

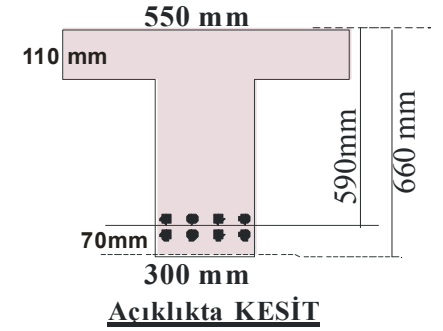
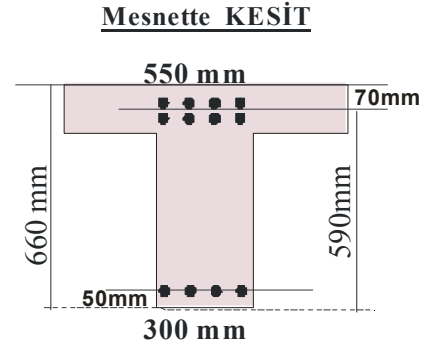
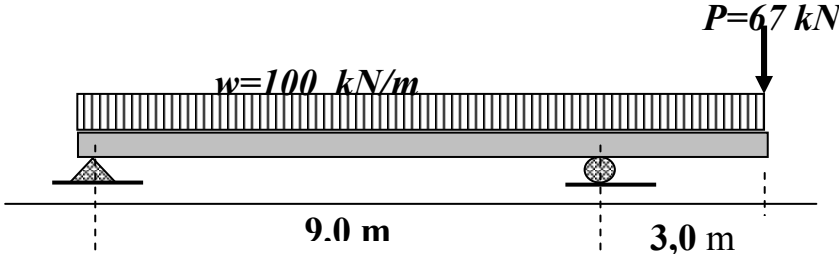
Final soru ve cevapları aşağıda verilmiştir. Bütünleme sınavı için ciddi olarak hazırlanılması gerekir. Final sınavında soruların veya yılıcı sınavında soruların sorulmaz diye bir kural yoktur. Dolayısıyla yılıcı ve final sorularını tekrar tekrar çözerek içeriğini tam anlamamış olan öğrencilerin başarılı olması mümkün olamaz kanısındayım. Soruların çözüm mantığını anlamalısınız.

**Çözümlerde işlem hataları tespit ederseniz lütfen bildiriniz**

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ - İNŞAAT MÜH. BÖLÜMÜ  
BETONARME - 1 FİNAL SORULARI (23-06-2006) Süre 100 dakika

### **Soru-1**

Kirişe etkileyen katsayılarla artırılmış yükler şekilde verilmiştir. (Kiriş öz ağırlığı dahil edilmiştir). Kiriş kesiti tüm boyda sabittir. Çift sıra donatı durumunda pas payı 70 mm, tek sıra donatı durumunda 50 mm dir. Malzeme  $f'_c = 25 \text{ MPa}$   $f_y = 420 \text{ MPa}$  olarak bilinmektedir.



### **İstenenler**

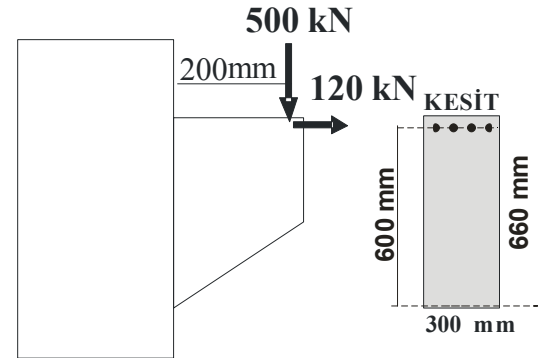
- Kesme kuvveti diyagramını çiziniz  
- Moment diyagramını çiziniz
- Katsayılarla büyütülmüş açıklık momenti  $M_n = 793 \text{ kNm}$  olsaydı ne kadar çekme donatısı gerekirdi belirleyiniz.
- Katsayılarla büyütülmüş mesnet momenti  $M_n = 720 \text{ kNm}$  olsaydı gereken donatı miktarını hesaplayınız.
- Kiriş kritik kesitinde katsayı ile büyütülmüş kesme kuvveti  $V_n = 588 \text{ kN}$  olsaydı
  - kesit yeterlidir kontrol ediniz
  - triye çap ve aralığını belirleyiniz

### **Soru -2**

Beton bir konsol üzerine katsayılarla artırılmış düşey yük 500 kN ve yatay yük 120 kN dir. Malzeme olarak beton mukavemeti 25 Mpa ve Çelik akma limiti 400 Mpa olarak bilinmektedir. Konsol kesitinin genişliği 300 mm toplam yüksekliği 660 mm, hesap yüksekliği 600 mm dir. Tekil yüklerin tatbik noktası kolon yüzünden 200 mm mesafededir.

