 mm etriye çapı seçerek etriye aralığını belirleyiniz.

b) Eğilme donatısını bulunuz. Pilye ve betonun kesme dayanımına katkısını ihmal ediniz. Malzeme C25, S420 ($f_{ctd}=1.15 \text{ N/mm}^2$, $f_{ywd}=365 \text{ N/mm}^2$), mesnet genişliği 400 mm ve paspayı=40 mm.

Çözüm:



Şekil 5.11

a)

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 1.15 \times 10^{-3} \times 400 \times 610 = 182.4 \text{ kN}, \quad V_c = 0.8 V_{cr} = 145.9 \text{ kN}$$

$$V_{\max} = 0.22 f_{cd} b_w d = 0.22 \times 17 \times 400 \times 610 \times 10^{-3} = 912.56 \text{ kN}$$

$V_{cr} < V_d < V_{\max}$ olduğundan etriye hesap ile bulunmalıdır.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d}{f_{ywd} (d)} = \frac{385.45 \times 10^3}{365 \times 610} = 1.73 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\phi 10 \text{ için, } A_o = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2, \quad A_{sw} = 2 \times A_o = 157 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 1.73, \text{ buradan } s = 90.75 \text{ mm bulunur. Etriye } \phi 10/9 \text{ cm.}$$

b)

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = 291 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$K = \frac{400 \times 610^2}{1070.8 \times 10^3} = 138.9 \text{ mm}^2/\text{kN} < K_1, \text{ Çift donatılı kesit hesabı yapılacaktır.}$$

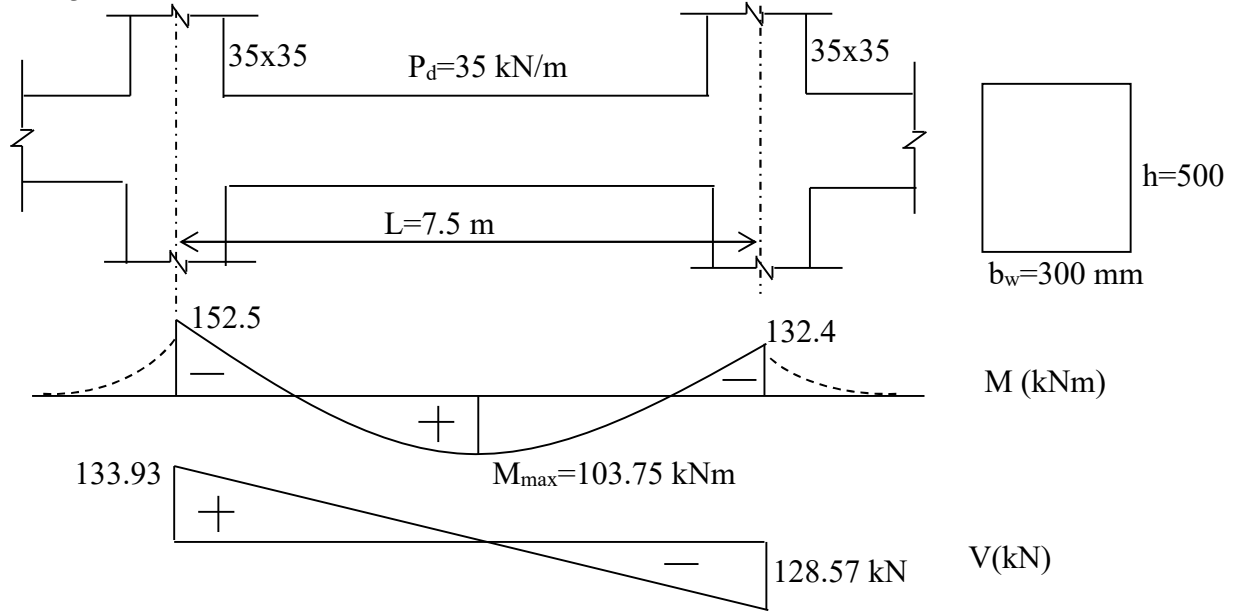
$$M_1 = \frac{b_w d^2}{K_1} = \frac{400 \times 610^2}{291 \times 10^3} = 511.5 \text{ kNm}, \quad M_2 = M_d - M_1 = 1070.8 - 511.5 = 559.3 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd} j d} = \frac{511.5 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 610} = 2671.3 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{559.3 \times 10^6}{365 \times (610 - 40)} = 2688.3 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 5359.6 \text{ mm}^2, \quad A_s' = A_{s2} = 2688.3 \text{ mm}^2 \text{ olarak donatı hesaplanır.}$$

Örnek 3



Şekil 5.12

Şekil 5.12’de verilen kirişin elverişsiz yüklemeler sonucu elde edilen tasarım moment ve kesme kuvveti diyagramları verilmektedir.

- Kiriş kesitinin boyutlarını kontrol ederek eğilme ve kesme tasarımını yapınız. Depremin önemli olduğu kabul edilecek ve beton katkısı %50 varsayılacaktır.
- Türk Deprem Yönetmeliğine göre sarılma bölgesi etriye hesabını yapınız. Malzeme C16, S420, etriyeler S220 ($f_{ctd}=0.9 \text{ N/mm}^2$) ve paspayı=35 mm.

Çözüm:

a) Boyut kontrolü:

Eğilme:

$$K_I = \frac{4.95}{f_{cd}} = 450 \text{ mm}^2/\text{kN}, \quad K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{300 \times 465^2}{152.5 \times 10^3} = 425.3 \text{ mm}^2/\text{kN} < K_I$$

Eğilmeye göre boyut yetersizdir!

Açıklık: $M_d = 103.75 \text{ kNm}$ ($K > K_I$)

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{103.75 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 710.8 \text{ mm}^2 \quad \text{Seçilen: } (2\phi 16 \text{ düz} + 2\phi 16 \text{ pilye} = 804 \text{ mm}^2)$$

Mesnet: $M_d = M - V \frac{a}{3} = 152.5 - 133.93 \times \frac{0.35}{3} = 136.87 \text{ kNm}$ ($K > K_I$)

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{136.87 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 937.7 \text{ mm}^2$$

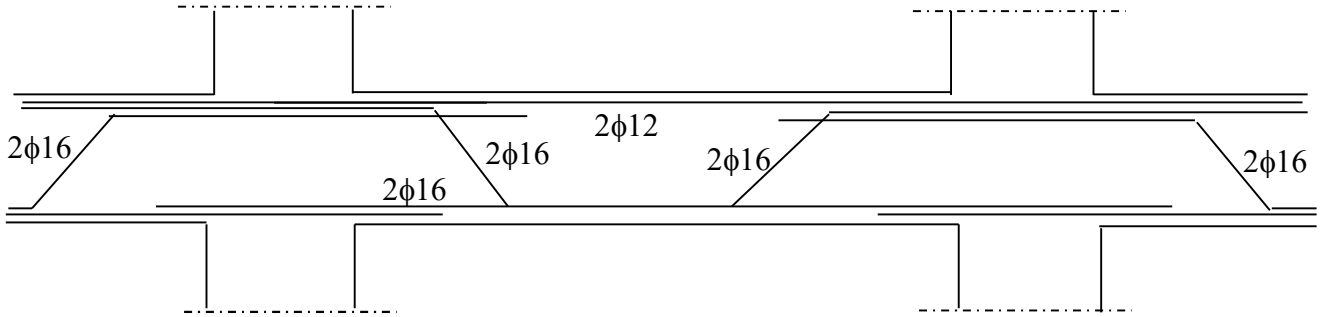
Mevcut: $4\phi 16 \text{ pilye} + 2\phi 12 \text{ montaj} = 1030 \text{ mm}^2 > 937.7 \text{ mm}^2$ Ek donatı gerekmez.

Sağ mesnet:

$$M_d = 132.4 - 128.57 \times \frac{0.35}{3} = 117.4 \text{ kNm} \quad (K > K_I)$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d} = \frac{117.4 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 804.3 \text{ mm}^2$$

Mevcut: $4\phi 16 \text{ pilye} + 2\phi 12 \text{ montaj} = 1030 \text{ mm}^2 > 804.3 \text{ mm}^2$ Ek donatı gerekmez.



Şekil 5.13

Kesme hesabı:

$$V_d = V - P_d \left(d + \frac{a}{2} \right) = 133.93 - 35 \times \left(0.465 + \frac{0.35}{2} \right) = 111.5 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 0.9 \times 10^{-3} \times 300 \times 465 = 81.6 \text{ kN}, \quad V_c = 0.8 V_{cr} = 65.3 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 0.22 f_{cd} b_w d = 0.22 \times 11 \times 300 \times 465 \times 10^{-3} = 337.6 \text{ kN}$$

$V_{cr} < V_d < V_{max}$ olduğundan etriye hesap ile bulunmalıdır.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} (d)} = \frac{(111.5 - 0.5 \times 65.3) \times 10^3}{191 \times 465} = 0.89 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

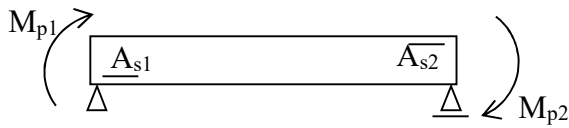
$$\phi 8 \text{ için, } A_o = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 8^2}{4} = 50.26 \text{ mm}^2, \quad A_{sw} = 2 \times A_o = 100.5 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0.89, \text{ buradan } s = 112.9 \text{ mm bulunur. Etriye } \phi 8/11 \text{ cm.}$$

$$\phi 10 \text{ için } A_{sw} = 157 \text{ buradan } s = 176.4 \text{ mm Etriye } \phi 10/17.5$$

b)

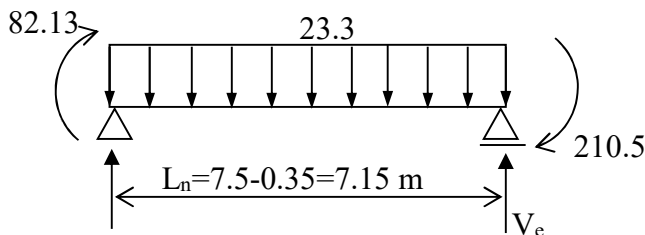
$$A_{s1} = 2\phi 16 = 402 \text{ mm}^2, \quad A_{s2} = 4\phi 16 + 2\phi 12 = 1030 \text{ mm}^2$$



$$M_{r1} = A_{s1} f_{yd} 0.86 d = 402 \times 365 \times 0.86 \times 465 \times 10^{-6} = 58.67 \text{ kNm}$$

$$M_{r2} = A_{s2} f_{yd} 0.86 d = 1030 \times 365 \times 0.86 \times 465 \times 10^{-6} = 150.34 \text{ kNm}$$

$$M_{p1} = 1.4 M_{r1} = 82.13 \text{ kNm}, \quad M_{p2} = 1.4 M_{r2} = 210.5 \text{ kNm}$$



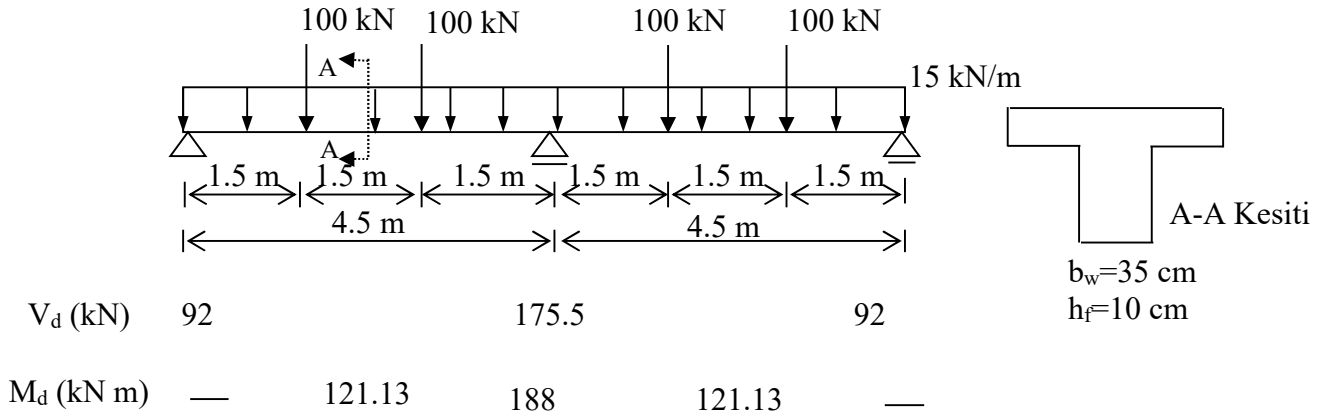
Deprem durumunda;
 $P_e = P_d / 1.5$
 $35 / 1.5 = 23.3 \text{ kN/m}$

$$V_e = \frac{82.13 + 210.5}{7.15} + \frac{23.3 \times 7.15}{2} = 124.2 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e}{f_{ywd} (d)} = \frac{124.2 \times 10^3}{191 \times 465} = 1.39 \text{ mm}^2/\text{mm}, \phi 10 \text{ için } s = 112.9 \text{ mm}$$

Etriye $\phi 10/11 \text{ cm}$

Örnek 4



Şekil 5.14

Şekil 5.14’te verilen sürekli kirişin boyutlarını belirleyerek eğilme ve kesme donatısını bulunuz. Mesnet genişliği, $a=30 \text{ cm}$, malzeme C20, S420, etriyeler S220 ve paspayı=30 mm.

Çözüm:

a) Ön tasarım:

Eğilme:

$$M_d = 188 \text{ kNm}, \quad K = \frac{b_w d^2}{M_d} \quad K_f = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$b_w d^2 = 380 \times 188 \times 10^3 \quad b_w = 350 \text{ mm için } d = 452 \text{ mm elde edilmektedir.}$$

$$b_w = 350 \text{ mm ve } h = 500 \text{ mm kabul edilir.}$$

b) Kesin tasarım:

Eğilme hesabı:

$$(+M_d = 121.13 \text{ kNm } (d = 470 \text{ mm}))$$

$$J d = d - h_f/2 = 470 - 100/2 = 420 \text{ mm} < 0.9 \times d = 423 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} J d} = \frac{121.13 \times 10^6}{365 \times 423} = 784.5 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Mesnet:

$$(-M_d = M_d - V \frac{a}{3} = 188 - 175.5 \times \frac{0.3}{3} = 170.4 \text{ kNm}$$

$$A_s = \frac{170.4 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 470} = 1155 \text{ mm}^2$$

Kesme hesabı:

$$V_d = V - P_d \left(d + \frac{a}{2} \right) = 175.5 - 15 \times \left(0.47 + \frac{0.3}{2} \right) = 166.2 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 350 \times 470 = 106.93 \text{ kN}, \quad V_c = 0.8 V_{cr} = 85.54 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 0.22 f_{cd} b_w d = 0.22 \times 13 \times 350 \times 470 \times 10^{-3} = 470.47 \text{ kN}$$

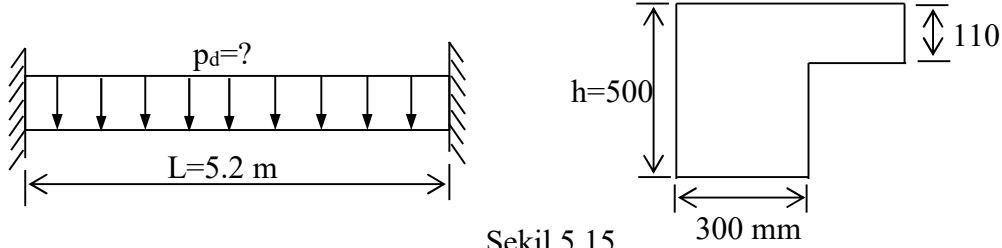
$V_{cr} < V_d < V_{max}$ olduğundan etriye hesap ile bulunmalıdır.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} (d)} = \frac{(166.2 - 0.5 \times 85.54) \times 10^3}{191 \times 470} = 1.37 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\phi 10 \text{ için, } A_o = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 10^2}{4} = 78.54 \text{ mm}^2, \quad A_{sw} = 2 \times A_o = 157.08 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 1.37, \text{ buradan } s = 114.6 \text{ mm bulunur. Etriye } \phi 10/11 \text{ cm.}$$

Örnek 5



Şekil 5.15

Şekil 5.15'te verilen ankastre kirişte minimum etriye bulundurulması durumunda kirişin taşıyabileceği yükü bulunuz ve eğilme hesabını yapınız. Malzeme C20, S420, etriyeler S220, paspayı=35 mm ve mesnet genişliği a=30 cm.

Çözüm:

$$\min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w, \quad \min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \times \frac{1}{191} \times 300 = 0.471 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 300 \times 465 = 90.67 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 72.5 \text{ kN}$$

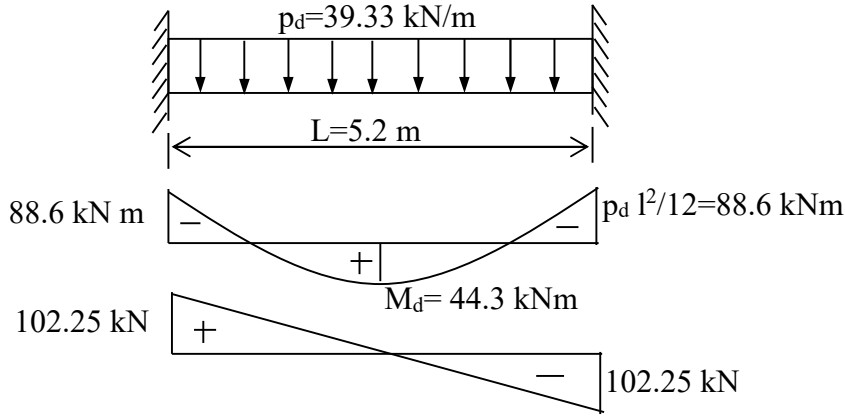
$$\min \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} (d)}$$

$$0.471 = \frac{(V_d - 0.5 \times 72.5) \times 10^3}{191 \times 465} \text{ bu ifadeden } V_d = 78.08 \text{ kN olarak bulunur.}$$

İki ucu ankastre kirişte kesme kuvveti $V = \frac{p_d L}{2}$ ve hesap kesme kuvvetinin mesnet yüzünden (d) kadar ötede olduğu dikkate alınırsa;

$$78.08 = \frac{p_d \times 5.2}{2} - p_d \times \left(0.465 + \frac{0.3}{2} \right) \text{ ifadesinden}$$

$p_d = 39.33 \text{ kN/m}$ elde edilir.



Şekil 5.16

$$(+)\ A_s = \frac{44.3 \times 10^6}{365 \times 0.9 \times 465} = 290 \text{ mm}^2 < \min A_s = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 305.7 \text{ mm}^2$$

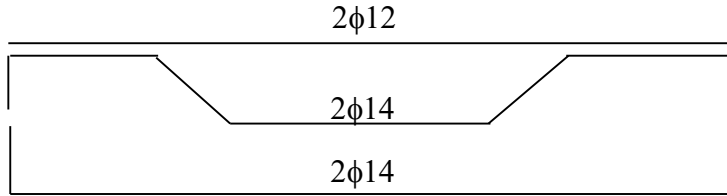
Seçilen donatı: $2\phi 14$ düz + $2\phi 14$ pilye = 616 mm^2 (Mesnette donatı ihtiyacından dolayı donatı bir miktar fazla seçilmiştir).

$$(-)M_d = 88.6 - 102.25 \times \frac{0.3}{3} = 78.37 \text{ kNm}$$

$$(-)A_s = \frac{78.37 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 536.9 \text{ mm}^2$$

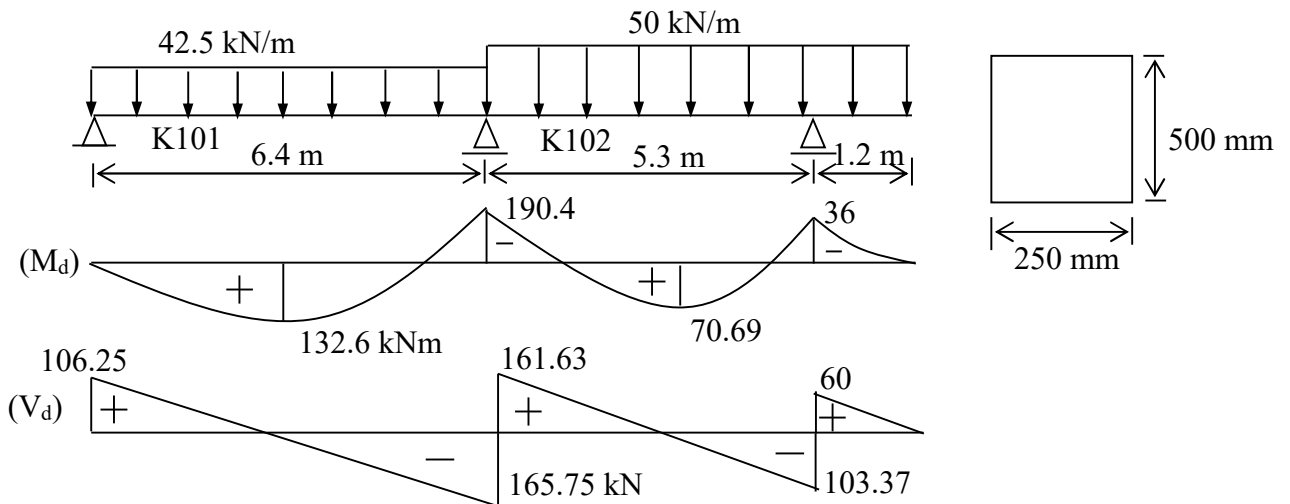
Mevcut donatı: $2\phi 14$ pilye + $2\phi 12$ montaj = 535 mm^2 (Ek donatı gerekmez).

Donatı detayı:



Şekil 5.17

Örnek 6



Şekil 5.18

Şekil 5.18’de verilen sürekli kirişin moment ve kesme kuvveti diyagramları verilmiştir. Buna göre sürekli kirişin eğilme ve kesme tasarımını yaparak, TDY 97’ye göre sıkılaştırma bölgesi etriye hesabını yapınız ve donatıyı şematik olarak gösteriniz. Malzeme C20, S420, etriyeler S220 ($f_{ctd}=1 \text{ N/mm}^2$), mesnet genişliği, $a=30 \text{ cm}$ ve paspayı=40 mm.