### **İstenenler**

- Seçilen kesitin uygun olup olmadığı kontrolleri yapınız
  - Kesmeye göre kontrol ediniz
  - Gerilmelere göre kontrol ediniz
  - Momente göre kontrol ediniz.
- Momente ve çekmeye göre donatı miktarını belirleyiniz
- Kayma donatı miktarını belirleyiniz
- Konstrüktif donatıları da itibara alarak Donatı krokisini çiziniz



### Soru 3

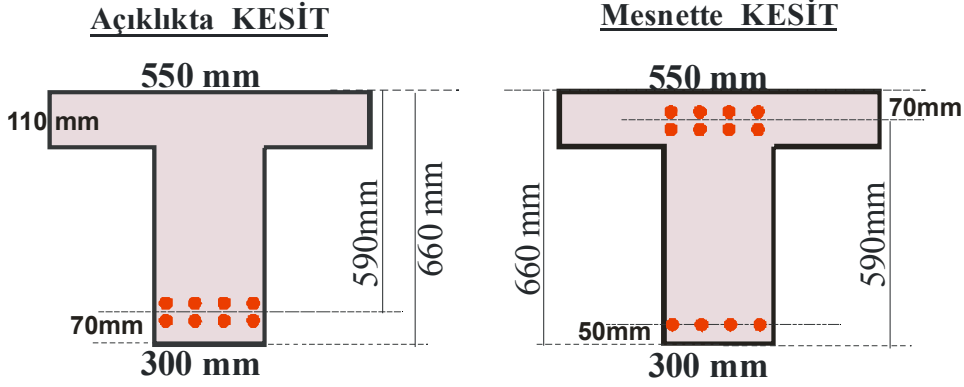
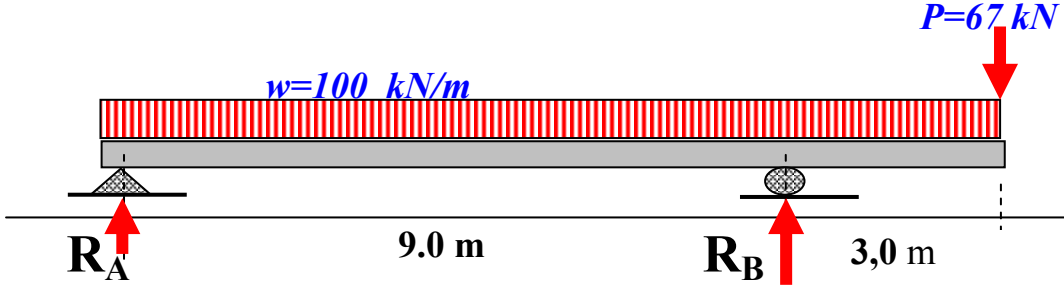
- a) Metreküp ağırlığı 2350 kg ve basınç dayanımı  $f'_c = 22 \text{ MPa}$  olan betonun
- \* *ACI basit denklemine göre elastisite modülü değeri nedir ?*
  - \* *ACI detaylı denklemine göre elastisite modülü değeri nedir ?*
  - \* *TS500 denklemine göre elastisite modülü değeri nedir ?*
- b) Beton standart deneyinde maksimum gerilmeye karşılık gelen deformasyon 0,0012 olarak bulunmuştur. Elastisite modülünü 20 GPa kabul ederek;
- \* *Deformasyon değeri 0,0010, 0,0015 ve 0,0030 için gerilme değerini belirleyiniz*
  - \* *Maksimum gerilme değerini belirleyiniz*
  - \* *Beton elastik kabul edilseydi deformasyon değeri 0,001 - 0,0012 ve 0,003 değerleri için gerilme değerleri ne olurdu ?*
  - \* *Değerleri karşılaştırarak betonun elastik kabul edilebilir veya edilemez oluşunu belirleyiniz*
- c) Betonarme yapıların inşa edildiği bir şantiyeden çeşitli zamanlarda alınan 40 adet silindirik beton numunelerinin yaşı 28 gün iken laboratuvar deneyleri yapılmış ve ortalama mukavemet 23,5 MPa ve standart sapma 3,3 MPa olarak hesaplanmıştır.
- \* *% 2.5 Risk için  $f'_c$  değerlerini belirleyiniz.*
  - \* *% 5 Risk için  $f'_c$  değerlerini belirleyiniz*
  - \* *% 10 Risk için  $f'_c$  değerlerini belirleyiniz*
- d) Küp mukavemeti 28 MPa olan bir betonun :
- \* *Silindirik mukavemetini belirleyiniz.* 
$$f'_c = \left[ 0,76 + 0,2 \cdot \log_{10} \left( \frac{f_{cu}}{19,6} \right) \right] \cdot f_{cu}$$
- e) Hafif betonun yoğunluğu 1400 kg/m<sup>3</sup> ise ve mukavemeti = 20 MPa ise
- \* *Hafif betonun Elastisite Modülü değeri nedir ?*
  - \* *Doğrudan Çekme Mukavemeti ne kadardır ?*
  - \* *Yarma Çekme Mukavemeti ne kadardır ?*
  - \* *Eğilmede Çekme Mukavemeti ne kadardır ?*

*Başarılar diliyorum S.A.Kaplan*

**Not:** Çözümlerde TS-500 veya ACI-318M95 standartlarından birini kullanabilirsiniz. Puan, kesin sonuçlara verilir. Birimleri yanlış veya birimi yazılmamış cevaplara puan verilmez. İşlem ayrıntıları düzenli yazılmayan şıklara puan verilmez.

### Soru-1

Kiriş etkiyen katsayılarla artırılmış yükler şekilde verilmiştir. (Kiriş öz ağırlığı dahil edilmiştir). Kiriş kesiti tüm boyda sabittir. Çift sıra donatı durumunda pas payı 70 mm, tek sıra donatı durumunda 50 mm dir. Malzeme  $f'_c = 25\text{MPa}$   $f_y = 420\text{MPa}$  olarak bilinmektedir.



### İstenenler

- Kesme kuvveti diyagramını çiziniz  
- Moment diyagramını çiziniz
- Katsayılarla büyütülmüş açıklık momenti  $M_n = 793\text{ kNm}$  olsaydı ne kadar çekme donatısı gerekirdi belirleyiniz.
- Katsayılarla büyütülmüş mesnet momenti  $M_n = 720\text{ kNm}$  olsaydı gereken donatı miktarını hesaplayınız.
- Kiriş kritik kesitinde katsayı ile büyütülmüş kesme kuvveti  $V_n = 588\text{ kN}$  olsaydı
  - kesit yeterlidir kontrol ediniz
  - etriye çap ve aralığını belirleyiniz