Çözüm:

Eğilme hesabı:

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 460^2}{190.4 \times 10^3}, \quad K_I = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

Açıklık: $(+)M_d=132.6 \text{ kNm}$, $K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 460^2}{132.6 \times 10^3} = 399 \text{ mm}^2/\text{kN} > K_I$

$$(+)\ A_s = \frac{132.6 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 460} = 918.3 \text{ mm}^2 > \min A_s = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 252 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: $3\phi 16 \text{ düz} + 2\phi 16 \text{ pilye} = 1005 \text{ mm}^2$

$$(+)\ A_s = \frac{70.69 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 460} = 489.5 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: $2\phi 14 \text{ düz} + 2\phi 14 \text{ pilye} = 616 \text{ mm}^2$

Mesnet: $(-)M_d = M - V \frac{a}{3} = 190.4 - 161.63 \times \frac{0.3}{3} = 174.2 \text{ kNm}$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{250 \times 460^2}{174.2 \times 10^3} = 304 \text{ mm}^2/\text{kN} < K_I$$

$$M_I = \frac{b_w d^2}{K_I} = \frac{250 \times 460^2}{380 \times 10^3} = 139.2 \text{ kNm}, \quad M_2 = M_d - M_I = 174.2 - 139.2 = 35 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_I}{f_{yd} j d} = \frac{139.2 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 460} = 964 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} = \frac{35 \times 10^6}{365 \times (460 - 40)} = 228.3 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1192.3 \text{ mm}^2, \quad A'_s = A_{s2} = 228.3 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ (mevcut)}} = 2\phi 16 + 2\phi 14 + 2\phi 12 = 936 \text{ mm}^2 \text{ (Mesnette üst donatı)}$$

$$A_{s \text{ (ilave)}} = 1192.3 - 936 = 256.3 \text{ mm}^2 \quad \text{Seçilen: } 2\phi 14 = 308 \text{ mm}^2 \text{ (İlave)}$$

$$A'_s = 228.3 \text{ mm}^2 \text{ mesnette altta } 2\phi 14 \text{ mevcut donatı yeterlidir, ek donatı gerekmez!}$$

Konsol mesneti:

Emniyetli olması açısından mesnette moment azaltması yapılmadan donatı hesaplanacaktır.

$$A_s = \frac{36 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 460} = 249.3 \text{ mm}^2 > \min A_s$$

Açıklıktan gelen $2\phi 14$ pilye ve $2\phi 12$ montaj donatısı üstte yeterlidir.

K102 kirişi $2\phi 14$ alt donatısı konsol boyunca devam ettirilir.

Kesme hesabı:

$$V_{cr}=0.65 f_{ctd} b_w d=0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 250 \times 460=74.75 \text{ kN}, V_c=0.8 V_{cr}=59.8 \text{ kN}$$

$$V_{max}=0.22 f_{cd} b_w d=0.22 \times 13 \times 250 \times 460 \times 10^{-3}=328.9 \text{ kN}$$

K101

$$V_d=V-P_d(d+\frac{a}{2})=165.75-42.5 \times (0.46+\frac{0.3}{2})=139.8 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} (d)} = \frac{(139.8 - 0.5 \times 59.8) \times 10^3}{191 \times 460} = 1.25 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\phi 10 \text{ için, } A_o=78.54 \text{ mm}^2, A_{sw}=2 \times A_o=157.08 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 1.25, \text{ buradan } s=125 \text{ mm bulunur. Etriye } \phi 10/12.5 \text{ cm.}$$

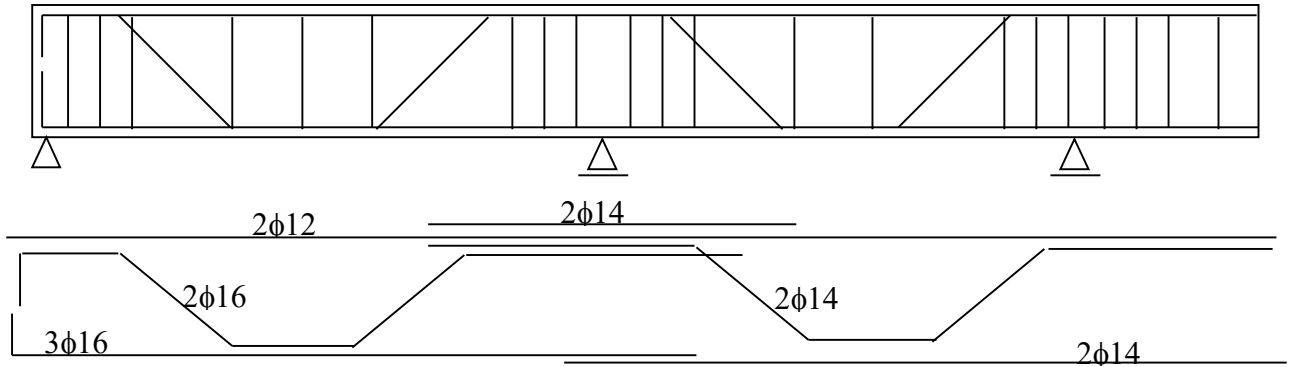
K102

$$V_d=V-P_d(d+\frac{a}{2})=161.63-50 \times (0.46+\frac{0.3}{2})=131.13 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} (d)} = \frac{(131.13 - 0.5 \times 59.8) \times 10^3}{191 \times 460} = 1.15 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Bu durumda etriye $\phi 10/13.5 \text{ cm}$

Donatı detayı:

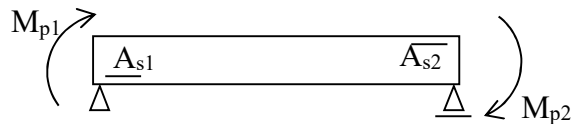


Şekil 5.19

TDY 97 Sıklaştırma bölgesi etriye hesabı:

K101

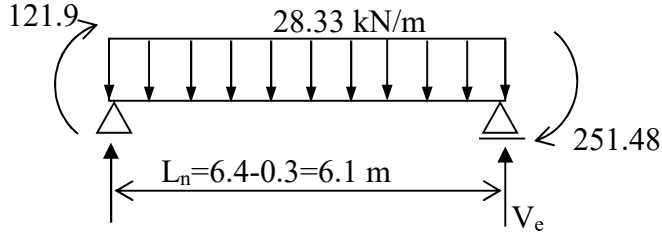
$$A_{s1}=3\phi 16=603 \text{ mm}^2, A_{s2}=2\phi 16+4\phi 14+2\phi 12=1244 \text{ mm}^2$$



$$M_{r1}=A_{s1} f_{yd} 0.86 d=603 \times 365 \times 0.86 \times 460 \times 10^{-6}=87.06 \text{ kNm}$$

$$M_{r2}=A_{s2} f_{yd} 0.86 d=1244 \times 365 \times 0.86 \times 460 \times 10^{-6}=179.63 \text{ kNm}$$

$$M_{p1}=1.4 M_{r1}=121.9 \text{ kNm}, M_{p2}=1.4 M_{r2}=251.48 \text{ kNm}$$



Deprem durumunda;
 $p_e = p_d / 1.5$
 $p_e = 42.5 / 1.5 = 28.33 \text{ kN/m}$

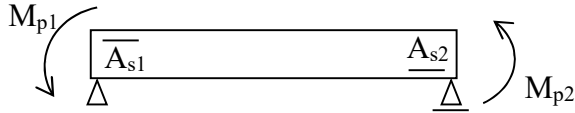
$$V_e = \frac{121.9 + 251.48}{6.1} + \frac{28.33 \times 6.1}{2} = 147.6 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e}{f_{ywd} (d)} = \frac{147.6 \times 10^3}{191 \times 460} = 1.68 \text{ mm}^2/\text{mm}, \phi 10 \text{ için } s = 93.5 \text{ mm}$$

Etriye $\phi 10/9.5 \text{ cm}$

K102

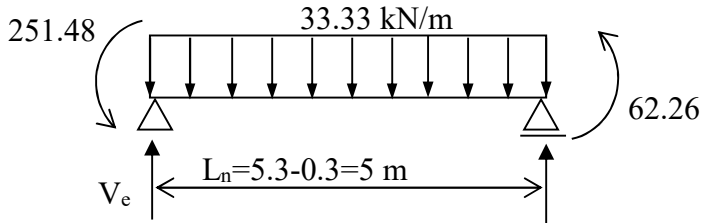
$$A_{s1} = 2\phi 16 + 4\phi 14 + 2\phi 12 = 1244 \text{ mm}^2 \quad A_{s2} = 2\phi 14 = 308 \text{ mm}^2,$$



$$M_{r1} = A_{s1} f_{yd} 0.86 d = 1244 \times 365 \times 0.86 \times 460 \times 10^{-6} = 179.63 \text{ kNm}$$

$$M_{r2} = A_{s2} f_{yd} 0.86 d = 308 \times 365 \times 0.86 \times 460 \times 10^{-6} = 44.47 \text{ kNm}$$

$$M_{p1} = 1.4 M_{r1} = 251.48 \text{ kNm}, \quad M_{p2} = 1.4 M_{r2} = 62.26 \text{ kNm}$$

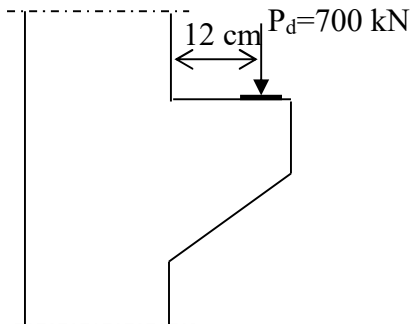


Deprem durumunda;
 $p_e = p_d / 1.5$
 $p_e = 50 / 1.5 = 33.33 \text{ kN/m}$

$$V_e = \frac{251.48 + 62.26}{5} + \frac{33.33 \times 5}{2} = 146.08 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e}{f_{ywd} (d)} = \frac{146.08 \times 10^3}{191 \times 460} = 1.66 \text{ mm}^2/\text{mm}, \phi 10 \text{ için } s = 94.6 \text{ mm Etriye } \phi 10/9 \text{ cm}$$

Örnek 7



Şekil 5.20’de verilen kısa konsolda aksenal kuvvet özel önlemlerle önlenmiştir. Konsolun boyutlarını belirleyerek tasarımını yapınız ve donatıyı detaylandırınız. Malzeme C30, S420 ve paspayı=35 mm.

Şekil 5.20

Çözüm:

a)

$$V_d=700 \text{ kN}, \quad M_d=P_d(a)=700 \cdot 0.12=84 \text{ kNm}$$

$$b_w d = \frac{V_d}{0.22 f_{cd}} = \frac{700 \times 10^3}{0.22 \times 20} = 159091 \text{ mm}^2$$

$b_w=350 \text{ mm}$ için $d=455 \text{ mm}$ olur Seçilen ($b_w/h=350/500$)

b)

$$A_s = \frac{V_d a_v + H_d (h - d)}{f_{yd} (0.8) d}$$

$$A_s = \frac{(700 \times 120) \times 10^3}{365 \times 0.8 \times 465} = 618.6 \text{ mm}^2, \quad A_n = \frac{H_d}{f_{yd}} = 0 \quad (H_d=0)$$

$$A_{st} = A_s + A_n = 618.6 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

TS500'e göre;

$$A_{st} \geq 0.05 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d \text{ olmalıdır.}$$

$$A_{st} = 618.6 \geq 0.05 \times \frac{20}{365} \times 350 \times 465 = 446 \text{ mm}^2$$

$$V_r = 0.22 f_{cd} b_w d = 716 \text{ kN} > 700 \text{ kN}$$

$$A_{wf} = \frac{V_d}{\mu f_{yd}} = \frac{700 \times 10^3}{1.4 \times 365} = 1370 \text{ mm}^2$$

TS500'e göre;

$$A_{st} \geq \frac{2}{3} A_{wf} + A_n \text{ olmalıdır. Yatay kuvvet olmadığından } A_n = 0$$

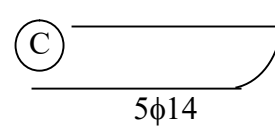
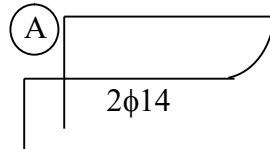
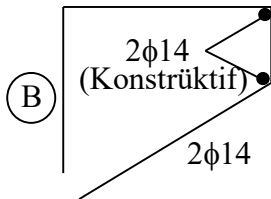
$$A_{st} \geq \frac{2}{3} \times 1370 = 913.3 \text{ mm}^2 > 618.6 \text{ mm}^2 \text{ olduğundan } A_{st} = 913.3 \text{ mm}^2 \text{ alınmalıdır.}$$

Detaylandırma:

$$\text{Çekme Donatısı} = 913.3 \text{ mm}^2, \text{ Seçilen } 2\phi 14 = 308 \text{ mm}^2 \text{ (B)}$$

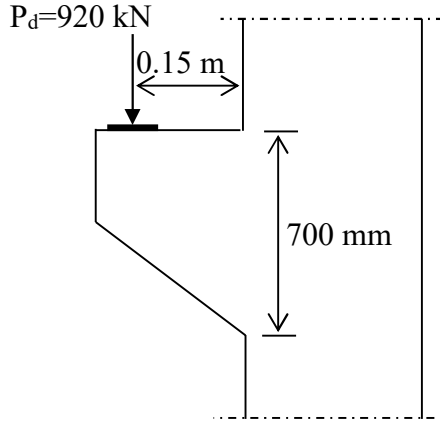
$$2\phi 14 \text{ (firkete)} = 2 \times 2 \times 154 = 616 \text{ mm}^2 \text{ (A)}$$

$$\text{Gövdedeki yatay kayma donatısı: } 5\phi 14 \text{ (firkete)} = 2 \times 5 \times 154 = 1540 \text{ mm}^2 \text{ (C)}$$



Şekil 5.21

Örnek 8



Şekil 5.22’de verilen kısa konsolun;

- Kolon yüzündeki derinliği 700 mm olduğuna göre gerekli (b_w) genişliğini bulunuz.
- Donatı hesabını yapınız. Eksenel kuvvet özel önlemlerle önlenmiştir. Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm.

Şekil 5.22

Çözüm:

a)

$$V_d = 920 \text{ kN}, \quad M_d = P(a) = 920 \times 0.15 = 138 \text{ kNm}$$

$$b_w = \frac{V_d}{0.22 f_{cd} d} = \frac{920 \times 10^3}{0.22 \times 17 \times 660} = 372.7 \text{ mm},$$

$$b_w = 400 \text{ mm seçilir.}$$

b)

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} 0.8 d} = \frac{138 \times 10^6}{365 \times 0.8 \times 660} = 716.06 \text{ mm}^2 = A_{st} \quad (A_n = 0)$$

TS500’e göre;

$$A_{st} \geq 0.05 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d \text{ olmalıdır.}$$

$$A_{st} = 716.06 \geq 0.05 \times \frac{17}{365} \times 400 \times 660 = 614.8 \text{ mm}^2$$

$$V_r = 0.22 f_{cd} b_w d = 987.36 \text{ kN} > 920 \text{ kN}$$

$$A_{wf} = \frac{V_d}{\mu f_{yd}} = \frac{920 \times 10^3}{1.4 \times 365} = 1800 \text{ mm}^2$$

TS500’e göre;

$$A_{st} \geq \frac{2}{3} A_{wf} + A_n \text{ olmalıdır. Yatay kuvvet olmadığından } A_n = 0$$

$$A_{st} \geq \frac{2}{3} \times 1800 = 1200 \text{ mm}^2 > 975.04 \text{ mm}^2 \text{ olduğundan } \underline{A_{st} = 1200 \text{ mm}^2} \text{ alınmalıdır.}$$

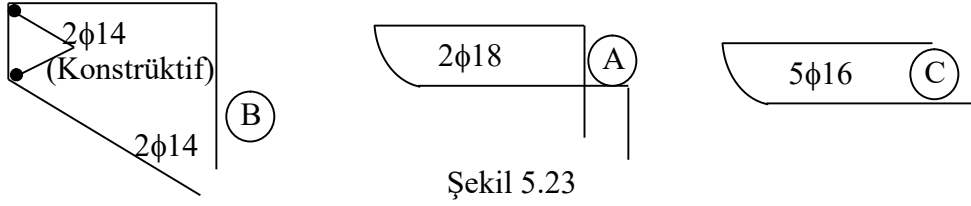
Detaylandırma:

$$\text{Çekme Donatısı} = 1200 \text{ mm}^2, \text{ Seçilen } 2\phi 14 = 308 \text{ mm}^2 \quad \textcircled{B}$$

$$2\phi 18 \text{ (firkete)} = 2 \times 2 \times 254 = 1016 \text{ mm}^2 \quad \textcircled{A}$$

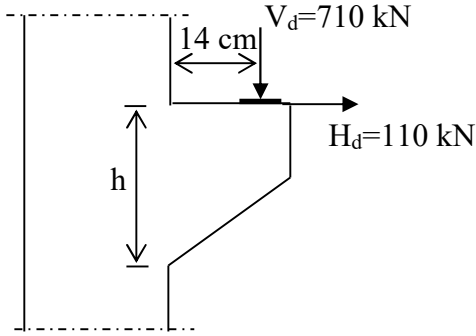
$$\text{Gövdedeki yatay kayma donatısı, } A_{wf} = 1800 \text{ mm}^2$$

$$5\phi 16 \text{ (firkete)} = 2 \times 5 \times 201 = 2010 \text{ mm}^2 \quad \textcircled{C}$$



Şekil 5.23

Örnek 9



Şekil 5.24'te verilen kısa konsolun;

- Boyutlarını belirleyiniz
- Donatı hesabını yapınız ve donatıyı detaylandırınız. Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

Şekil 5.24

Çözüm:

$$V_d = 0.8 V_r \quad 710 \times 10^3 = 0.8 \times 0.22 \times 17 (b_w) d$$

$b_w = 400$ mm seçilirse $d = 593$ mm elde edilir.

Seçilen boyut $b_w = 400$ mm ve $h = 650$ mm.

$$H_d = 0.2 \times 710 = 142 \text{ kN} > 110 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{V_d a_v + H_d (h - d)}{f_{yd} (0.8) d}$$

$$A_s = \frac{(710 \times 140 + 142 \times 50) \times 10^3}{365 \times 0.8 \times 600} = 607.9 \text{ mm}^2$$

$$A_n = \frac{H_d}{f_{yd}} = \frac{142 \times 10^3}{365} = 389 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = A_s + A_n = 996.9 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

$$A_{st} = 996.9 \geq 0.05 \times \frac{17}{365} \times 400 \times 600 = 558.9 \text{ mm}^2 \text{ Uygun.}$$

$$A_{wf} = \frac{V_d}{\mu f_{yd}} = \frac{710 \times 10^3}{1.4 \times 365} = 1389.4 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} \geq \frac{2}{3} A_{wf} + A_n \text{ olmalıdır.}$$

$$A_{st} = 996.9 \geq \frac{2}{3} \times 1389.4 + 389 = 1315.3 \text{ mm}^2$$

Bu durumda $A_{st} = 1315.3 \text{ mm}^2$ olarak alınır.

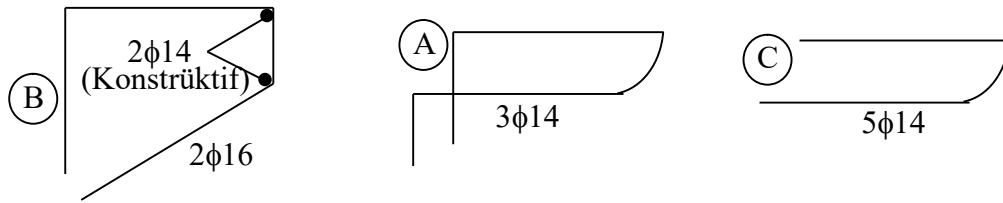
$$A_{sv} \geq 0.5(A_{st} - A_n) = 463 \text{ mm}^2$$

Detaylandırma:

Çekme Donatısı = 91315.3 mm^2 , Seçilen $2\phi 16 = 402 \text{ mm}^2$ (B)

$$3\phi 14 \text{ (firkete)} = 3 \times 2 \times 154 = 924 \text{ mm}^2 \text{ (A)}$$

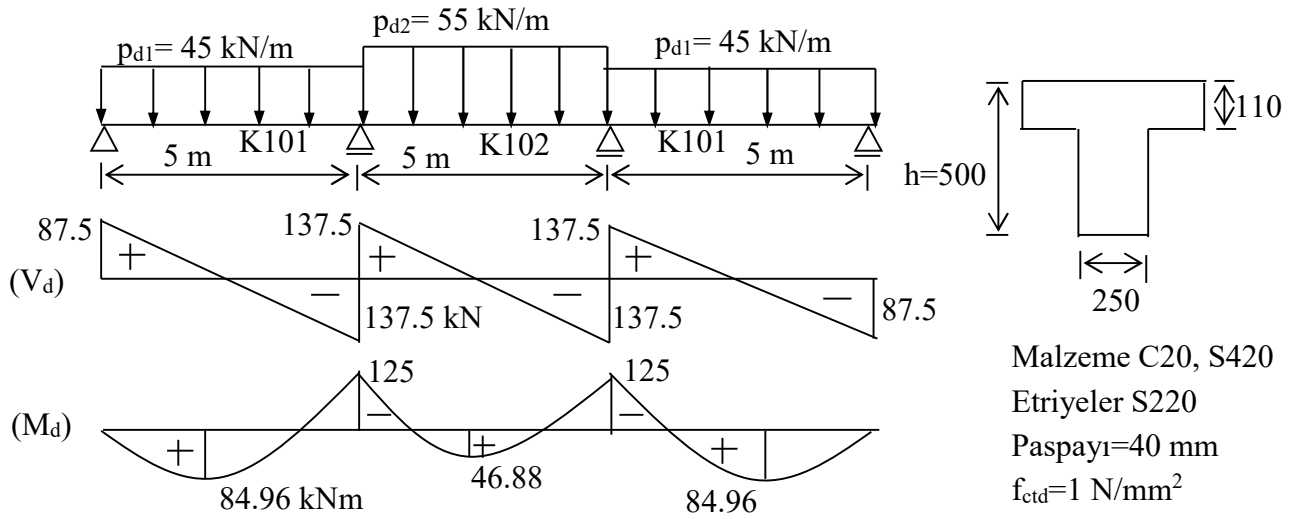
$$\text{Gövdedeki yatay kayma donatısı: } 5\phi 14 \text{ (firkete)} = 5 \times 2 \times 154 = 1540 \text{ mm}^2 \text{ (C)}$$



Şekil 5.25

5.5 Çalışma Soruları

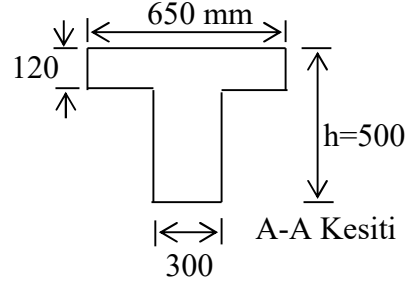
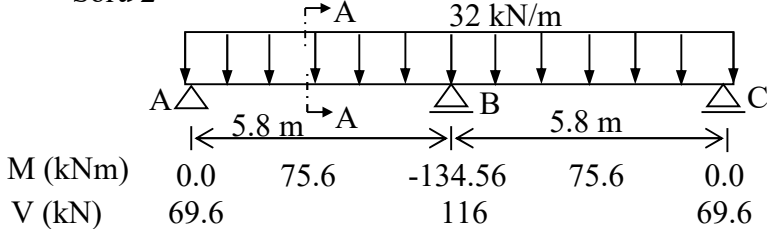
Soru 1



Şekil 5.26

Şekil 5.26’da verilen sürekli kirişin eğilme ve kesme donatısını hesaplayınız. K101 ve K102 kirişleri için TDY 97’ye göre sıklaştırma bölgesi etriye hesabını yapınız ve donatıyı detaylandırınız.