## Cevap 1

### a. Kesme kuvveti diyagramı ve Moment diyagramı çizimi

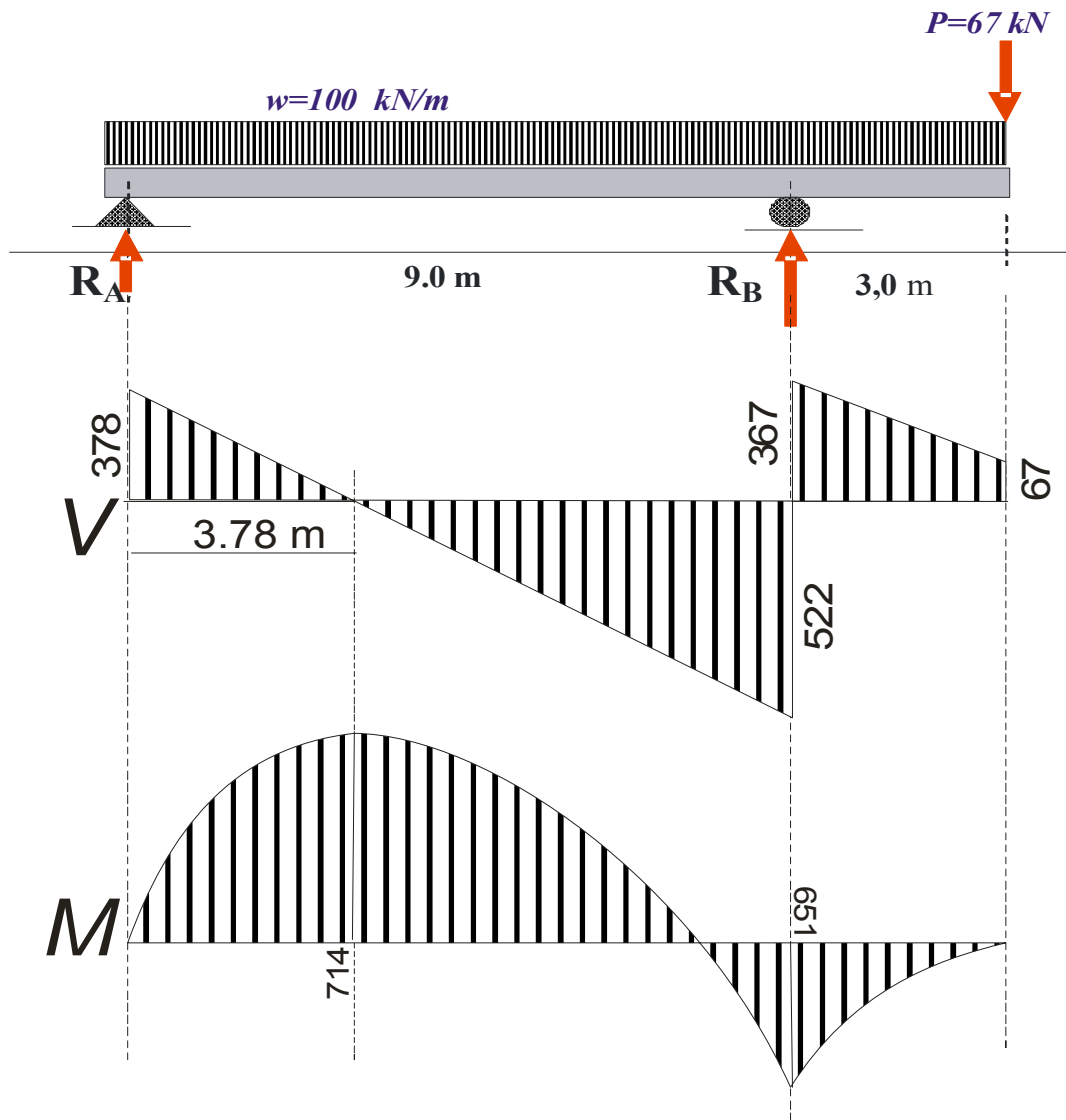
Düşey Denge denklemi yazılırsa :  $R_A + R_B = 100(12) + 67$  .. (1-1)

Sol mesnete göre moment denklemi yazılırsa :

$$-R_B \cdot (9) + 67 \cdot (12) + 100(12) \cdot \left(\frac{12}{2}\right) = 0 \Rightarrow R_B = \frac{1200(6) + 67(12)}{9} = 889 \text{ kN}$$

Yukardaki (1-1) nolu denklemde yerine konulursa :

$$R_A + 889 = 100(12) + 67 \Rightarrow R_A = 1267 - 889 = 378 \text{ kN}$$



Mesnet (A) da kesme kuvveti değeri 378 kN olarak başlar ve her metre ilerleyişte  $w=100 \text{ kN}$  azalır. Böylece 3.78 m de sıfır olur. Bunu takiben azalmaya devam eder ve Mesnet (B) de 522 kN değerini alır. Mesnet (B) de  $R_A$  kadar yükselir ve devam ederek konsol ucunda sıfırlanır.