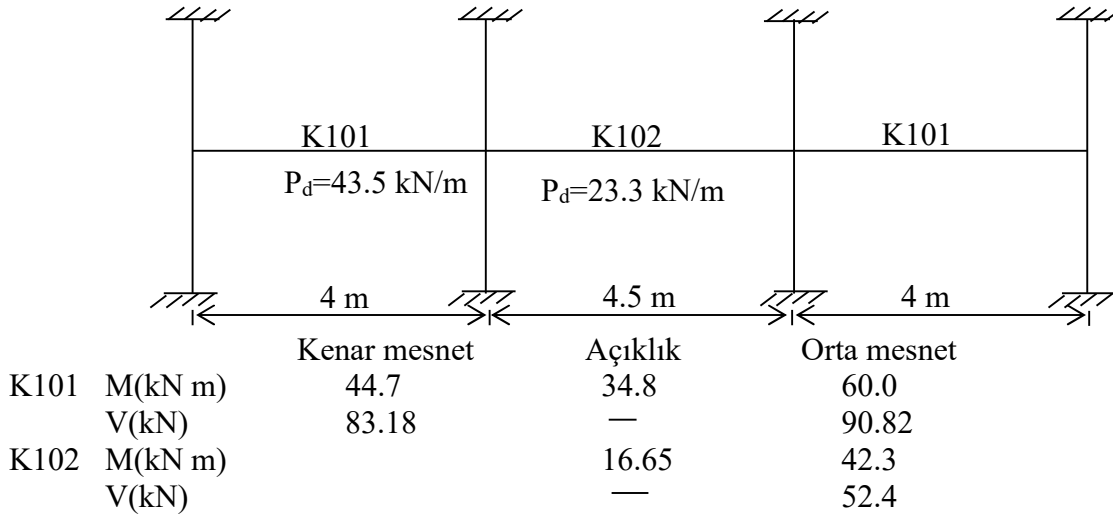
Soru 2



Şekil 5.27

Şekil 5.27’de verilen kirişin eğilme ve kesme tasarımını yaparak, Türk Deprem Yönetmeliğine göre sarılma bölgesi etriye hesabını yapınız. Malzeme C25, S420, etriyeler S220, mesnet genişliği, $a=40$ cm, paspayı=40 mm ve $f_{ctd}=1.2$ N/mm². Beton kesme kuvveti katkısı $0.5V_c$ alınacaktır.

Soru 3



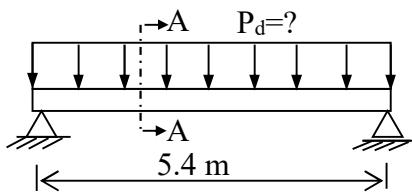
Şekil 5.28

Şekil 5.28’de verilen çerçevenin;

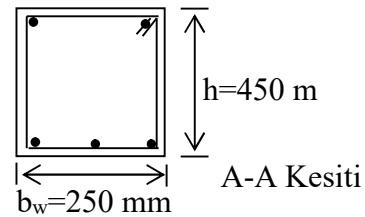
- Eğilmeye göre dikdörtgen kesitli kirişin boyutlarını belirleyiniz.
- Dikdörtgen kesitli kiriş boyutunu 25x50 cm alarak eğilme ve kesme tasarımını yapınız.

Malzeme C20, S420, etriyeler S220 ve paspayı=30 mm alınacaktır. Verilen tesirler kolon yüzündeki değerler olup, kesme hesabında pilyelerin katkısı dikkate alınmayıp beton katkısı %50 kabul edilecektir. K101 kirişi için ayrıca TDY 97’ye göre de kesme hesabı yapılacaktır. Hesaplanan donatıyı şematik olarak gösteriniz.

Soru 4

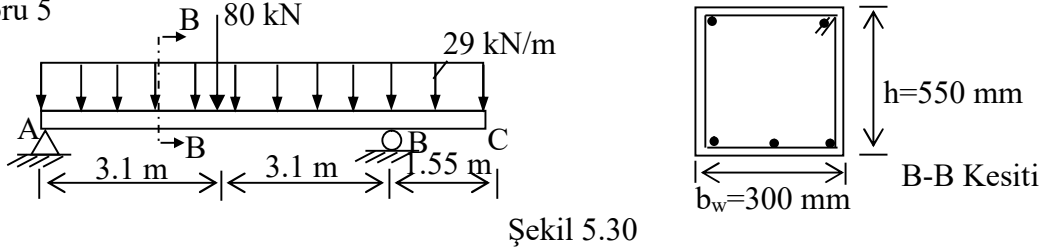


Şekil 5.29



Şekil 5.29’da verilen kirişte $\phi 10/14$ cm etriye kullanılması durumunda kirişin taşıyabileceği yükü (P_d) bulunuz. Eğilme donatısını hesaplayarak donatıyı detaylandırınız. Malzeme C25, S420, Etriyeler S220 , $f_{ctd}=1.2 \text{ N/mm}^2$ paspayı=35 mm. $V_c=0.5V_c$

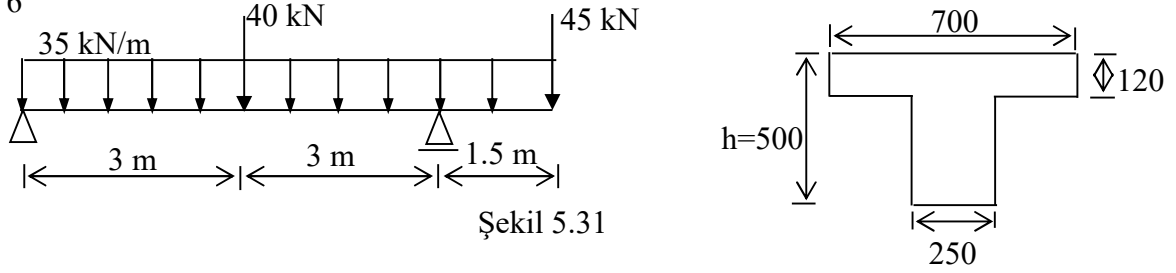
Soru 5



Şekil 5.30

Şekil 5.30’da verilen kirişin eğilme ve kesme tasarımı yaparak, TDY97’ye göre sıklaştırma bölgesi etriye hesabını yapınız. Malzeme C20, S420, $f_{ctd}=1.0 \text{ N/mm}^2$ paspayı=40 mm. $V_c=0.5V_c$, mesnet genişliği, $a=30$ cm alınacaktır.

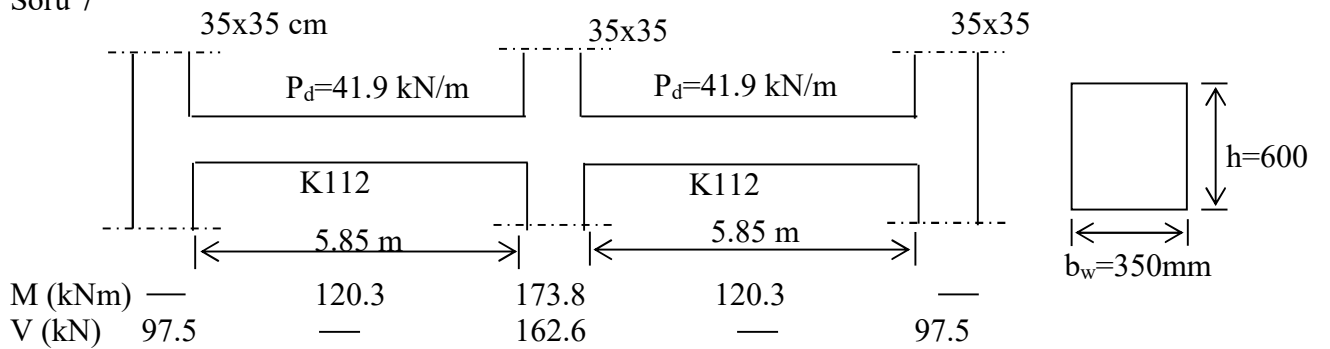
Soru 6



Şekil 5.31

Şekil 5.31’de verilen kirişin boyutlarını kontrol ederek tasarımı yapınız. Donatı detayını şematik olarak gösteriniz ve TDY 97’ye göre sıklaştırma bölgesi etriye hesabını yapınız. Malzeme C20, S420, etriyeler S220, mesnet genişliği, $a=30$ cm ve paspayı=40 mm.

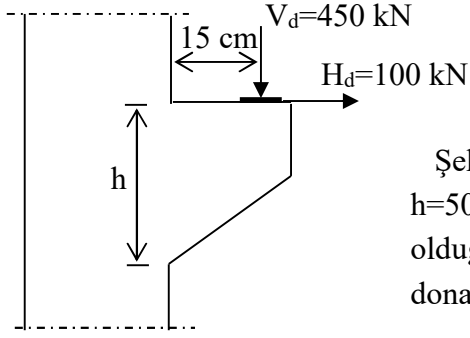
Soru 7



Şekil 5.32

Şekil 5.32’de verilen sürekli kirişin boyutlarını kontrol ediniz. Eğilme ve kesme donatısını hesaplayınız. Donatıyı seçerek kiriş üzerinde şematik olarak gösteriniz. Malzeme C16, S220, paspayı=40 mm.

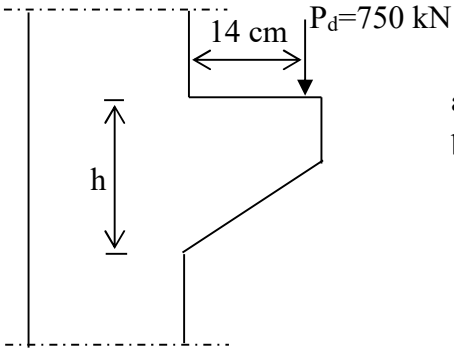
Soru 8



Şekil 5.33'te verilen kısa konsolda $b_w=350$ mm, $h=500$ mm, paspayı=50 mm ve Malzeme C25, S420 olduğuna göre, konsolun boyutlarını kontrol ederek donatı hesabını yapınız ve donatıyı detaylandırınız.

Şekil 5.33

Soru 9



- Şekil 5.34'te verilen kısa konsolu boyutlandırınız.
- $b_w=300$ mm, $d=600$ mm alarak konsolun donatı hesabını yapınız ve donatı detaylarını çiziniz. Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

Şekil 5.34

6 BURULMA ETKİSİ

Burulma, kesme ve eğilme altında zorlanan yapı elemanlarında oluşacak asal çekme gerilmeleri, yeterli donatı ile karşılanmalı, asal basınç gerilmeleri ise, gövdede ezilme oluşturmayacak bir düzeyde tutulmalıdır. Yapı sistemlerinde burulma denge burulması ve uygunluk burulması olarak iki sınıfa ayrılır.

Denge burulması, kullanılabilirlik ve taşıma gücü sınır durumlarında taşıyıcı sistemdeki dengenin sağlanması için hesaba katılması zorunlu olan burulma, uygunluk burulması ise, taşıma gücü sınır durumunda taşıyıcı sistemdeki dengenin sağlanması için hesaba katılması zorunlu olmayan burulmadır.

6.1 Eğik Çatlama Sınırı

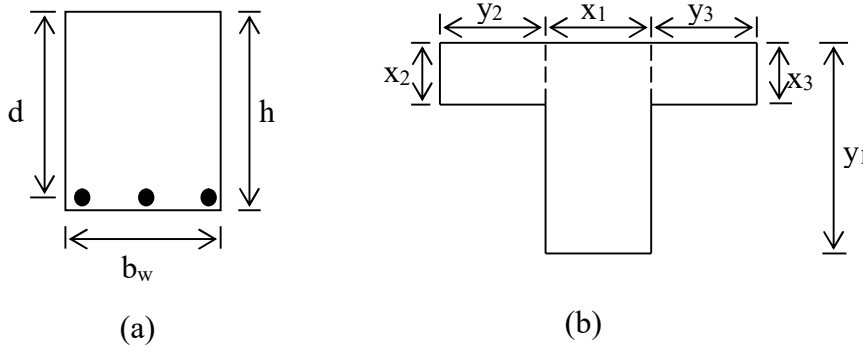
Kesme kuvveti yanısıra burulma momentinin de bulunduğu durumlarda eğik çatlama sınırı aşağıdaki bağıntı ile belirlenmelidir;

$$\left(\frac{V_d}{V_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{T_d}{T_{cr}}\right)^2 \leq 1.0 \quad (6.1)$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d$$

$$T_{cr} = 1.35 f_{ctd} S \quad (6.2)$$

olarak hesaplanır. Buradaki S, burulma dayanım momenti olup daha kesin hesap yapılmayan durumlarda kesit geometrisine bağlı olarak aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.



Şekil 6.1

Dikdörtgen Kesitler:

$$S = \left(\frac{1}{3}\right) b_w^2 h \quad (6.3a)$$

Tablalı Kesitler:

Tabla dikdörtgenlere bölünür, gövde dışına taşan tabla genişliği, tabla kalınlığının üç katından fazla alınmamalıdır.

$$S = \left(\frac{1}{3}\right) \sum x_i^2 y_i \quad (6.3b)$$

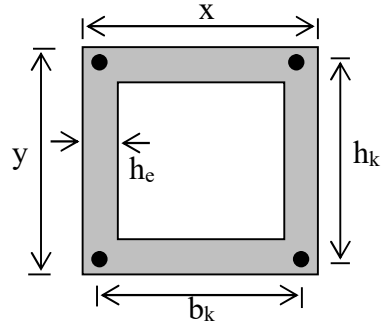
Kutu Kesitler:

$$h_e \geq \frac{1}{5} x \text{ ise;}$$

$$S = \left(\frac{1}{3}\right) x^2 y$$

$$h_e \leq \frac{1}{5} x \text{ ise;}$$

$$S = 2(b_k)(h_k)h_e$$

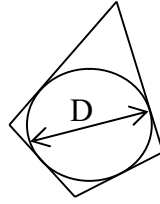


$$(6.3c)$$

$$(6.3d)$$

Çok Kenar:

$$S = \frac{\pi D^3}{12}$$



$$(6.3e)$$

Şekil 6.2

6.2 Tasarım Kuvvetlerinin Saptanması

Tasarım burulma momenti, denge burulması olan durumlarda elastik yapısal çözümlemeden elde edilen değerdir ve kesit hesabında bu değer azaltılmadan kullanılmalıdır. Uygunluk burulmasında ise, burulma momentinin hesabına gerek yoktur, bu değer çatlama momentine eşit kabul edilebilir. Bu durumda minimum etriyenin sağlanması yeterli olur.

$$T_d = T_{cr}$$

$T_d \leq 0.65 f_{ctd} S$ olan durumlarda burulma ihmal edilebilir. Bu durumlarda minimum etriye koşulu yalnızca kesme için uygulanır.

6.3 Dayanım

Tasarım kesme kuvveti ve tasarım burulma momenti eğik çatlama sınırını sağlıyorsa etriye hesabına gerek yoktur. Ancak, kesme ve burulma için minimum etriye ve minimum boyuna donatı bulundurulmalıdır. Eğik çatlama sınırı aşıyorsa, etriye hesabı aşağıdaki gibi yapılır;

$$\frac{A_o}{s} = \frac{A_{ov}}{s} + \frac{A_{ot}}{s} \quad (6.4)$$

$$\frac{A_{ov}}{s} = \frac{b_w (V_d - V_c)}{d n f_{ywd}} \quad (6.5)$$

$$\frac{A_{ot}}{s} = \frac{T_d}{2 A_e f_{ywd}} \quad (6.6)$$

Çok kollu etriye düzenlendiğinde, iç kollar burulma donatısı olarak göz önüne alınamaz. Burulmanın bulunduğu durumlarda, A_e alanını çevreleyen etriyenin kesit alanı A_{ot} den az ve burulma için gerekli etriyeye eşit hacimde boyuna donatı bulundurulması zorunludur. Gerekli boyuna donatı aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$A_{sl} = \frac{A_{ot}}{s} (U_e) \frac{f_{ywd}}{f_{yd}} \quad (6.7)$$

Eğilme ve eksenel kuvvet için gerekli donatılar ayrıca hesaplanarak, yukarıdaki donatıya eklenir.

Uygunluk burulması durumunda etriye ve boyuna donatı hesabı yapılmayabilir. Bu durumda minimum donatı bulundurulması yeterlidir. Ancak bu donatı basit kesme için gerekli donatıdan az olamaz.

6.4 Gevrek Kırılmanın Önlenmesi

a) Minimum Donatı

Asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşacak gevrek kırılmanın önlenmesi için, aşağıdaki minimum etriye ve boyuna donatı zorunludur.

$$\frac{A_o}{s} \geq 0.15 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \left(1 + 1.3 \frac{T_d}{V_d b_w} \right) b_w \quad (6.8)$$

Bu bağıntıda, $T_d/(V_d b_w) \leq 1.0$ alınmalıdır. Uygunluk burulmasında $T_d=T_{cr}$ alınır. Ayrıca A_e alanını çevreleyen etriye, bu denklemdeki ikinci terimden (burulma minimum etriyesi) az olmamalıdır.

$$A_{sl} = \frac{T_d U_e}{2 f_{yd} A_e} \quad (6.9)$$

b) Üst Sınır

Yüksek asal basınç gerilmeleri nedeni ile gövde betonunun ezilmesini önlemek amacıyla, zorlamalar aşağıdaki biçimde sınırlanmıştır. Bu koşul sağlanamazsa, giriş kesit boyutları büyütülmelidir.

$$\left(\frac{T_d}{S} + \frac{V_d}{b_w d} \right) \leq 0.22 f_{cd} \quad (6.10)$$

6.5 Donatı Detayları

Kesme kuvveti ve burulma momentinin birlikte etki ettiği durumlarda, etriye ve boyuna donatı için aşağıdaki koşullara uyulmalıdır.

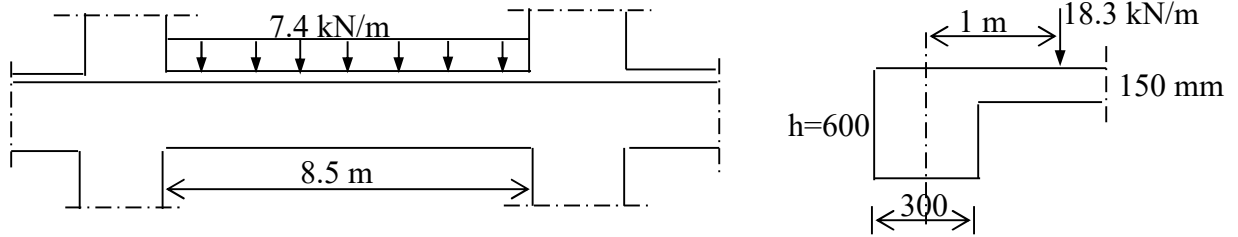
Burulmanın ihmal edilemeyeceği durumlarda etriye uçlarının 90° kancalı yapılmasına izin verilmemeli, 135° derece kapalı etriyeler kullanılmalı ve etriye uçları çekirdek içine kenetlenmelidir. Etriye aralığı da aşağıdaki sınırı geçmemelidir.

$$s \leq d/2, \quad s \leq U_e/8, \quad s \leq 300 \text{ mm}$$

Burulma için hesaplanan boyuna donatı, kesit çevresine dağıtılarak, her köşede çapı 12 mm den küçük olmayan çubuklar kullanılır. Boyuna çubuklar arasındaki uzaklık 300 mm yi geçmemelidir.