Moment diyagramını kesme kuvveti alanı toplamından hareket edilerek belirlenebilir. Örneğin momentin açıklıkta maksimum olduğu değer kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktadır.

$$\text{Kesme kuvveti diyagramı alanı } (M)_{a\check{c}} = \frac{378(3.78)}{2} = 714.42 \text{ kN} \cong 714 \text{ kN}$$

Maksimum noktadan itibaren her metre ilerleyişte moment 100 kNm azalır ve mesnet (B) de moment değeri :

$$\frac{522 \cdot (5.22)}{2} - 714 = 648 \text{ kNm}$$

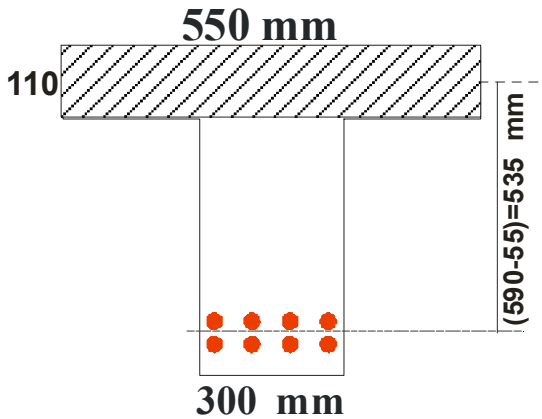
Konsol ucundan itibaren geri dönüş olarak düşünülürse Mesnetteki moment

$$(M)_{mes} = \frac{367 + 67}{2}(3) = 651 \text{ kNm} \text{ olarak bulunur.}$$

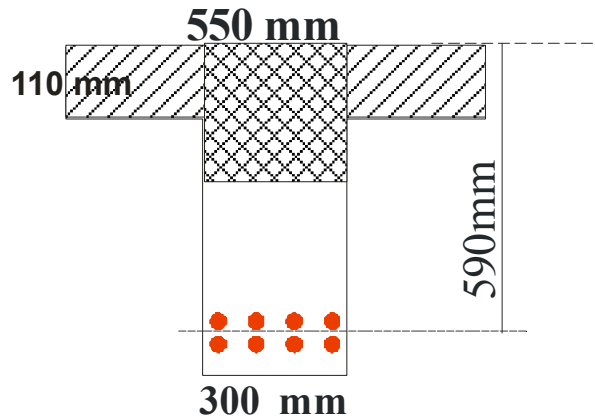
(Küsüratlar gösterilmediği için değerlerde az da olsa farklı olarak elde edilmektedir)

### **b. Açıklık momenti $M_n=793 \text{ kNm}$ için çekme donatısı hesabı**

Sadece başlık basınç altında



Başlık ve gövde basınç altında



Sadece başlık basınç altında ise taşınabilecek moment :

$$(M_{baslık}) = 110(550) \cdot 0,85 \cdot (25) \cdot (590 - 55) = 687809375 = 688 \text{ kNm}$$

Görüldüğü gibi yalnız başlık basınç altında olması durumunda 793 kNm momenti karşılayamadığından basınç bölgesi gövdeye inmiş olacaktır. Bu nedenle (T) krsit hesabı yapılacaktır. Kesiti gövde ve her iki yanda başlık olarak Şekilde görüldüğü gibi ayırıp hesap yapılabilir. Buna göre başlık parçalarının taşıdığı moment ve başlık parçalar için donatı hesaplanırsa:

$$(M_{baslik}) = 110(550 - 300) \cdot 0,85 \cdot (25) \cdot (590 - 55) = 313 \text{ kNm}$$

Başlıktaki basınç kuvveti

$$(C_{baslik}) = 110(550 - 300) \cdot 0,85 \cdot (25) \cdot = 584375 \text{ N}$$

Başlık basıncı için gereken donatı miktarı

$$(A_s)_{baslik} = \frac{C_{baslik}}{f_y} = \frac{584375}{420} = 1391 \text{ mm}^2$$

$$\text{Başlık için donatı oranı } \rho_{baslik} = \frac{1391}{300(590)} = 0.00796$$

Geriye kalan momenti gövdenin taşıması gerekir. Gövdenin taşıması gereken moment:

$$M_f = 793 - 313 = 480 \text{ kNm}$$

Gövde hesabı için dikdörtgen kesitlerde uygulanan hesap uygulanır. Basınç bloğu derinliği 140 mm seçilerek iterasyonla hesaplanırsa :

$$M_f = (A_{sf}) \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Rightarrow (A_{sf}) = \frac{M_f}{f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)} = \frac{480000000}{420 \left( 590 - \frac{140}{2} \right)} = 2198 \text{ mm}^2$$

Yatay denge denklemini yazılarak ( $a$ ) ya göre düzenlenirse ve iterasyona devam edilirse:

$$a = \frac{(A_s)_g \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b_w} = \frac{2198 \cdot (420)}{0.85(25)300} = 145 \text{ mm} \Rightarrow (A_s)_g = 2208 \text{ mm}^2 \Rightarrow a = 145 \text{ mm}$$

basınç bloğu derinliği belirlenmiş olur.