6.6 Örnekler

Örnek 1

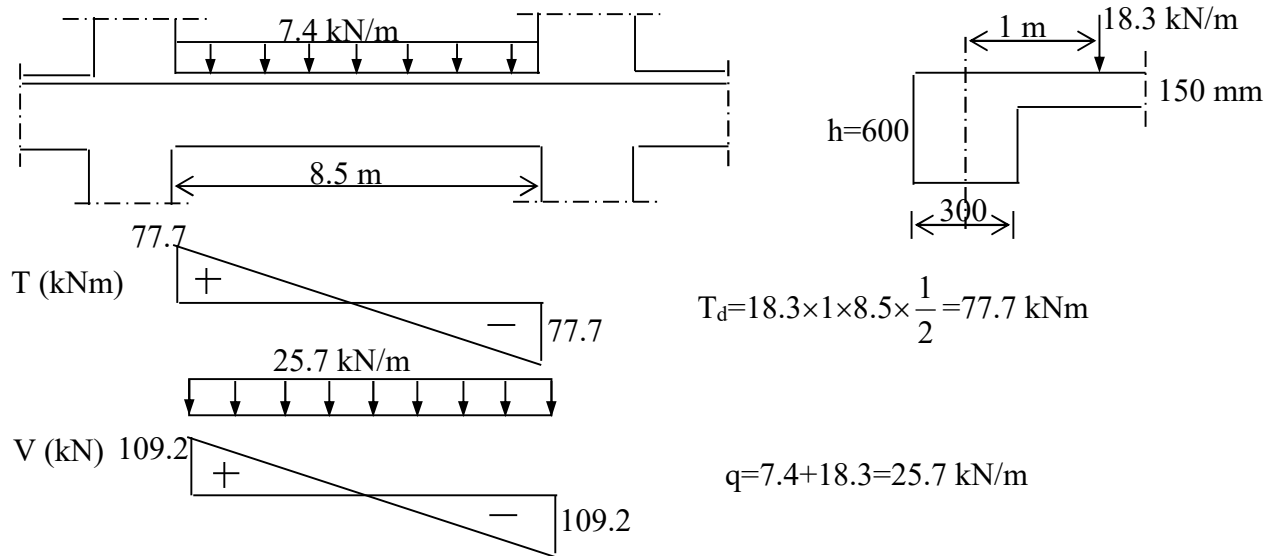


Şekil 6.3

Şekil 6.3'te verilen 8.5 m açıklıklı kiriş monolitik olarak üzerindeki konsol plağı taşımaktadır. Konsol plak 18.3 kN/m lik yayılı yükü, 1m. eksantrisite ile uygulamaktadır. Kiriş üzerinde ise 7.4 kN/m lik yayılı yük bulunmaktadır.

- L kesit olarak oluşan kiriş kesitini burulmaya göre kontrol ediniz.
- $h=610$ mm kabul ederek burulma ve kesme donatısını hesaplayınız (çap ve aralık seçilecektir). Malzeme C25, S420 ve paspayı=50 mm.

Çözüm:



Şekil 6.4

a) Burulma kontrolü:

$$V_d = V - P_d(d) = 109.2 - 25.7 \times 0.55 = 95.06 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 1.15 \times 10^{-3} \times 300 \times 550 = 123.3 \text{ kN}$$

$$V_{cr} > V_d$$

$$S = 1.35 \frac{1}{3} \sum x_i^2 y_i$$

$$S = 0.45 \times (300^2 \times 600 + 150^2 \times 450) = 28856.25 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$T_{cr} = S f_{ctd} = 28856.25 \times 10^3 \times 1.15 \times 10^{-6} = 33.18 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{T_d}{T_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{cr}} \right)^2 > 1 \text{ Kesit çatlamıştır!}$$

$$\tau = \frac{V_d}{b_w d} + \frac{T_d}{S} = \frac{95.06 \times 10^3}{300 \times 550} + \frac{77.7 \times 10^6}{28.856 \times 10^6} = 3.26 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\max} = 0.22 f_{cd} = 3.74 \text{ N/mm}^2$$

Burulmaya göre boyut yeterlidir!

b)

$$b_w = 300 \text{ mm}, h = 610 \text{ mm} (d = 560 \text{ mm})$$

$$A_e = 200 \times 510 = 102000 \text{ mm}^2, U_e = 2 \times (200 + 510) = 1420 \text{ mm}$$

$$V_{cr} = 125.6 \text{ kN}, V_c = 100.5 \text{ kN}$$

$$\frac{A_o}{s} = \frac{V_d - V_c}{2 f_{ywd} (d)} + \frac{T_d}{2 A_e f_{ywd}} = \frac{(95.06 - 100.5) \times 10^3}{2 \times 365 \times 560} + \frac{77.7 \times 10^6}{2 \times 102000 \times 365} = 1.04 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

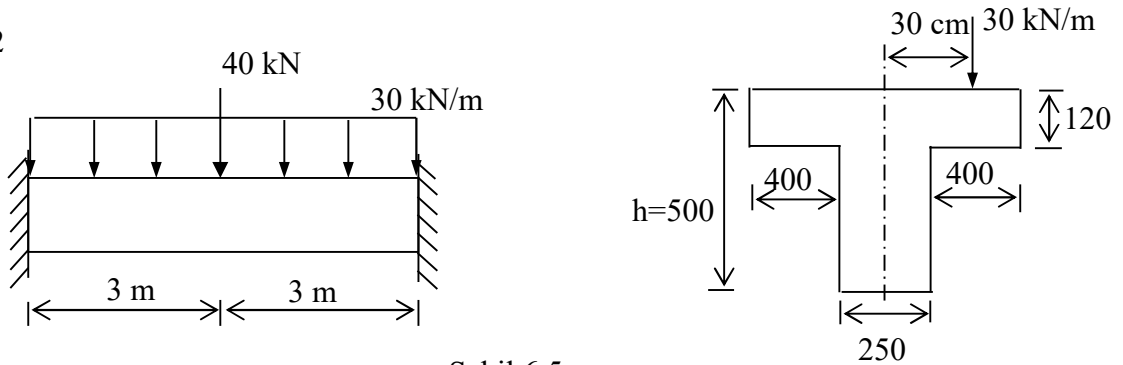
$$\phi 10 \text{ için } A_o = 78.53 \text{ mm}^2 \quad \frac{78.53}{s} = 1.04 \quad s = 75.5 \text{ mm} < (d/2, U_e/8, 30 \text{ cm})$$

Etriye $\phi 10/7 \text{ cm}$

Boyuna donatı:

$$A_{sl} = \frac{A_{ot}}{s} U_e \frac{f_{ywd}}{f_{yd}} = \frac{77.7 \times 10^6}{2 \times 102000 \times 365} \times 1420 \times \frac{365}{365} = 1481.8 \text{ mm}^2$$

Örnek 2



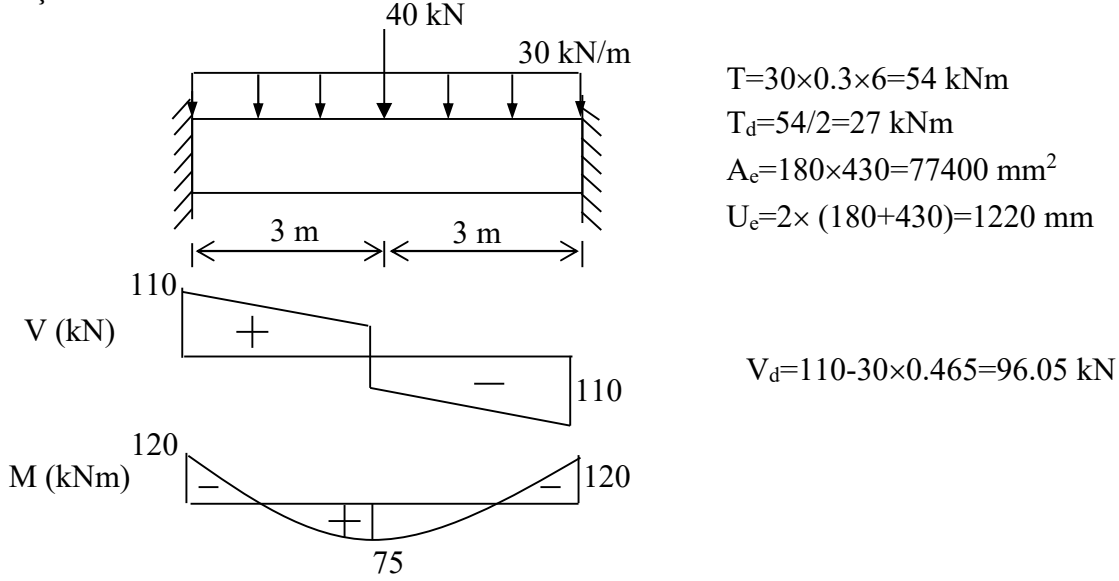
Şekil 6.5

Şekil 6.5'te verilen iki ucu ankastre kirişin eğilme, burulma ve kesme hesabını yapınız. Malzeme C20, S420, etriyeler S220, paspayı=35 mm ve beton katkısı %50 alınacaktır.

İki ucu ankastre kirişte uç momentleri:

$$\text{Yayıllı Yük} = \frac{q L^2}{12}, \quad \text{Tekil Yük} = \frac{P L}{8}$$

Çözüm:



Şekil 6.6

Eğilme:

$$(+)M_d = 75 \text{ kNm}, \quad 0.9d > d - h_f/2, \quad (-)M_d = 120 \text{ kNm}$$

$$(+)A_s = \frac{M_d}{f_{yd} 0.9d} = \frac{75 \times 10^6}{365 \times 0.9 \times 465} = 491 \text{ mm}^2, \quad (-)A_s = \frac{120 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 822 \text{ mm}^2$$

Kesme+Burulma:

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 75.56 \text{ kN}, \quad V_c = 0.8 V_{cr} = 60.45 \text{ kN}$$

$$S = 1.35 \frac{1}{3} \sum x_i^2 y_i$$

$$S = 1.35 \times \frac{1}{3} \times (250^2 \times 500 + 2 \times 120^2 \times 360) = 18728100 \text{ mm}^3$$

$$T_{cr} = S f_{ctd} = 18.73 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{T_d}{T_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{cr}} \right)^2 = 3.69 > 1 \text{ Kesit çatlamıştır!}$$

$$\tau = \frac{V_d}{b_w d} + \frac{T_d}{S} = \frac{96.05 \times 10^3}{250 \times 465} + \frac{27 \times 10^6}{18728100} = 2.27 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\max} = 0.22 f_{cd} = 2.86 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{A_o}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{2 f_{ywd} (d)} + \frac{T_d}{2 A_e f_{ywd}} = \frac{(96.05 - 0.5 \times 60.45) \times 10^3}{2 \times 191 \times 465} + \frac{27 \times 10^6}{2 \times 77400 \times 191}$$

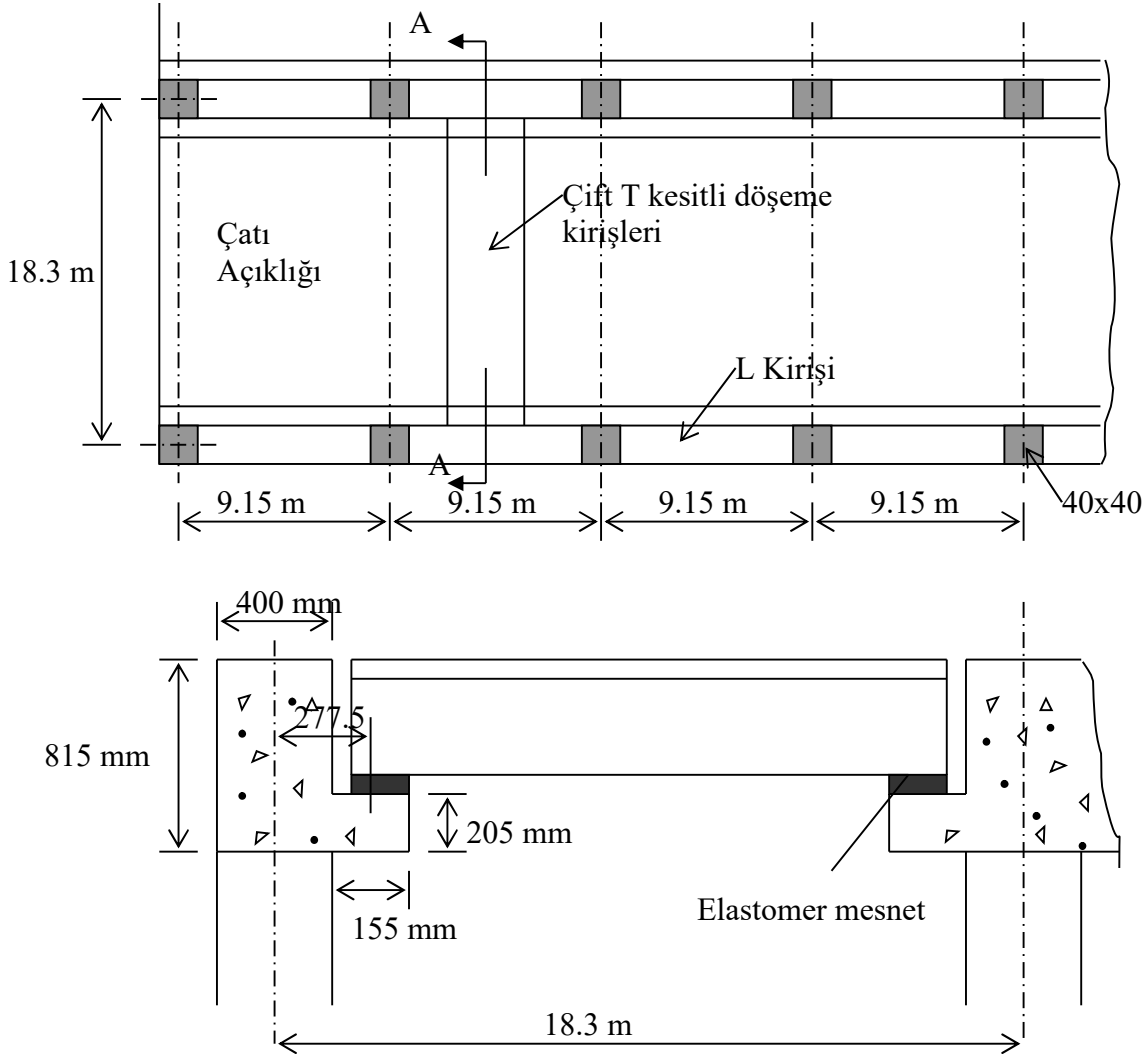
$$\frac{A_o}{s} = 0.37 + 0.913 = 1.284 \text{ mm}^2/\text{mm}, \quad \phi 10 \text{ için } A_o = 78.53 \text{ mm}^2$$

$$\frac{78.53}{s} = 1.284 \quad s = 61.1 \text{ mm} \text{ Etriye } \phi 10/6 \text{ cm veya } \phi 12/8.5 \text{ cm olarak belirlenir.}$$

Boyuna donatı:

$$A_{sl} = \frac{A_{ot}}{s} U_e \frac{f_{ywd}}{f_{yd}} = 0.913 \times 1220 \times \frac{191}{365} = 583 \text{ mm}^2$$

Örnek 3.



Şekil 6.7

Şekil 6.7’de görülen L mesnet kirişi prefabrik döşeme elemanlarını basit mesnetli olarak taşımaktadır. L kirişleri burulma momentini aktaracak şekilde kolonlara bağlı olup açıklıkları doğrultusunda sürekli değildirlir.

Çatı elemanları üzerindeki hareketli yük : 1.44 kN/m^2 , ölü yük ise 3.06 kN/m^2 dir.

- L kirişi üzerine gelen ölü ve hareketli yükleri bularak tasarım yükünü (kN/m) belirleyiniz. L kirişine etki eden T_d burulma momentini, mesnet yüzünden (d) uzaklığındaki V_d kesme kuvveti ve M_d maksimum açıklık momentinin hesap değerini bulunuz.
- L kirişine etki eden kesit tesirlerinin hesap değerleri;

$$M_d = 756.6 \text{ kNm}$$

$$V_d = 262.1 \text{ kN (mesnet yüzünden } d \text{ uzaklığında)}$$

$T_d = 76.4 \text{ kNm}$ olduğuna göre kesme ve burulmaya göre kesitin boyutlarını kontrol ediniz ve tasarımını yapınız. Paspayı = 30 mm, malzeme C20, S420.

Çözüm:

Yük analizi:

$$\text{Ölü Yük (Çatıdan)} = 3.06 \times \frac{18.3}{2} = 28 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ölü Yük (L Kirişi)} = (0.815 \times 0.4 + 0.205 \times 0.155) \times 24 = 8.6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam Ölü Yük} = 36.6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hareketli Yük} = 1.44 \times \frac{18.3}{2} = 13.14 \text{ kN/m}$$

$$P_d = 1.4g + 1.6q = 1.4 \times 36.6 + 1.6 \times 13.14 = 72.3 \text{ kN/m}$$

$$\max M = \frac{P_d L^2}{8} = \frac{72.3 (9.15)^2}{8} = 756.6 \text{ kNm}$$

$$V = 72.3 \times \frac{9.15}{2} = 330.8 \text{ kN} \quad (d = 815 - 30 = 785 \text{ mm})$$

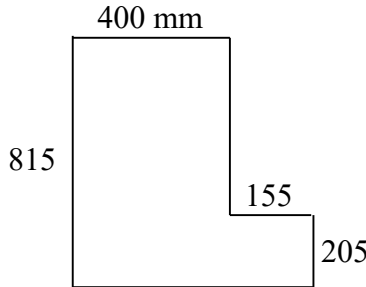
$$V_d = V - P_d \left(d + \frac{a}{2}\right) = 330.8 - 72.3 \times \left(0.785 + \frac{0.4}{2}\right) = 259.6 \text{ kN}$$

Burulma yükü:

$$g = 28 \text{ kN/m}, \quad P_d = 1.4 \times 28 + 1.6 \times 13.14 = 60.2 \text{ kN/m}$$

$$T_d = 60.2 \times \frac{9.15}{2} \times 0.2775 = 76.4 \text{ kNm}$$

b)



$$S = 1.35 \frac{1}{3} \sum x_i^2 y_i$$

$$S = 0.45 \times (400^2 \times 815 + 155^2 \times 205) = 6.09 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$T_{cr} = S f_{ctd} = 6.09 \times 10^7 \times 1 \times 10^{-6} = 60.9 \text{ kNm}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 400 \times 785 = 204.1 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 163.3 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{T_d}{T_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{cr}}\right)^2 = \left(\frac{76.4}{60.9}\right)^2 + \left(\frac{262.1}{204.1}\right)^2 = 3.22 > 1 \text{ Kesit çatlamıştır!}$$

$$\tau = \frac{V_d}{b_w d} + \frac{T_d}{S} = \frac{262.1 \times 10^3}{400 \times 785} + \frac{76.4 \times 10^6}{6.09 \times 10^7} = 2.09 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\max} = 0.22 f_{cd} = 2.86 \text{ N/mm}^2$$

Boyutlar burulmaya göre yeterlidir!

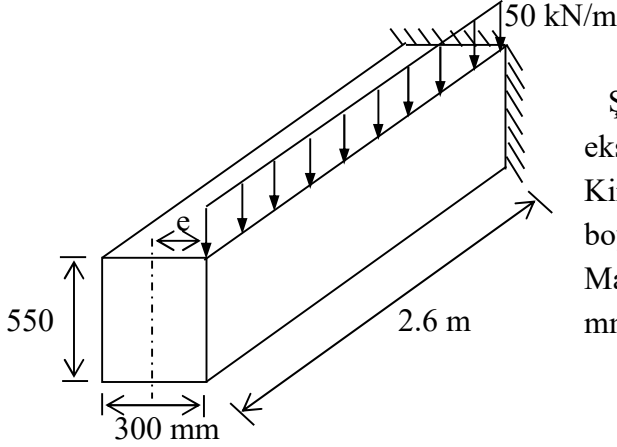
$$A_e = (815 - 60) \times (400 - 60) = 256700 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_o}{s} = \frac{V_d - V_c}{2 f_{ywd} (d)} + \frac{T_d}{2 A_e f_{ywd}} = \frac{(262.1 - 163.3) \times 10^3}{2 \times 365 \times 785} + \frac{76.4 \times 10^6}{2 \times 256700 \times 365} = 0.58 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\phi 8 \text{ için } A_o = 50.25 \text{ mm}^2 \quad \frac{100.5}{s} = 0.58, \quad s = 86 \text{ mm} < (d/2, U_e/8, 30 \text{ cm})$$

Etriye: $\phi 8/8.5 \text{ cm}$

Örnek 4



Şekil 6.8’de verilen konsol kiriş, $e=15$ cm eksantrisite ile 50 kN/m lik yayılı yüke maruzdur. Kirişin eğilme, burulma ve kesmeye göre boyutlarını kontrol ederek tasarımını yapınız. Malzeme C20, S420, etriyeler S220 ve paspayı=40 mm ($f_{ctd}=1$ N/mm²).

Şekil 6.8

Çözüm:

Burulma denge burulmasıdır.

$$T_d = 50 \times 0.15 \times 2.6 = 19.5 \text{ kNm}$$

$$V_d = 50 \times 2.6 = 130 \text{ kN}$$

$$M_d = 50 \times 2.6 \times \frac{2.6}{2} = 169 \text{ kNm}$$

$$b_k = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}, h_k = 550 - 2 \times 40 = 470 \text{ mm}$$

$$A_e = b_k h_k = 103400 \text{ mm}^2, U_e = 2(b_k + h_k) = 1380 \text{ mm}.$$

$$S = \frac{1.35}{3} \times 300^2 \times 550 = 22.275 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$T_{cr} = S f_{ctd} = 22.275 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-3} = 22.275 \times 10^3 \text{ kNmm} = 22.275 \text{ kNm}$$

Hesap kesme kuvveti mesnet yüzünden (d) kadar uzakta meydana gelmektedir. Bu durumda;

$$V_d = 130 - 50 \times 0.51 = 104.5 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d, V_{cr} = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 300 \times 510 = 99.45 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 79.56 \text{ kN}$$

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau = \frac{V_d}{b_w d} + \frac{T_d}{S} = \frac{104.5 \times 10^3}{300 \times 510} + \frac{19.5 \times 10^6}{22.275 \times 10^6} = 1.56 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\max} = 0.22 f_{cd} = 2.86 \text{ N/mm}^2$$

Çatlama kontrolü:

$$\left(\frac{T_d}{T_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{cr}} \right)^2 = 1.87 > 1.0 \text{ Kesit çatlamıştır.}$$

$$\frac{A_o}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{2 f_{ywd} (d)} + \frac{T_d}{2 A_e f_{ywd}} = \frac{(104.5 - 0.5 \times 79.56) \times 10^3}{2 \times 191 \times 510} + \frac{19.5 \times 10^6}{2 \times 103400 \times 191} = 0.826 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\min \frac{A_o}{s} = 0.15 \times \frac{1}{191} \times (1 + 1.3 \times \frac{19.5 \times 10^3}{104.5 \times 300}) \times 300 = 0.426 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_o}{s} > \min \frac{A_o}{s}$$

$$\phi 8 \text{ için } A_o = 50.26 \text{ mm}^2, \quad \frac{50.26}{s} = 0.826 \quad s = 60.84 \text{ mm} \quad \phi 8/6 \text{ cm veya } \phi 10/9.5 \text{ cm.}$$

Eğilme:

$$M_d = 169 \text{ kNm} (K > K_I)$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd}(j)d} = \frac{169 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 510} = 1055.6 \text{ mm}^2$$

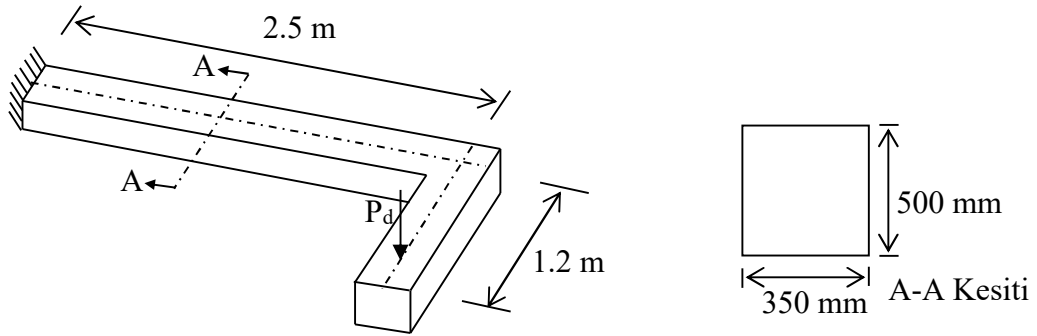
Burulma boyuna donatısı:

$$A_{sl} = \frac{A_{ot}}{s} U_e \frac{f_{ywd}}{f_{yd}} = \frac{19.5 \times 10^6}{2 \times 103400 \times 191} \times 1380 \times \frac{191}{365} = 356.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Üst: } 1055.6 + \frac{356.7}{2} = 1234 \text{ mm}^2$$

$$\text{Alt: } 0 + \frac{356.7}{2} = 178.35 \text{ mm}^2$$

Örnek 5



Şekil 6.9

Şekil 6.9’da verilen konsol kirişe $P_d = 53.4 \text{ kN}$ tekil kuvvet etki etmektedir. Kirişin kesme, burulma ve eğilmeye göre tasarımını yapınız. Malzeme C20, S420, etriyeler S220 ve paspayı=35 mm.

Çözüm:

$$V_d = 53.4 \text{ kN}$$

$$M_d = 53.4 \times 2.5 = 133.5 \text{ kNm}$$

$$T_d = 53.4 \times 1.2 = 64.08 \text{ kNm}$$

$$b_k = 350 - 2 \times 35 = 280 \text{ mm}, \quad h_k = 500 - 2 \times 35 = 430 \text{ mm}$$

$$A_e = b_k h_k = 120400 \text{ mm}^2, \quad U_e = 2(b_k + h_k) = 1420 \text{ mm.}$$

$$S = \frac{1.35}{3} \times 350^2 \times 500 = 27.56 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$T_{cr} = S f_{ctd} = 27.56 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-6} = 27.56 \text{ kNm}$$

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau = \frac{V_d}{b_w d} + \frac{T_d}{S} = \frac{53.4 \times 10^3}{350 \times 465} + \frac{64.08 \times 10^6}{27.56 \times 10^6} = 2.65 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\max} = 0.22 f_{cd} = 2.86 \text{ N/mm}^2$$

Çatlama kontrolü:

$$\left(\frac{T_d}{T_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{cr}} \right)^2 > 1.0 \text{ Kesit çatlamıştır.}$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d \quad V_{cr} = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 350 \times 465 = 105.78 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 84.63 \text{ kN}$$

$$\frac{A_o}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{2 f_{ywd} (d)} + \frac{T_d}{2 A_e f_{ywd}} = \frac{(53.4 - 0.5 \times 84.63) \times 10^3}{2 \times 191 \times 465} + \frac{64.08 \times 10^6}{2 \times 120400 \times 191} = 1.455 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_o}{s} > \min \frac{A_o}{s}$$

$$\phi 10 \text{ için } A_o = 78.5 \text{ mm}^2, \quad \frac{78.5}{s} = 1.455 \quad s = 53.95 \text{ mm} \quad \phi 10/5 \text{ cm veya } \phi 12/7.5 \text{ cm.}$$

Eğilme:

$$M_d = 133.5 \text{ kNm} (K > K_I)$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} (j) d} = \frac{133.5 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 914.6 \text{ mm}^2$$

Burulma boyuna donatısı:

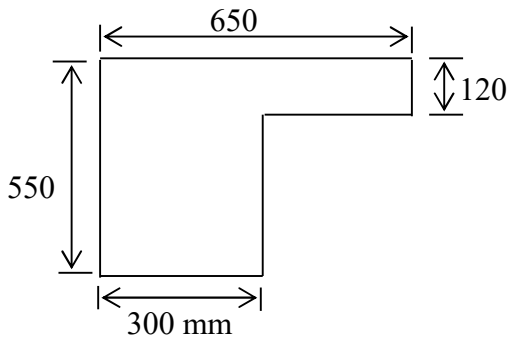
$$A_{sl} = \frac{A_{ot}}{s} U_e \frac{f_{ywd}}{f_{yd}} = 1.393 \times 1420 \times \frac{191}{365} = 1035.1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Üst: } 914.6 + \frac{1035.1}{2} = 1432.2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Alt: } 0 + \frac{1035.1}{2} = 517.6 \text{ mm}^2$$

6.7 Çalışma Soruları

Soru 1



Şekil 6.10'da verilen kiriş kesitinde;

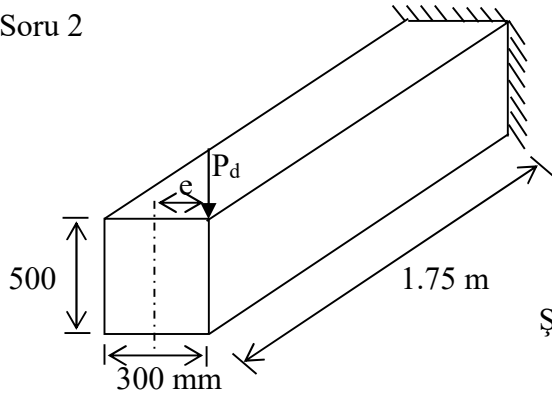
$$T_d = 30 \text{ kNm}$$

$V_d = 120 \text{ kN}$ olduğuna göre kesitin boyutlarını kontrol ederek gerekli donatı miktarını hesaplayınız.

Malzeme C20, S420, etriyeler S220 ve paspayı = 50 mm.

Şekil 6.10

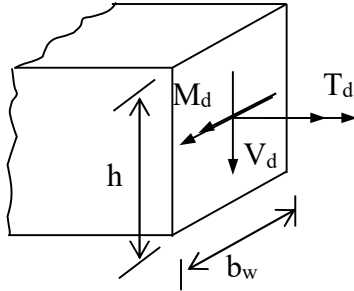
Soru 2



Şekil 6.11’de verilen konsol kirişe $P_d=120$ kN luk tekil kuvvet $e=13$ cm eksantrisite ile etki etmektedir. Kirişin kesme, burulma ve eğilmeye göre tasarımını yapınız. Malzeme C25, S420, etriyeler S220 ve paspayı=40 mm.

Şekil 6.11

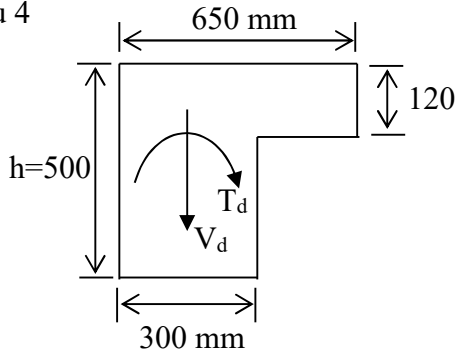
Soru 3



Şekil 6.12’de verilen kiriş;
 $V_d=133$ kN kesme kuvveti, $M_d=260$ kNm eğilme momenti ve $T_d=115$ kNm burulma momentine maruzdur. Kirişin boyutlarını belirleyerek (b_w , h) tasarımını yapınız. Malzeme C25, S420 ve paspayı=40 mm.

Şekil 6.12

Soru 4

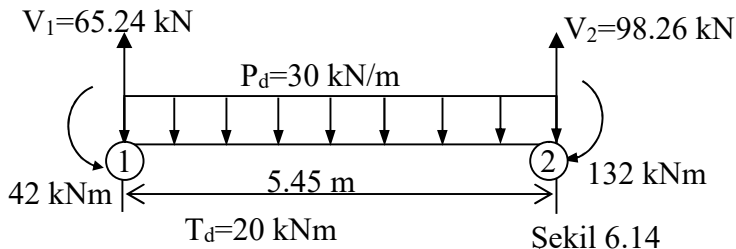


$V_d=150$ kN, $T_d=35.4$ kNm
 Malzeme C25, S420, paspayı=40 mm.

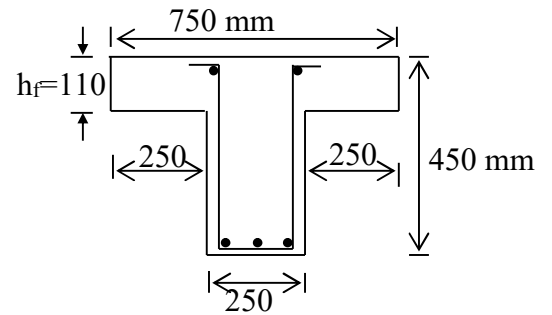
Şekil 6.13

Şekil 6.13’te verilen burulma ve kesmeye maruz kiriş kesitinin boyutlarını kontrol ederek donatı hesabını yapınız.

Soru 5



Şekil 6.14



Şekil 6.14’te verilen (1-2) kirişi sürekli bir kirişin elemanı olup, kirişte bulunan kesme kuvveti ve moment değerleri kirişin uçlarında verilmektedir. Kirişin kesme, burulma ve eğilme tasarımını yapınız. Malzeme C20, S420, Etriyeler S220, paspayı=35 mm.

7 TEMELLER

7.1 Tekil Temeller

Her kolonun altına ayrı ayrı yapılan temellere tekil temeller denir. Tekil temeller, her iki yönde bağ kirişleri veya plak ile birbirine bağlanmalıdır.

7.1.1 Tasarım İlkeleri

Tekil temel taban alanı boyutları, zemin dayanımı ve oturmaları dikkate alınarak belirlenir. Temel kesit hesabı yapılırken, zemin basınç dağılımı gözönüne alınmalıdır. Boyutlandırma ve donatı hesabında, eğilme, kesme kuvveti ve zımbalama için ayrı ayrı hesap yapılmalı ve donatı için yeterli kenetlenme boyu sağlanmalıdır.

Temel boyutları belirlenirken temelin altındaki zemin dayanımı esas alınır;

$$b_x b_y = N_d / f_{zu} \quad (7.1)$$

b_x ve b_y seçilirken kolonun geometrisi dikkate alınarak boyutlar belirlenir.

Temel altındaki gerilme, eksenel yük ve momentin fonksiyonu olarak yazılabilir.

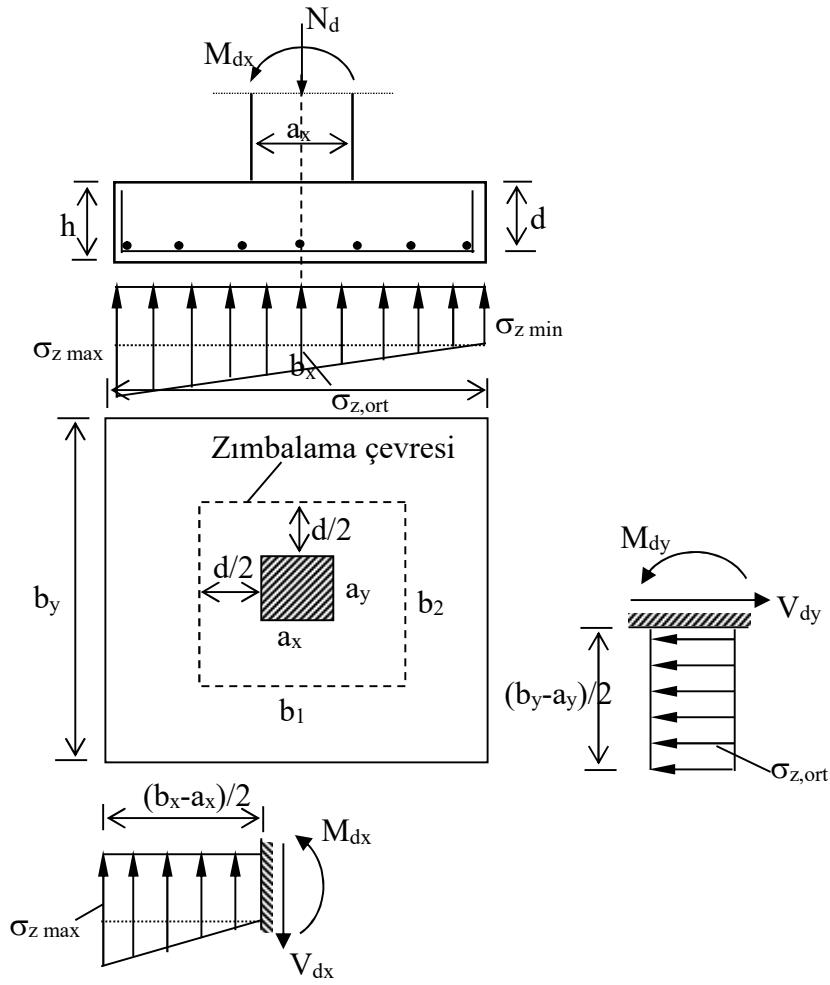
$$\sigma_{z \max, \min} = \frac{N_d}{A} \pm \frac{M_{dx}(x)}{I_x} = \frac{N_d}{b_x b_y} \pm \frac{M_{dx} \frac{b_x}{2}}{\frac{1}{12} b_y b_x^3} \quad (7.2)$$

$$e_x = \frac{M_{dx}}{N_d} \quad (7.3)$$

$$\sigma_{z \max, \min} = \frac{N_d}{b_x b_y} \left(1 \pm \frac{6 e_x}{b_x} \right) \quad (7.4)$$

Daha kesin hesap gerekmiyorsa, kolon yüzlerinden dışarı taşan temel parçaları ayrı ayrı, tek yönde çalışan birer konsol kiriş gibi hesaplanabilir. Bu durumda moment ve kesme için kritik kesitin kolon yüzünde, zımbalama çevresinin de kolon yüzünden $d/2$ kadar uzakta olduğu varsayılır (Şekil 7.1).

Tekil temelin planda en küçük boyutu 0.7 m den, alanı 1 m^2 den, kalınlığı ise 250 mm den ve konsol açıklığının $1/4$ 'ünden az olmamalıdır.



Şekil 7.1 Tekli temel ve gerilmeler

7.1.2 Zımbalama Kontrolü

Sınırlı bir alana yayılmış yükler veya kolonlar tarafından yerel olarak yüklenen plakların zımbalama dayanımı hesaplanarak bunun tasarım zımbalama kuvvetine eşit veya büyük olmalıdır.

$$V_{pr} \geq V_{pd} \quad (7.5)$$

Zımbalama dayanımının hesabında, yüklenen alana $d/2$ uzaklıkta zımbalama çevresi ile belirlenen kesit alanı gözönüne alınır.

Tasarım zımbalama kuvveti;

$$V_{pd} = N_d - A_p \sigma_{z,ort} \quad (7.6)$$

Zımbalama dayanımı;

$$V_{pr} = \gamma (f_{ctd}) U_p (d) \quad (7.7)$$

ifadesi ile belirlenir.

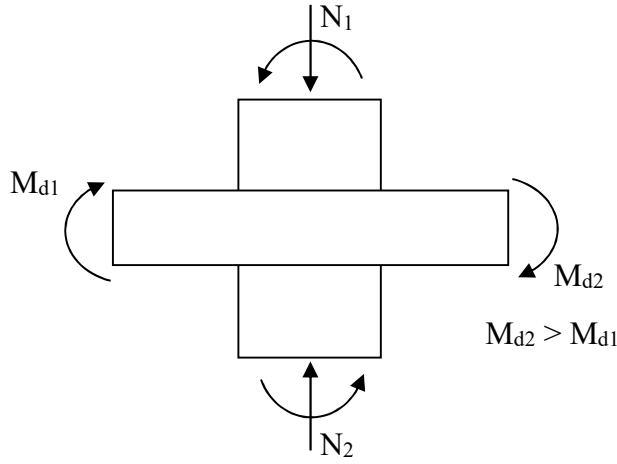
Burada γ , eğilme etkisini yansıtan bir katsayıdır. Plağa aktarılan dengelenmemiş kolon momenti etkisinin daha güvenilir yöntemlerle hesaplanmadığı durumlarda, eğilme etkisi aşağıdaki γ katsayıları ile hesaba katılmalıdır.

Eksenel yükleme durumunda, $\gamma=1.0$

$$\text{Dikdörtgen yük alanları veya kolonlar için, } \gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_x b_y}}} \quad (7.8a)$$

$$\text{Dairesel yük alanları veya kolonlar için, } \gamma = \frac{1}{1 + \frac{2e}{d + d_o}} \quad (7.8b)$$

γ hesabında, dışmerkezlilik hesaplanırken, eğilme düzleminde kolonun iki yanındaki plak momentleri toplamının %40'ı ve alt ve üst kolonlardaki eksenel yükleri farkı temel alınır.



$$e = \frac{0.4(M_{d1} + M_{d2})}{N_2 - N_1}$$

Şekil 7.2 Zımbalama kuvvetleri

Yüklenen alan kenarında (5d) veya daha yakın uzaklıkta olan boşluklar, zımbalama çevresi hesaplanırken dikkate alınır (Bkz. 5.2).

$$U_p = 2(b_1 + b_2) \quad , \quad b_1 = a_x + d, \quad b_2 = a_y + d \quad (7.9)$$

Zımbalama alanı;

$$A_p = b_1 b_2 \quad (7.10)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Temelin kesme kontrolü, eğik çatlama dayanımı esas alınarak yapılır. Eğik çatlama dayanımı temelin her iki yönü için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V_{crx} = 1.0 f_{ctd} b_y d \quad , \quad V_{cry} = 1.0 f_{ctd} b_x d \quad (7.11)$$

$V_{dx} \leq V_{crx}$, $V_{dy} \leq V_{cry}$ ise boyutlar yeterli, koşul sağlanmıyorsa h 'ı değiştirmek gerekir.

Eğilme hesabında $K \geq K_1$ ise eğilmeye göre boyutlar yeterlidir.

$$K_x = \frac{b_y d^2}{M_{dx}}, \quad A_{sx} = \frac{M_{dx}}{f_{yd} (0.86) d} \quad (7.12)$$

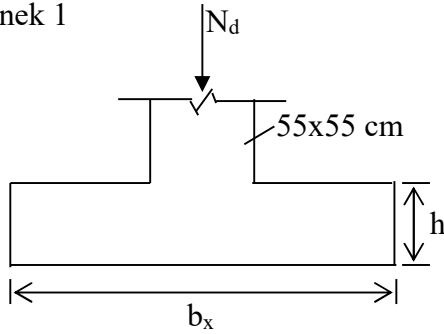
$$K_y = \frac{b_x d^2}{M_{dy}}, \quad A_{sy} = \frac{M_{dy}}{f_{yd} (0.86) d} \quad (7.13)$$

Her iki doğrultuda bulunan donatılar, temel tabanında bir ızgara oluşturacak biçimde yerleştirilir. Donatı çubukları eşit aralıklı olarak yerleştirilebilir (Şekil 7.6).

Temeldeki çekme donatısı oranı, her bir doğrultuda, hesapta gözönüne alınan kesite göre 0.002 den az ve donatı aralığı 250 mm den fazla olamaz.

7.1.3 Örnekler

Örnek 1



Şekil 7.3'te verilen tekil temele $G=1225$ kN, $Q=875$ kN eksenel kuvvet etki etmektedir. Zemin emniyet gerilmesi $\sigma_{z,em}=250$ kN/m² olduğuna göre temeli boyutlandırıp tasarımını yapınız. Malzeme C20, S420 ve paspayı=50 mm.

Şekil 7.3

Çözüm:

Tasarım yükleri:

$$N_d = 1.4 (G) + 1.6 (Q) = 1.4 \times 1225 + 1.6 \times 875 = 3115 \text{ kN}$$

Tasarım zemin emniyeti;

$$f_{zu} = 1.5 (\sigma_{z,em}) = 1.5 \times 250 = 375 \text{ kN/m}^2$$

Temel boyutları:

$$\frac{N_d}{b_x b_y} \leq f_{zu} \quad b_x b_y = \frac{N_d}{f_{zu}} = \frac{3115}{375} = 8.3 \text{ m}^2$$

Kolon kare kesitli olduğundan sömeli de kare olarak boyutlandırmak uygun olacaktır;

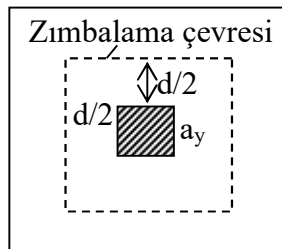
$b_x = b_y = 3$ m olarak seçilir. $b_x b_y = 9 \text{ m}^2 > 8.3 \text{ m}^2$ boyutlar uygundur.