Buna göre gövde ve başlık momentleri için gerekli çekme donatısı miktarı

$$A_s = 2208 + 1391 = 3599 \text{ mm}^2 \text{ olarak belirlenmiş olmaktadır.}$$

Belirlenen bu donatı miktarı denge donatı miktarının yüzde kaçına tekabül etmektedir. Maksimum sınırının üzerindedir bunun kontrol edilmesi gerekir. (T) kesitler için

$$\text{Kesitin denge donatı oranı} : \rho_{wb} = \rho_b + \rho_f$$

$$\text{Gövdenin donatı oranı} : \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$$

$$\text{Başlığın donatı oranı} : \rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d}$$

$$\text{Müsaade edilen maksimum donatı oranı} : \rho_{w,\max} = 0,75(\rho_b + \rho_f)$$

$$\rho_{wb} = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} + \rho_f$$

$$\rho_{wb} = 0.85 \cdot (0,85) \cdot \frac{25}{420} \cdot \frac{600}{600 + 420} + 0,00796 = 0,03326$$

$$\rho_{w,\max} = 0,75(\rho_b + \rho_f) = 0,024945$$

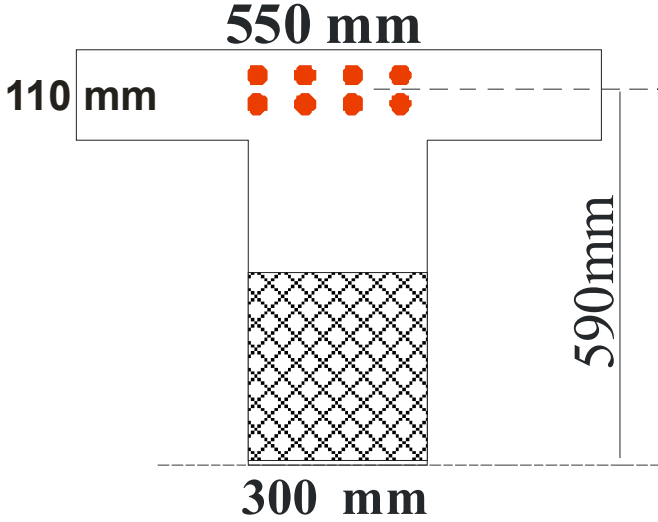
$$(A_s)_{\max} = 0,024945 \cdot 300 \cdot 590 = 4415 \text{ mm}^2 > 3599 \text{ mm}^2 \text{ o.k.}$$

$$\text{Seçilen donatı } 8\phi 24 \Rightarrow 3617 \text{ mm}^2 > 3599 \text{ mm}^2 \text{ o.k.}$$

Görüldüğü gibi müsaade edilen miktardan daha azdır ve uygundur.

**c. Mesnet momenti  $M_n=720$  kNm için gereken donatı miktarı**

Mesnette olması gereken moment gücü 720 kNm dir. Ön görü ile bu momentin kesite göre az olmadığı ve en azından çekme bölgesinde iki sıra donatı kullanılacağı kabul edilerek pas payının 70 mm olması itibara alınmalıdır. Zaten bir sorun yaşanmasın diye pas payı 70 mm olarak soru içinde verilmiştir.



Moment yönü itibariyle kesitin alt tarafında basınç gerilmesi oluşur ve dolayısıyla de genişliği 300 mm olan bir dikdörtgen kesit gibi davranır.