Sömel altındaki gerilme;

$$\sigma_z = \frac{N_d}{b_x b_y} = \frac{3115}{3 \times 3} = 346.1 \text{ kN/m}^2 < f_{zu} \text{ uygun.}$$

Sömel yüksekliği, $h=70$ cm olarak seçelim;

Zımbalama kontrolü:

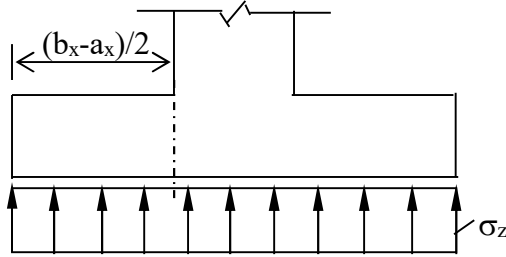




Şekil 7.4

$$\begin{aligned}
 b_1 &= b_2 = a + d = 55 + 65 = 120 \text{ cm} \\
 U_p &= 2 (b_1 + b_2) = 480 \text{ cm} \\
 A_p &= b_1 (b_2) = 1.44 \text{ m}^2 \\
 V_{pd} &= N_d - A_p (\sigma_z) = 3115 - 1.44 \times 346.1 = 2616.6 \text{ kN} \\
 V_{pr} &= \gamma (f_{ctd}) U_p (d) = 1 \times 10^{-3} \times 4800 \times 650 = 3120 \text{ kN} \\
 V_{pd} &< V_{pr} \quad \text{Zımbalamaya karşı güvenlidir.} \\
 \text{Net zemin gerilmesi;} \\
 f_{z,net} &= f_{zu} - 18 (h) = 375 - 18 \times 0.7 = 362.4 \text{ kN/m}^2 > \sigma_z \quad \text{uygun.}
 \end{aligned}$$

Kesit tesirleri hesabı:



Şekil 7.5

Kritik tesirler kolon yüzünde oluşmaktadır;

$$\begin{aligned}
 V_{dx} &= \sigma_z \left(\frac{b_x - a_x}{2} \right) b_y = 346.1 \times \left(\frac{3 - 0.55}{2} \right) \times 3 = 1271.92 \text{ kN} \\
 M_{dx} &= \sigma_z \left(\frac{b_x - a_x}{2} \right)^2 \frac{1}{2} (b_y) = 346.1 \times \left(\frac{3 - 0.55}{2} \right)^2 \times \frac{1}{2} \times 3 = 779.05 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Sömel kare olduğundan aynı gerilme dağılımı diğer yönde de mevcut bulunmaktadır;

$$V_{dx} = V_{dy}, \quad M_{dx} = M_{dy}$$

$$V_{crx} = \gamma (f_{ctd}) b_y (d) = 1 \times 10^{-3} \times 3000 \times 650 = 1950 \text{ kN} > V_d \quad \text{uygun.}$$

Donatı hesabı:

$$M_{dx} = M_{dy} = 779.05 \text{ kNm}$$

$$K_x = K_y = \frac{b (d)^2}{M_d} = \frac{3000 \times 650^2}{779.05 \times 10^3} = 1627 \text{ mm}^2/\text{kN}, \quad K_f = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (K > K_f)$$

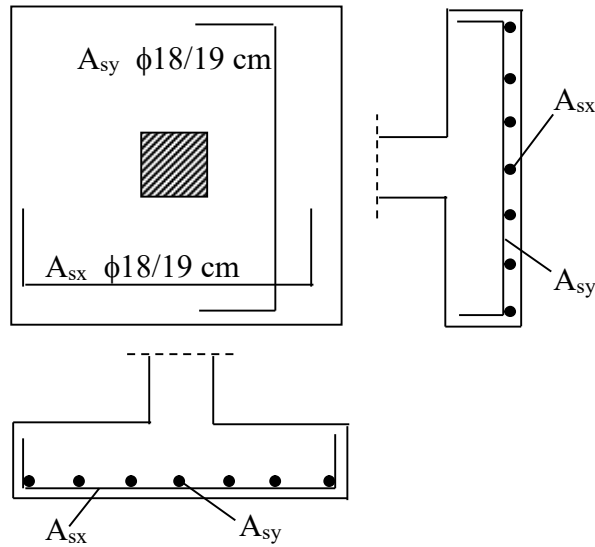
$$A_{sx} = A_{sy} = \frac{M_d}{f_{yd} (J) d} = \frac{779.05 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 650} = 3818.2 \text{ mm}^2 < A_{s \text{ min}}$$

$A_{s \min} = \rho_{\min} b_y d = 0.002 \times 3000 \times 650 = 3900 \text{ mm}^2$, Bu durumda min. Donatı sağlanmalıdır.

$$A_{sx} = A_{sy} = A_{s \min} = 3900 \text{ mm}^2$$

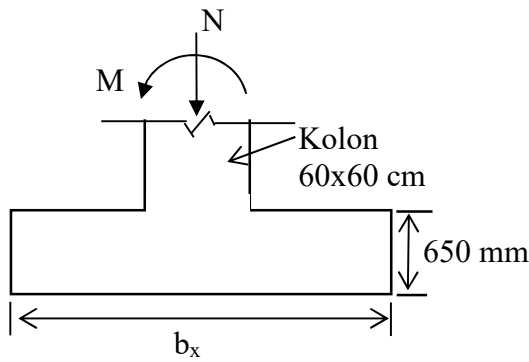
Seçilen donatı: 16 ϕ 18/19 cm.

Donatı şeması:



Şekil 7.6

Örnek 2



Şekil 7.7’de verilen temelin tasarımını yapınız. $\sigma_{z,em}=200 \text{ kN/m}^2$, malzeme C16, S220 ve paspayı=5 cm.

Şekil 7.7

Tesirler	g (kN/m)	q (kN/m)
M (kNm)	84.8	72.3
N (kN)	521	483

Çözüm:

Tasarım yükleri:

$$N_d = 1.4 \times 521 + 1.6 \times 483 = 1502.2 \text{ kN}$$

$$M_d = 1.4 \times 84.8 + 1.6 \times 72.3 = 234.4 \text{ kNm}$$

$$\text{Tasarım zemin emniyeti; } f_{zu} = 1.5 (\sigma_{z,em}) = 1.5 \times 200 = 300 \text{ kN/m}^2$$

Temel boyutları seçiminde;

$$\frac{N_d}{b_x b_y} \leq f_{zu} \quad \text{kriterinden faydalanılır;} \quad \text{Kolon kare olduğundan sölme de kare}$$

düşünülmek, $b_x = b_y$ esas alınacaktır.

$$\frac{1502.2}{(b_x)^2} = 300 \quad \text{buradan} \quad b_x = 2.24 \text{ m elde edilir. Emniyet açısından } b_x \text{ bir miktar}$$

arttırılarak;

$$b_x = b_y = 2.7 \text{ m kabul edilmiştir.}$$

$$e_x = \frac{M_{dx}}{N_d} = \frac{234.4}{1502.2} = 0.156 \text{ m} = 15.6 \text{ cm.}$$

$$e_{kr} = \frac{b_x}{6} = \frac{2.5}{6} = 0.45 \text{ m} \quad e_x < e_{kr} \quad \text{olduğundan sömel altında trapez gerilme dağılımı}$$

olur.

Gerilme değerleri:

$$\sigma_{z, \max, \min} = \frac{N_d}{b_x b_y} \left(1 \pm \frac{6 e_x}{b_x} \right)$$

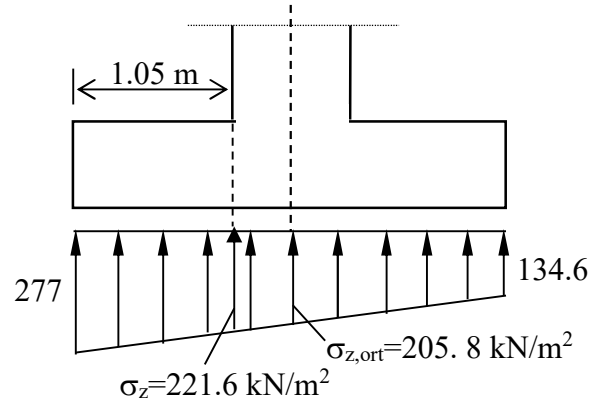
$$\sigma_{z, \max, \min} = \frac{1502.2}{2.7^2} \times \left(1 \pm \frac{6 \times 0.156}{2.7} \right)$$

$$\sigma_{z, \max} = 277 \text{ kN/m}^2 < f_{zu}$$

$$\sigma_{z, \min} = 134.63 \text{ kN/m}^2$$

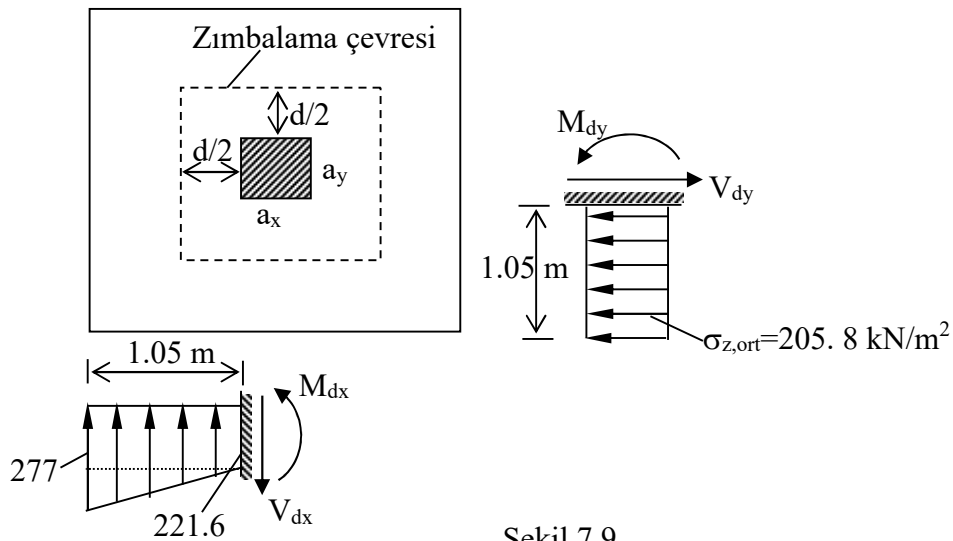
Net zemin gerilmesi;

$$f_{z, \text{net}} = f_{zu} - 18 (h) = 300 - 18 \times 0.65 = 288.3 \text{ kN/m}^2$$



Şekil 7.8

Kritik kesit tesirleri kolon yüzündeki değerlerdir; Trapez gerilme dağılımında benzer üçgenler kullanılarak kolon yüzündeki gerilme değeri 221.6 kN/m^2 olarak elde edilmektedir (Şekil 7.9).



Şekil 7.9

Kesit tesirleri:

Kolon yüzündeki kesme kuvveti:

$$V_{dx} = \{221.6 \times 1.05 + (277 - 221.6) \times \frac{1.05}{2}\} \times 2.7 = 706.75 \text{ kN}$$

Kolon yüzündeki moment:

$$M_{dx} = \{221.6 \times (\frac{1.05^2}{2}) + (277 - 221.6) \times \frac{1.05}{2} \times 1.05 \times \frac{2}{3}\} \times 2.7 = 384.75 \text{ kNm}$$

$$V_{crx} = \gamma (f_{ctd}) b_y (d) = 1 \times 10^{-3} \times 2700 \times 600 = 1620 \text{ kN} > V_d \text{ uygun.}$$

$$V_{dy} = 205.8 \times 1.05 \times 2.7 = 583 \text{ kN}$$

$$M_{dy} = 205.8 \times (\frac{1.05^2}{2}) \times 2.7 = 306.3 \text{ kNm}$$

Zımbalama kontrolü:

$$b_1 = b_2 = a + d = 60 + 60 = 120 \text{ cm}$$

$$U_p = 2 (b_1 + b_2) = 480 \text{ cm}$$

$$A_p = (b_1) (b_2) = 1.44 \text{ m}^2$$

$$V_{pd} = N_d - A_p (\sigma_z) = 1502.2 - 1.44 \times 205.8 = 1205.8 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{80}{1315} = 0.06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{1.0}{1.0 + 1.5 \frac{e (0.4)}{\sqrt{b_1 b_2}}} = \frac{1.0}{1.0 + 1.5 \times \frac{15.6 \times 0.4}{\sqrt{120 \times 120}}} = 0.93$$

$$V_{pr} = \gamma (f_{ctd}) U_p (d) = 0.93 \times 1 \times 10^{-3} \times 4800 \times 600 = 2678.4 \text{ kN}$$

$$V_{pd} < V_{pr} \quad \text{Zımbalamaya göre güvenlidir.}$$

Donatı hesabı:

$$M_{dx} = 384.75 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{b_y (d)^2}{M_d} = \frac{2700 \times 600^2}{384.75 \times 10^3} = 2526 \text{ mm}^2/\text{kN}, \quad K_l = \frac{4.95}{f_{cd}} = 450 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (K > K_l)$$

$$A_{sx} = \frac{M_{dx}}{f_{yd} (J) d} = \frac{384.75 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 600} = 3904 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

$$A_{s \min} = \rho_{\min} b_y d = 0.002 \times 2700 \times 600 = 3240 \text{ mm}^2$$

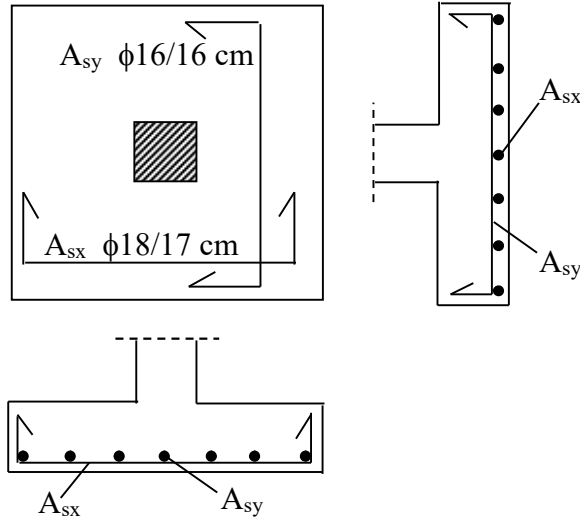
Seçilen donatı: 16φ18/17 cm.

$$A_{sy} = \frac{M_{dy}}{f_{yd} (J) d} = \frac{306.3 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 600} = 3107.9 \text{ mm}^2 < A_{s \min}$$

$$A_{sy} = A_{s \min} = 3240 \text{ mm}^2 \text{ temel alınır.}$$

Seçilen donatı: 17φ16/16 cm.

Donatı detayı:



Şekil 7.10

7.2 Birleşik Temeller

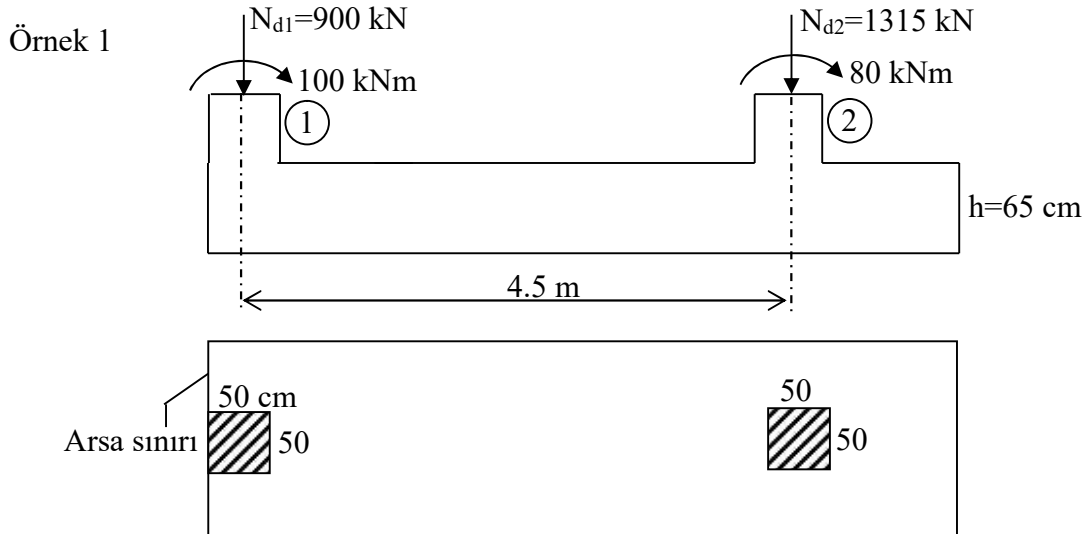
İki kolon arasındaki açıklığın az ve kolona etkiyen zorlamaların büyük olduğu durumlarda bu iki kolonun temeli için birleşik temel tasarımı yapılabilir. Birleşik temel tasarımında en önemli ilke, kolonlardan gelen kuvvetlerin bileşkesi ile temelin geometrik merkezi çakıştırılarak temel altında düzgün zemin gerilmesi oluşturmaktır.

Temel boyutu belirlendikten sonra, etkiyen yükler ve zemin gerilmesi etkisi altında kesme kuvveti ve moment diyagramları çizilir. Hesaplanan momentler dikkate alınarak gerekli donatı hesaplanır ve detaylandırılır.

Kesme için $V_d \leq V_{cr}$ koşulu sağlanmalıdır.

Enine doğrultuda, kolonların altında birer kiriş varmış gibi hesap yapılarak donatı bulunur.

7.2.1 Örnekler

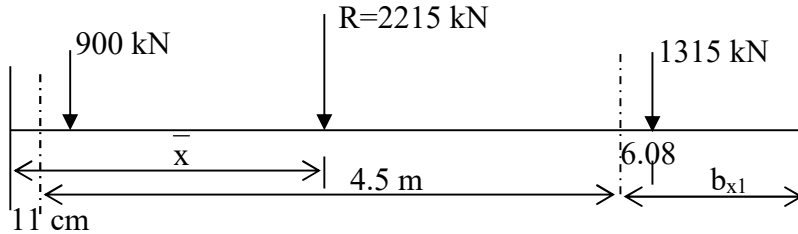


Şekil 7.11

Şekilde verilen sürekli temeli boyutlandırıp, tasarımını yapınız. Malzeme C20, S220, $\sigma_{z, em}=200 \text{ kN/m}^2$ ve paspayı=5 cm.

Çözüm:

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{100}{900} = 0.11 \text{ m} = 11 \text{ cm}, \quad e_2 = 6.08 \text{ cm}$$



Şekil 7.12

Arsa sınırı etrafında moment alınarak bileşke kuvvetin yeri bulunur (Şekil 7.12).

$$900 \times 36 + 1315 \times (6.08 + 450 + 25) = 2215 \times (\bar{x})$$

$$\bar{x} \approx 300 \text{ cm}, \quad b_x = 2(300) = 600 \text{ cm} \text{ olarak bulunur.}$$

$$b_1 = 6 - 4.5 - 0.25 = 1.25 \text{ m}$$

Zeminin hesap emniyet gerilmesi;

$$f_{zu} = \sigma_{z, em}(1.5) = 1.5 \times 200 = 300 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{zu} = \frac{\sum N_d}{b_x b_y} \text{ ifadesinden temel boyutları belirlenmektedir.}$$

$$b_y = \frac{2215}{300 \times 6} = 1.23 \text{ m}$$

Temel boyutlarını sınır değerden biraz daha büyük seçmekte fayda vardır;

$$\text{Seçilen boyutlar: } b_x = 6.0 \text{ m}, \quad b_y = 1.5 \text{ m}$$

Net zemin gerilmesi;

$$f_{zn} = f_{zu} - 18(h) = 300 - 18 \times 0.65 = 288.3 \text{ kN/m}^2$$

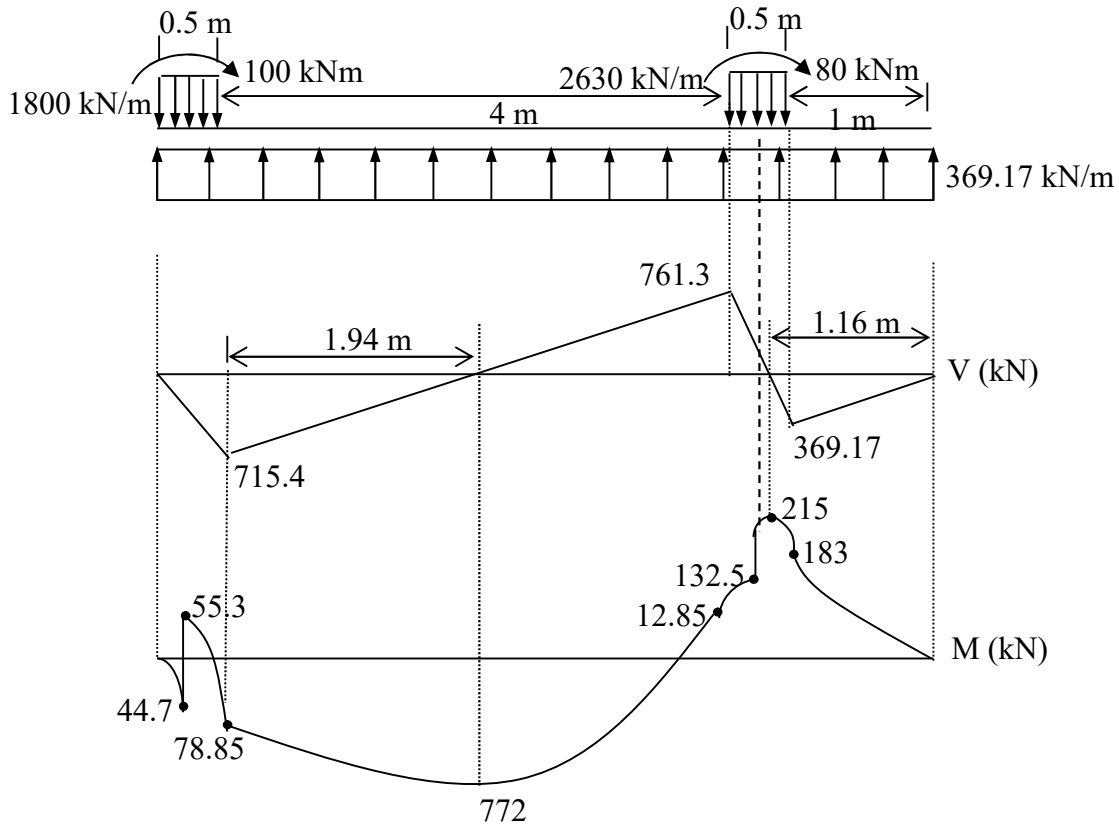
$$\sigma_z = \frac{\sum N_d}{b_x b_y} = \frac{2215}{6 \times 1.5} = 246.1 \text{ kN/m}^2 < f_{zn}, \text{ olduğundan boyutlar yeterlidir.}$$

Kesin tasarım:

$$\text{Temel altı: } q = 2215/6 = 369.17 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sol kolon altı: } q_{sol} = 900/0.5 = 1800 \text{ kN/m}$$

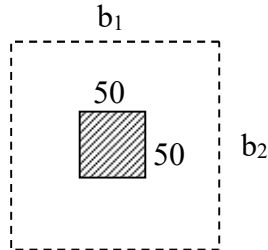
$$\text{Sağ kolon altı: } q_{sağ} = 1350/0.5 = 2700 \text{ kN/m}$$



Şekil 7.13

Zımbalama kontrolü:

① Nolu kolon:



$$b_1 = b_2 = 50 + d = 50 + 60 = 110 \text{ cm}$$

$$U_p = 2 (b_1 + b_2) = 440 \text{ cm}$$

$$A_p = (b_1) (b_2) = 1.21 \text{ m}^2$$

$$V_{pd} = N_d - A_p (\sigma_z) = 1315 - 1.21 \times 246.1 = 1017.2 \text{ kN}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{80}{1315} = 0.06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{1.0}{1.0 + 1.5 \frac{e (0.4)}{\sqrt{b_1 b_2}}} = \frac{1.0}{1.0 + 1.5 \times \frac{6 \times 0.4}{\sqrt{110 \times 110}}} = 0.968$$

$$V_{pr} = \gamma (f_{ctd}) U_p (d) = 0.968 \times 1 \times 10^{-3} \times 4400 \times 600 = 2555.5 \text{ kN}$$

$$V_{pd} < V_{pr} \quad \text{Zımbalamaya göre güvenlidir.}$$

Diğer kolonda da zımbalama kritik olmamaktadır.

Kesmeye göre:

$$V_d = 761.3 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = \gamma (f_{ctd}) b_y (d) = 1 \times 1 \times 10^{-3} \times 1500 \times 600 = 900 \text{ kN}$$

$$V_d < V_{cr} \text{ Etriye gerekmez.}$$

Donatı hesabı:

$$\text{Açıklık momenti: } M_{dx} = 772 \text{ kNm}$$

$$\text{Mesnet momenti: } M_{dx} = 183 \text{ kNm (Kritik değer kolon yüzündedir).}$$

Açıklık:

$$K = \frac{b_y (d)^2}{M_d} = \frac{1500 \times 600^2}{772 \times 10^3} = 699.5 \text{ mm}^2/\text{kN}, \quad K_l = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (K > K_l)$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} J d} = \frac{772 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 600} = 7833.1 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

$$A_{s \min} = \rho_{\min} b_y d = 0.002 \times 1500 \times 600 = 1800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen donatı: } 15\phi 26/10 \text{ cm (12}\phi 26 \text{ düz+3}\phi 26 \text{ pilye)}$$

Mesnet:

$$A_s = \frac{183 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 600} = 1856.8 \text{ mm}^2$$

Mevcut donatı = $3\phi 26$ pilye + $4\phi 16$ montaj = $2396 \text{ mm}^2 > A_s$ olduğundan ek donatı gerekmez.

Enine doğrultuda (Gizli kiriş):

$$\textcircled{1} \quad a+h=50+65=115 \text{ cm gizli kiriş genişliği ve } d=600-20=580 \text{ mm.}$$

$$\text{Yük} = \frac{N_d}{b_y} = \frac{900}{1.5} = 600 \text{ kN/m}$$

$$l_y = \frac{(b_y - a_y)}{2} = \frac{1.5 - 0.5}{2} = 0.5 \text{ m}$$

$$M_{dy1} = q_{y1} \frac{l_{y1}^2}{2} = 600 \times \frac{0.5^2}{2} = 75 \text{ kNm}$$

$$A_{sy1} = \frac{M_{dy1}}{f_{yd} j d} = \frac{75 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 580} = 787.2 \text{ mm}^2 \quad (4\phi 16)$$

$$\textcircled{2} \quad a+2h=210 \text{ cm}$$

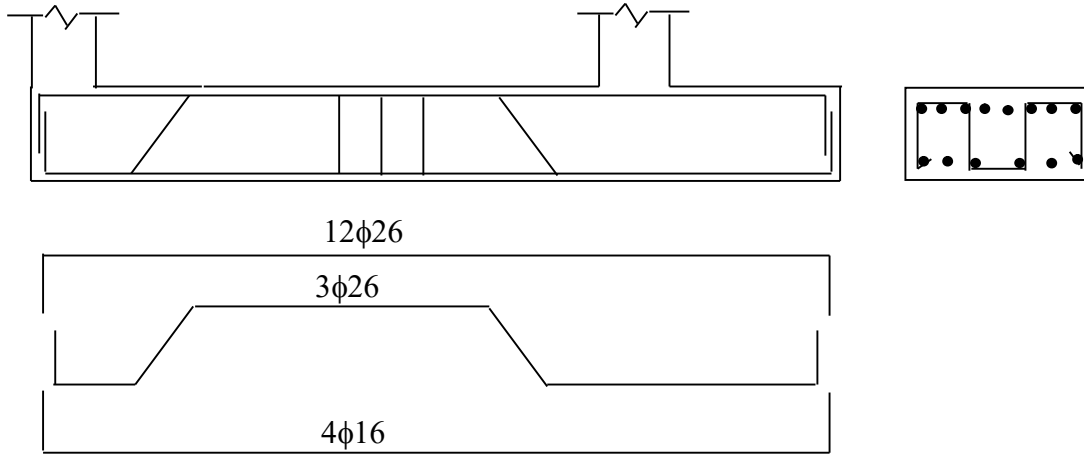
$$\text{Yük} = \frac{N_d}{b} = \frac{1315}{1.5} = 876.67 \text{ kN/m}$$

$$l_y = \frac{(b_y - a_y)}{2} = 0.5 \text{ m}$$

$$M_{dy1} = q_{y2} \frac{l_{y2}^2}{2} = 876.67 \times \frac{0.5^2}{2} = 109.6 \text{ kNm}$$

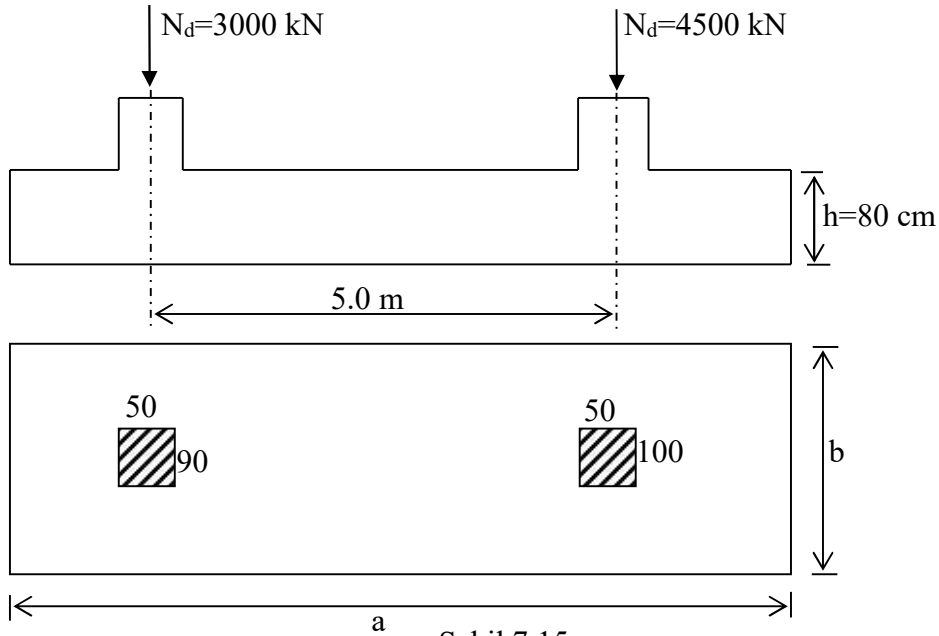
$$A_{sy1} = \frac{M_{dy2}}{f_{yd} j d} = \frac{109.6 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 580} = 1150.4 \text{ mm}^2 \quad (6\phi 16)$$

Donatı detayı:



Şekil 7.14

Örnek 2



Şekil 7.15

Şekil 7.15’de verilen birleşik kolon sömelinin tasarımı yapılacaktır. $\sigma_{z, em}=200 \text{ kN/m}^2$

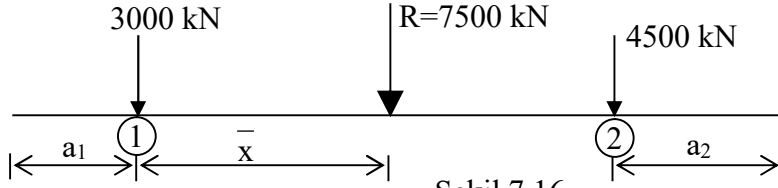
- Sömel plağını üniform zemin gerilmesi oluşacak biçimde boyutlandırınız.
- Sömel boyutları $a=9 \text{ m}$, $b=3.4 \text{ m}$ kabul ederek birleşik sömelin boyutlarını kontrol ederek donatı hesabını yapınız. Malzeme C20, S420, paspayı=6 cm.

Çözüm:

a)

$$f_{zu} = 1.5 (\sigma_{z, em}) = 1.5 \times 200 = 300 \text{ kN/m}^2$$

① noktasına göre moment denge denkleminde (Şekil 7.16)



Şekil 7.16

$\sum M_1 = 0 \quad 4500 \times 5 = 7500 \times (\bar{x})$ buradan $\bar{x} = 3$ m olarak bulunur. Bu durumda; $a_1 = 1.5$ m, $a_2 = 2.5$ m ve $a = 9$ m olarak belirlenir.

$$\sigma = \frac{\sum N_d}{a \cdot b} \quad b = \frac{7500}{9 \times 300} \quad b = 2.78 \text{ m olarak bulunur. Seçilen } b = 3 \text{ m.}$$

b) ($a = 9$ m, $b = 3.4$ m)

Sürekli temelin altında üniform gerilme dağılımı oluşturulmaktadır;

$$f_{zn} = f_{zu} - \gamma(h)$$

$$f_{zn} = 300 - 18 \times 0.8 = 285.6 \text{ kN/m}^2$$

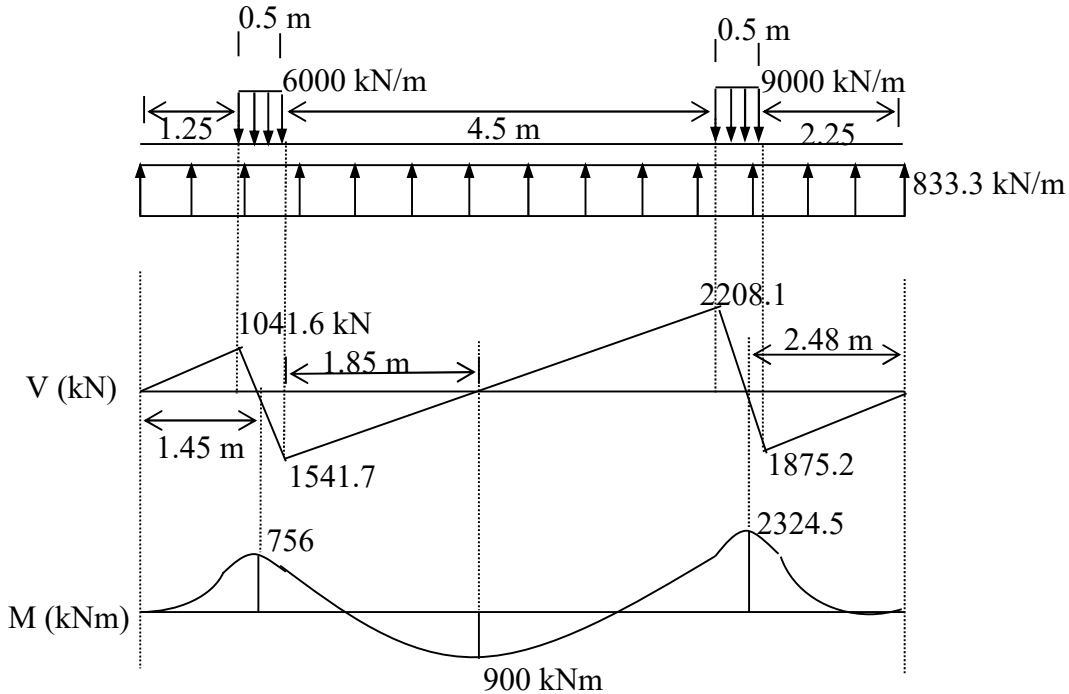
$$\sigma = \frac{\sum N_d}{a \cdot b} = \frac{7500}{9 \times 3.4} = 245.1 \text{ kN/m}^2 < f_{zn}, \text{ olduğundan boyutlar yeterlidir.}$$

Kesin tasarım:

$$\text{Temel altı: } q = 7500/9 = 833.3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sol kolon altı: } q_{\text{sol}} = 300/0.5 = 6000 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sağ kolon altı: } q_{\text{sağ}} = 4500/0.5 = 9000 \text{ kN/m}$$

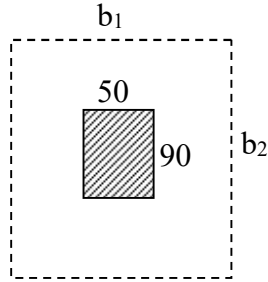


Şekil 7.17

Zımbalama kontrolü:

$$\gamma=1 \quad (M=0)$$

① Nolu kolon:



$$b_1=50+d=50+74=124 \text{ cm}$$

$$b_2=90+d=90+74=164 \text{ cm}$$

$$U_p=2 (b_1 + b_2)=576 \text{ cm}$$

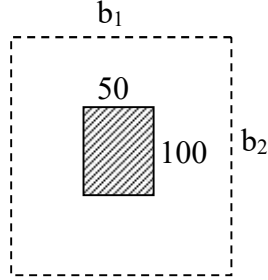
$$A_p= (b_1) (b_2)=2.03 \text{ m}^2$$

$$V_{pd}=N_d-A_p(\sigma_z)=3000-2.03 \times 245.1=2502.4 \text{ kN}$$

$$V_{pr}=\gamma (f_{ctd}) U_p (d)=1 \times 1 \times 10^{-3} \times 5760 \times 740=4262.4 \text{ kN}$$

$$V_{pd} < V_{pr} \quad \text{Zımbalamaya göre güvenlidir.}$$

② Nolu kolon:



$$b_1=50+74=124 \text{ cm}$$

$$b_2=100+74=174 \text{ cm}$$

$$U_p=2 (b_1 + b_2)=596 \text{ cm}$$

$$A_p= (b_1) (b_2)=2.16 \text{ m}^2$$

$$V_{pd}=N_d-A_p(\sigma_z)=4500-2.16 \times 245.1=3970.6 \text{ kN}$$

$$V_{pr}=\gamma (f_{ctd}) U_p (d)=1 \times 1 \times 10^{-3} \times 5960 \times 740=4410 \text{ kN}$$

$$V_{pd} < V_{pr} \quad \text{Zımbalamaya göre güvenlidir.}$$

Hesap kesme dayanımı:

Kritik değerler kolon yüzündeki değerlerdir;

$$V_d=2208.1 \text{ kN} \quad (\text{Sürekli temelin kolon yüzündeki en büyük kesme kuvveti})$$

$$V_{cr}=\gamma (f_{ctd}) b (d)=1 \times 1 \times 10^{-3} \times 3400 \times 740=2516 \text{ kN}$$

$$V_d < V_{cr} \quad \text{Etriye gerekmez.}$$

Kolon yüzündeki moment (hesap momenti):

$$M_d=833.3 \times 2.25^2 \times \frac{1}{2}=2109.4 \text{ kNm}$$

$$K=\frac{b d^2}{M_d}=\frac{3400 \times 740^2}{2109.4 \times 10^3}=882 \text{ mm}^2/\text{kN}, \quad K_l=\frac{4.95}{f_{cd}}=380 \text{ mm}^2/\text{kN} \quad (K > K_l)$$

$$A_s=\frac{M_d}{f_{yd} J d}=\frac{900 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 740}=3874 \text{ mm}^2 \text{ elde edilir.}$$

$$A_{s \min}=\rho_{\min} b d=0.002 \times 3400 \times 740=5032 \text{ mm}^2 > 3874 \text{ mm}^2 \text{ min değer temel alınmalıdır.}$$

Seçilen donatı: $\phi 20/20 \text{ cm}$ ($17\phi 20=12\phi 20 \text{ düz}+5\phi 20 \text{ pilye}$)

Mesnet:

$$A_s = \frac{2109.4 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 740} = 9081 \text{ mm}^2$$

$$\text{Mevcut donatı} = 5\phi 20 \text{ pilye} + 4\phi 16 \text{ montaj} = 2375 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ek: } 9081 - 2375 = 6706 \text{ mm}^2 \quad 13\phi 26$$

Enine doğrultuda (Gizli kiriş):

$$\textcircled{1} \quad a + 2h = 50 + 2 \times 80 = 210 \text{ cm}$$

$$\text{Yük} = \frac{N_d}{b} = \frac{3000}{3.4} = 882.3 \text{ kN/m}$$

$$l_y = \frac{(b_y - a_y)}{2} = \frac{3.4 - 0.9}{2} = 1.25 \text{ m}$$

$$M_{dy1} = q_{y1} \frac{l_{y1}^2}{2} = 882.3 \times \frac{1.25^2}{2} = 689.3 \text{ kNm}$$

$$A_{sy1} = \frac{M_{dy1}}{f_{yd} j d} = \frac{689.3 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 740} = 2967 \text{ mm}^2 \quad (10\phi 20)$$

$$\textcircled{2} \quad a + 2h = 210 \text{ cm}$$

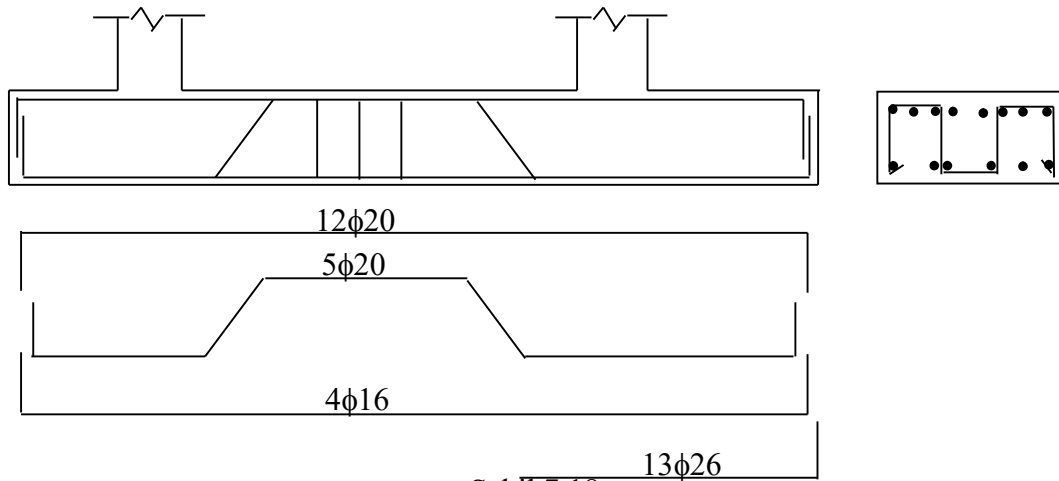
$$\text{Yük} = \frac{N_d}{b} = \frac{4500}{3.4} = 1323.5 \text{ kN/m}$$

$$l_y = \frac{(b_y - a_y)}{2} = \frac{3.4 - 1}{2} = 1.2 \text{ m}$$

$$M_{dy2} = q_{y2} \frac{l_{y2}^2}{2} = 1323.5 \times \frac{1.2^2}{2} = 953 \text{ kNm}$$

$$A_{sy2} = \frac{M_{dy2}}{f_{yd} j d} = \frac{953 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 740} = 4103 \text{ mm}^2 \quad (11\phi 22)$$

Donatı detayı:



Şekil 7.18

7.3 Sürekli Temeller

Sürekli temeller, birden fazla kolon, perde, kagir duvar gibi düşey taşıyıcı elemanın yüklerini bir bütün olarak ve yeterli bir rijitlik içinde zemine aktarabilen temellerdir. Bir doğrultuda sıralanmış düşey taşıyıcı elemanlar altında düzenlenen sürekli temeller şerit temel, birden fazla doğrultuda yerleştirilmiş düşey taşıyıcı elemanlar altında düzenlenmiş sürekli temeller ise alan temeli olarak adlandırılır. Şerit temeller ve alan temelleri, kirişli veya kirişsiz plaklar biçiminde düzenlenebilirler.

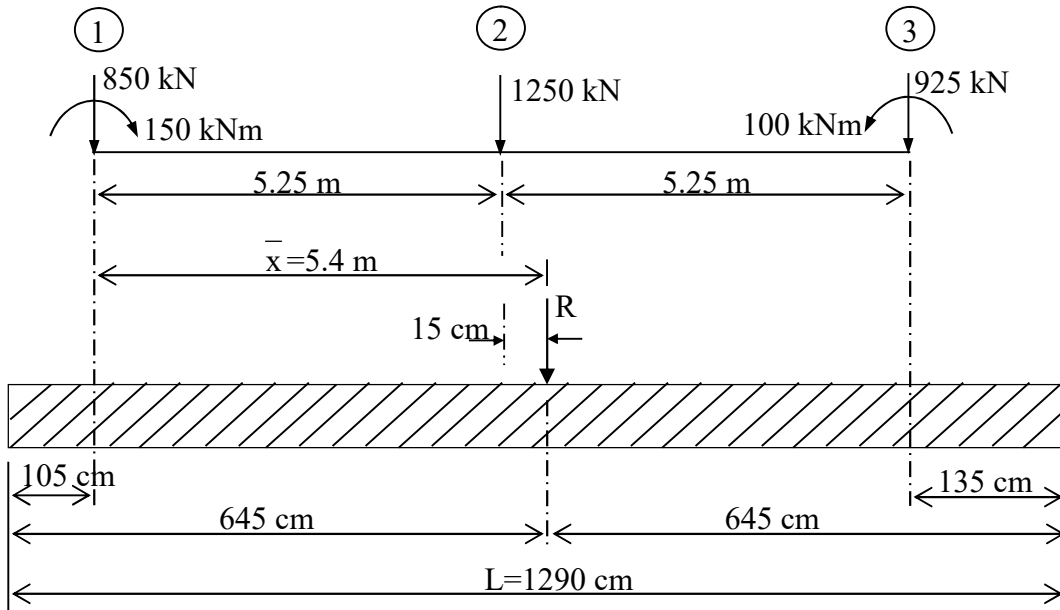
Kirişli olan sürekli temellerde, kiriş yüksekliği plak da içinde olmak üzere, serbest açıklığın 1/10 undan, plak kalınlığı da 200 mm den daha az olamaz. Bu tür temellerde, V_{cr} kesmede çatlama dayanımı, kolon yüzünde hesaplanan V_d tasarım kesme kuvvetinden büyük olması sağlanmalıdır.