Kesitin tek donatılı olarak kullanılabilen maksimum donatı oranı ve taşıyabileceği maksimum momenti hesaplayıp mevcut momentle mukayese etmek gerekir. Kesitin denge halinde donatı oranı:

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = 0,85(0,85) \cdot \frac{25}{420} \left[ \frac{600}{600 + 420} \right] = 0,0253$$

$$(A_s)_{\max} = 0.75(\rho_b) \cdot b \cdot d = 0,75(0,0253) \cdot 300 \cdot (590) = 3358 \text{ mm}^2$$

Belirlenen maksimum donatı için basınç bloğu derinliği hesaplanabilir:

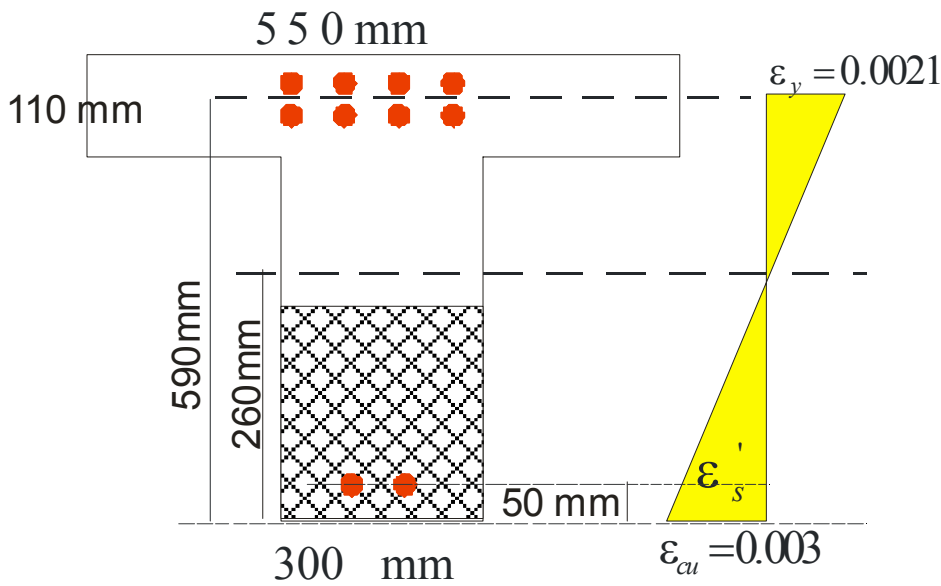
$$a_{\max} = \frac{(A_s)_{\max} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{3358 \cdot (420)}{0,85(25)300} = 221 \text{ mm}$$

Tarafsız eksenin yeri belirlenmek istenirse:  $c_{\max} = \frac{a_{\max}}{\beta_1} = \frac{221}{0.85} = 260 \text{ mm}$

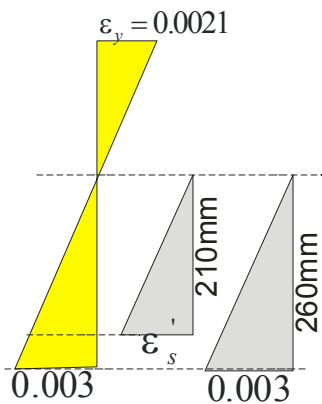
Basınç bloğunun maksimum olduğu değeri kullanarak belirlenecek moment değeri taşıyabilecek maksimum momenttir :

$$(M)_{\max} = (A_s)_{\max} \cdot f_y \left( d - \frac{a_{\max}}{2} \right) = 3358(420) \left( 590 - \frac{221}{2} \right) = 676 \text{ kNm}$$

Tek donatılı olarak en fazla taşıyabileceği momentten daha fazla moment etkidiği için kesitin basınç tarafına da donatı konularak çift donatılı olarak projelendirilecektir. Basınç tarafına konulacak donatının akma limitine ulaşmış olmasının kontrol edilmesi gerekir.



Denge durumunda basınç tarafı deformasyonu 0.003 değerinde ve çekme tarafı deformasyonu donatının akma limiti deformasyonuna eşittir. Akma limiti 420 MPa olan donatı için akma deformasyonu 0.0021 değerine eşittir. Üçgen benzerliğinden hareket edilerek basınç donatısının deformasyon değeri belirlenirse gerilmenin akma limitine ulaşmış olmadığı bulunur. Buna göre : üçgen benzerliği yazılırsa :