Sürekli temel altındaki zemin gerilmesi temelin genişliği ve rijitliğine ve zemin türüne bağlıdır. Sürekli temel çözümü temelin tam rijit davrandığı varsayımına göre yapılabilir. Bu varsayımda temel deformasyonu, zemindekine oranla çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Rijit temel varsayımı ile yapılan çözümlemede önce, birleşik temelde yapıldığı gibi, kolonlardan gelen zorlamaların bileşkesinin etkidiği nokta ile temelin geometrik merkezi çakıştırılmaya çalışılmalıdır. Bu durumda temel altındaki zemin gerilmesi düzgün yayılı olarak ele alınır ve çözümleme yapılır.

7.3.1 Örnekler

Örnek 1

Şekil 7.19’da verilen sürekli temeli boyutlandırarak donatı hesabını yapınız. Malzeme C16, S220, zemin emniyet gerilmesi, $\sigma_{z, em}=225 \text{ kN/m}^2$, paspayı=5 cm ve kolon boyutları 40x40 cm.



Şekil 7.19

Ön tasarım:

$$f_{zu} = 1.5 (\sigma_{z, em}) = 1.5 \times 225 = 337.5 \text{ kN/m}^2, \quad R = 850 + 1250 + 925 = 3025 \text{ kN}$$

① Noktası etrafında moment alınarak;

$$150 + 1250 \times 5.25 + 925 \times 10.5 - 100 = 3025 \times (\bar{x})$$

$\bar{x} = 5.4 \text{ m}$ olarak bileşke kuvvetin etkiye noktası bulunur.

$$l/5 = 525/5 = 105 \text{ cm, temel in yarı uzunluęu} = 540 + 105 = 645 \text{ cm.}$$

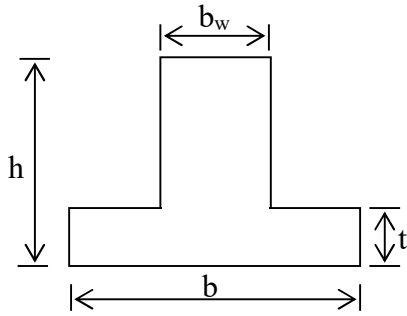
$$\text{Temel boyu, } L = 642 \times 2 = 1290 \text{ cm.}$$

$$\text{Temel genişliği, } b = \frac{\sum N_d}{L f_{zu}} = \frac{3025}{12.9 \times 337.5} = 0.694 \text{ m.}$$

Emniyetli yönde kalmak için temel genişliği bir miktar arttırılmalıdır. Bu durumda;

$b = 80 \text{ cm}$ kabul etmek uygun olacaktır.

Temel kiriş genişliği, $b_w = 50 \text{ cm}$ ve tabla kalınlığı, $t = 20 \text{ cm}$ kabul edilirse;



Zemin gerilmesi:

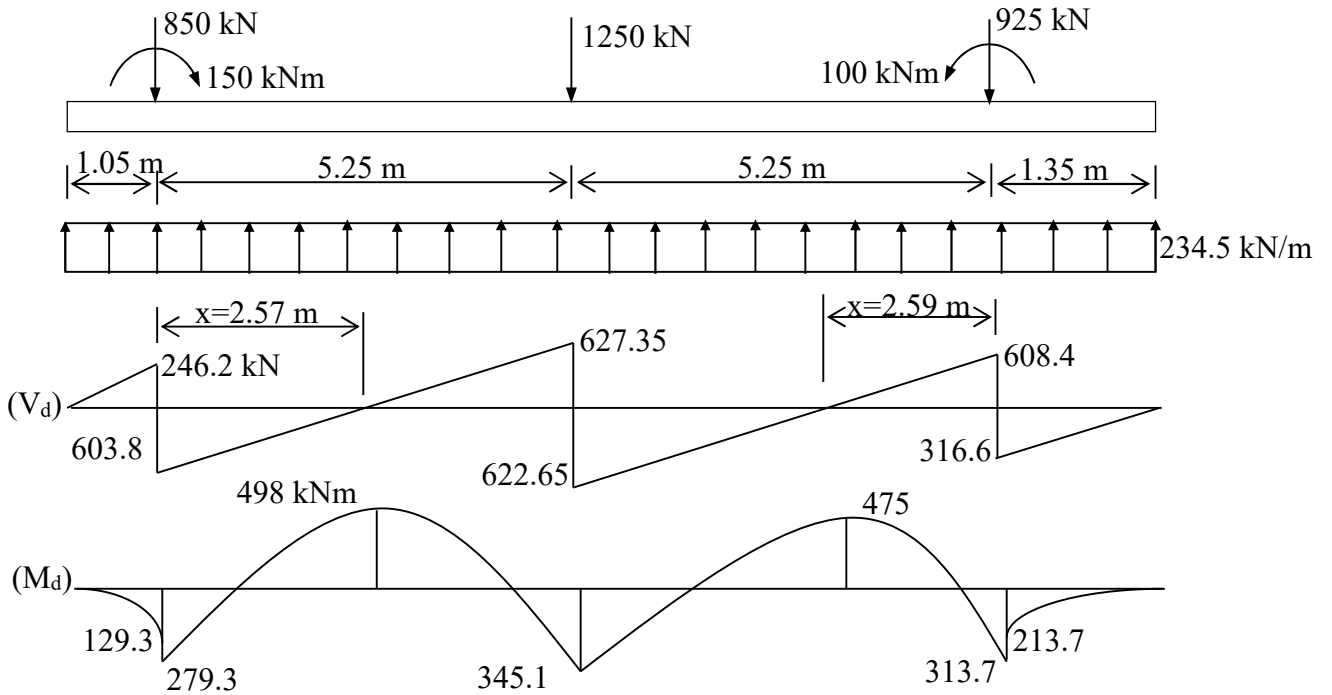
$$\sigma_z = \frac{\sum N_d}{L (b)} = \frac{3025}{12.9 \times 0.8} = 293.1 \text{ kN/m}^2$$

$h = 100 \text{ cm}$ kabul edilirse ($d = 95 \text{ cm}$)

$$f_{zn} = f_{zu} - 18 h = 337.5 - 18 \times 1.0 = 319.5 \text{ kN/m}^2 > \sigma_z \quad \text{Boyutlar uygun bulunmaktadır.}$$

Kesin tasarım:

$$1.0 \text{ metre boya karşılık gelen zemin gerilmesi: } q_z = \frac{\sum N_d}{L} = \frac{3025}{12.9} = 234.5 \text{ kN/m}$$



Şekil 7.20

Kesme hesabı:

$$\max V=627.35 \text{ kN}, \quad V_d=V-q_z(d+\frac{a}{2}), \quad V_d=627.35-234.5 \times (0.95+\frac{0.4}{2})=357.67 \text{ kN}$$

$$V_{cr}=\gamma (f_{ctd}) b (d)=0.65 \times 0.9 \times 10^{-3} \times 500 \times 950=277.9 \text{ kN}$$

$V_d > V_{cr}$ olduğundan kiriş genişliği bir miktar arttırılmalıdır. $b_w=60$ cm seçilir, bu durumda $V_{cr}=333.5$ kN olur. Bu değer V_d değerine oldukça yakın olduğundan boyutlar kesme için yeterli kabul edilebilir.

$$V_c=0.8 V_{cr}=266.8 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - V_c}{f_{ywd} (d)}, \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{(357.67 - 266.8) \times 10^3}{191 \times 950} = 0.5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w, \quad \min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \times \frac{0.9}{191} \times 600 = 0.85 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\phi 10 \text{ seçilirse; } A_{sw}=157.08 \text{ mm}^2, \quad \frac{157.08}{s} = 0.85 \quad \text{buradan } s=184.8 \text{ mm } \phi 10/18 \text{ cm}$$

etriye kullanılır.

Eğilme hesabı:

Açıklıkta tabla basınç bölgesinde, mesnetlerde ise çekme bölgesinde kalacaktır.

(1)-(2) aksı arası açıklık momenti, $M_d=498$ kNm

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d}, \quad K = \frac{600 \times 950^2}{498 \times 10^3} = 1087 \text{ mm}^2/\text{kN} > K_l = \frac{4.95}{f_{cd}} = 450 \text{ mm}^2/\text{kN}$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} (j) d}, \quad A_s = \frac{498 \times 10^6}{191 \times 0.9 \times 950} = 3049.5 \text{ mm}^2 \quad \text{olarak donatı hesaplanır.}$$

Seçilen donatı: $4\phi 20$ düz + $6\phi 20$ pilye $= 3140 \text{ mm}^2 > \min A_s$

$$\min A_s = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 2149 \text{ mm}^2$$

$$(2)-(3) \text{ arası açıklık momenti, } M_d=475 \text{ kNm}, \quad A_s = \frac{475 \times 10^6}{191 \times 0.9 \times 950} = 2908.6 \text{ mm}^2 > \min A_s$$

Seçilen donatı: $4\phi 20$ düz + $6\phi 20$ pilye $= 3140 \text{ mm}^2 > \min A_s$

$$(1) \text{ Nolu mesnet: } M_d = M - V \frac{a}{3}, \quad M_d = 279.3 - 246.2 \times \frac{0.4}{3} = 246.5 \text{ kNm}$$

$$A_s = \frac{246.5 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 950} = 1580 \text{ mm}^2 < \min A_s = 2149 \text{ mm}^2 \quad \text{bu durumda } \min A_s \text{ geçerlidir.}$$

Mevcut donatı: $6\phi 20$ pilye + $4\phi 12$ montaj $= 2336 \text{ mm}^2 > 2149 \text{ mm}^2$ Ek donatı gerekmez!

$$(2) \text{ Nolu mesnet: } M_d = 345.1 - 622.65 \times \frac{0.4}{3} = 262.1 \text{ kN m}$$

$$A_s = \frac{262.1 \times 10^6}{191 \times 0.86 \times 950} = 1679.6 \text{ mm}^2 < \min A_s = 2149 \text{ mm}^2$$

Mevcut donatı: $6\phi 20$ pilye+ $6\phi 20$ pilye+ $4\phi 12$ montaj= $4220 \text{ mm}^2 > 2149 \text{ mm}^2$ Ek donatı gerekmez!

(3) Nolu mesnet: $M_d = 313.7 - 316.6 \times \frac{0.4}{3} = 271.5 \text{ kNm}$

$A_s < \min A_s = 2149 \text{ mm}^2$

Mevcut donatı: $6\phi 20$ pilye+ $4\phi 12$ montaj= $2336 \text{ mm}^2 > 2149 \text{ mm}^2$ Ek donatı gerekmez!

Pabucun alt tablasının dışa taşan parçaları bir konsol gibi çalışacağından kontrol edilmesi gerekmektedir. ($b_w = 1 \text{ m}$, $h = 20 \text{ cm}$, $d = 15 \text{ cm}$).

$\sigma_z = 234.5 \text{ kN/m}^2$

1 m konsol genişliği için $q_{z2} = 234.5 \text{ kN/m}$

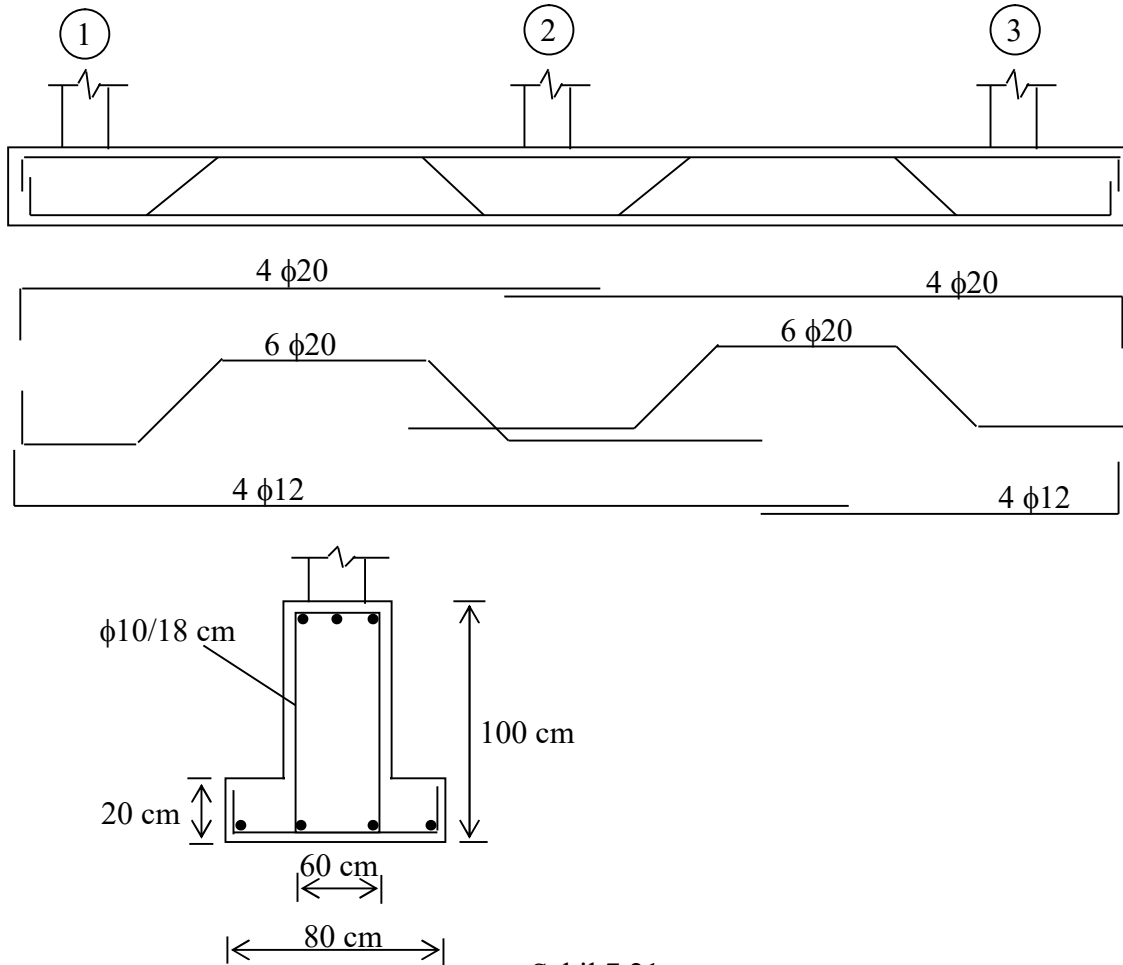
Konsol açıklığı = $(0.8 - 0.6)/2 = 0.1 \text{ m}$

$M_d = 234.5 \times (0.1)^2 / 2 = 1.17 \text{ kNm}$

$M_{cr} = f_{ctf} \frac{I}{y}$, ($f_{ctf} = 2 f_{ctd}$), $I = 1000 \times \frac{200^3}{12} = 666.66 \times 10^6$, $y = 100 \text{ mm}$

$M_{cr} = 2 \times 0.9 \times \frac{666.66 \times 10^6}{100} \times 10^{-6} = 12 \text{ kNm}$

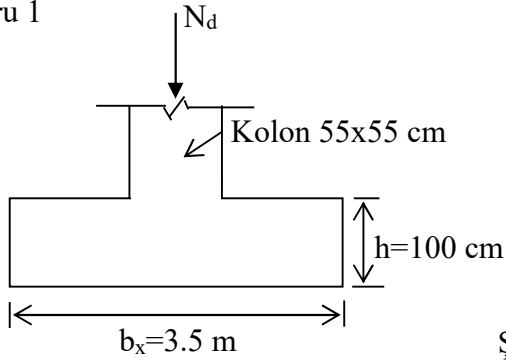
$M_d < M_{cr}$ olduğundan donatı gerekmez $\phi 10/18 \text{ cm}$ etriye kolları tablaya doğru uzatılır.



Şekil 7.21

7.4 Çalışma Soruları

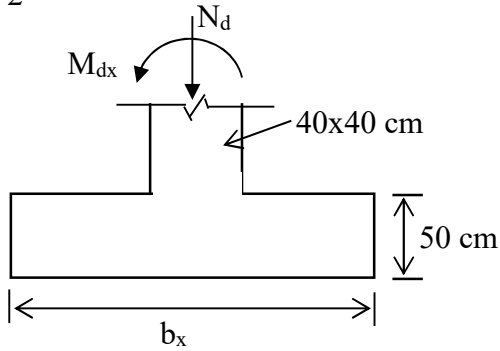
Soru 1



Şekil 7.22’de verilen tekil temele;
 $G=2225$ kN
 $Q=2286$ kN yük etki etmektedir,
 $b_x=b_y=3.5$ m , $\sigma_{z,em}=385$ kN/m², malzeme C20,
 S420 ve paspayı=5 cm olduğuna göre temelin
 tasarımını yapınız.

Şekil 7.22

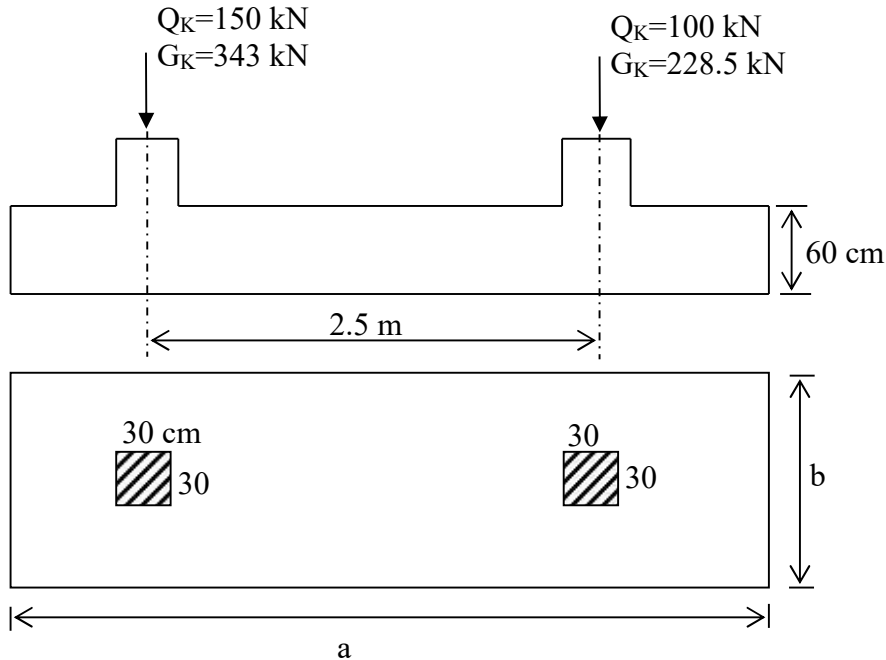
Soru 2



Şekil 7.23’te verilen temelde $N_d=1400$ kN,
 $M_{dx}=225$ kNm, ve $M_{dy}\cong 0$ olduğuna göre
 $b_x=b_y=2.8$ m kabul ederek tekli kolon temelinin
 tasarımını yapınız.
 Malzeme C20, S420, $\sigma_{z,em}=180$ kN/m²,
 paspayı=50 mm.

Şekil 7.23

Soru 3



Şekil 7.24

Şekil 7.24’te gösterilen birleşik kolon sömelinin tasarımını yapınız. Kolonların ölü ve hareketli yükleri şekilde verilmektedir. Zemin emniyet gerilmesi 200 kN/m² olup malzeme C20, S220 ve paspayı=50 mm.

KAYNAKLAR

1. Uğur Ersoy “Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı” (Cilt1, Cilt2) İnşaat Müh. Odası, Selanik cad. 19/1 Yenişehir/ANKARA
2. Altay Gündüz “Betonarme Taşıma Gücü İlkesine Göre Hesap” Kazmaz Matbaası Cağaloğlu/İSTANBUL.
3. C. Dünder, E. Kırıl ve Y. Mengi “Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları” Genişletilmiş 3. Baskı Teknik Yayınevi, 1987 ANKARA.
4. Arda, Aka, Keskinel “Betonarmeye Giriş” Birsan Yayınevi, 1985.
5. Zekai Celep, Nahit Kumbasar “Betonarme Yapılar” Sema Matbaacılık, 1996, İSTANBUL.
6. Zekai Celep, Nahit Kumbasar “Örneklerle Betonarme” Sema Matbaacılık, İSTANBUL.
7. Dünder, Tanrikulu, Kırıl, Tokgöz “Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Analiz ve Tasarımı” Adana İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 1998.
8. TS500 “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” Türk Standartları Enstitüsü,2000.
9. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2 Eylül 1997 Tarih ve 23098 Sayılı Resmi Gazete.
10. Nilson, Winter “Design of Concrete Structures” Mc Graw Hill International Editions,1991.
11. Ferguson “Reinforced Concrete Fundamentals” John Wiley and Sons, Forth Edition,1981.
12. Park, Paulay “Reinforced Concrete Structures” John Wiley and Sons, 1975.
13. Leet “Reinforced Concrete Design” Mc Graw Hill, Second Edition, 1991.
14. ACI 318-89 “Building Code Requirements for Reinforced Concrete” Portland Cement Association, Fifth Edition, 1990.