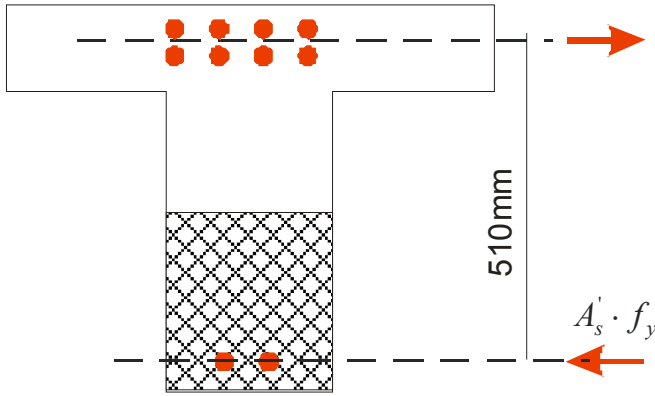


$$\frac{\epsilon'_s}{0,003} = \frac{210}{260} \Rightarrow \epsilon'_s = \frac{210}{260} \cdot 0,003 = 0,00242 > 0,0021$$

Basınç donatısının bu konumu için akma limitine ulaşacağı sonucuna varılmaktadır.

Ayrıca basınç donatısı olarak kullanılacak donatı miktarının belli bir orandan daha fazla olması tavsiye edilmez. Genel olarak tek donatılı olarak belirlenen maksimum donatı miktarının yarı değerinden daha fazla kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Çift donatı durumunda basınç bölgesine konulan donatıyı dengeleyecek çekme donatısı ilave edilecektir. Basınç ve çekme donatı arasındaki mesafe 510 mm dir.



Moment olarak artan moment miktarı

$$\Delta M = 720 - 676 = 44 \text{ kNm}$$

Gerekli olan donatı miktarı:

$$\Delta M = A'_s \cdot f'_y \cdot (d - d') \Rightarrow A'_s = \frac{44000000}{420(590 - 50)} = 205 \text{ mm}^2$$

Aynı miktarda donatının çekme tarafına da ilave edilmesi gerekmektedir.

Buna göre çekme tarafının toplam donatı alanı

$$A_s = 3358 + 205 = 3563 \text{ mm}^2$$

Açıklıktan gelen donatı çubuklarından 2 tanesinin devam ettirileceği dikkate alınır ve montaj donatılarının da bulunacağı düşünülürse basınç tarafında sorun kalmaz.

Çekme donatı çubuk adedi olarak tek sıraya 4 adet 2 sıra halinde kullanılacağı düşünülürse toplam 8 adet donatı çubuğu kullanılabilir.

$$8\phi 24 \Rightarrow 3617 \text{ mm}^2 > 3563 \text{ mm}^2 \text{ o.k.}$$

**d. Kesme kuvveti  $V_n = 588 \text{ kN}$  için kesit yeterlidir**

Kesme kuvvetini beton ve donatı birlikte taşıyacaklardır.

$$V_n = V_c + V_s$$

Beton tarafından karşılanan kesme kuvveti gücü:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b_w \cdot d = \frac{\sqrt{25}}{6} 300(590) = 147500 \text{ N} = 147.5 \text{ kN}$$

$$V_s = V_n - V_c = 588 - 147.5 = 440.5 \text{ kN}$$

Donatı tarafından karşılanması gereken miktar oldukça fazla gözükmektedir. Bu nedenle kesitin uygun olup olmamasının kontrol edilerek belirlenmesi gerekir.

Etriye aralıkları ile ilgili olan kontrol edilirse:

$$V_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} b_w d \quad \text{ise etriye için aralıklar yarıya indirilir. Yani en fazla yüksekliğin}$$

yarısı kadar olması öngörülen etriye aralığının yarıya indirilmesi demek en fazla hesap yüksekliğinin dörtte biri mesafesi kadar olabilir demektir.

$$V_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{3} 300(590) = 295 \text{ kN}$$

$$440.5 \text{ kN} > 295 \text{ kN}$$

Bu durumda etriye aralıkları yarıya indirilir yani yüksekliğin dörtte birinden fazla olmayacaktır.

Kesitin yeterli olup olmadığı kontrol edilirse:

$$(V_s)_{\max} = 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d = 0.66(5)300(590) = 584 \text{ kN} > 440.5 \text{ kN o.k.}$$

Donatı tarafından taşınması istenen miktar gelen kesme kuvvetinden büyük olduğu için kesit yeterlidir.

### **Etriye çap ve aralığının belirlenmesi**

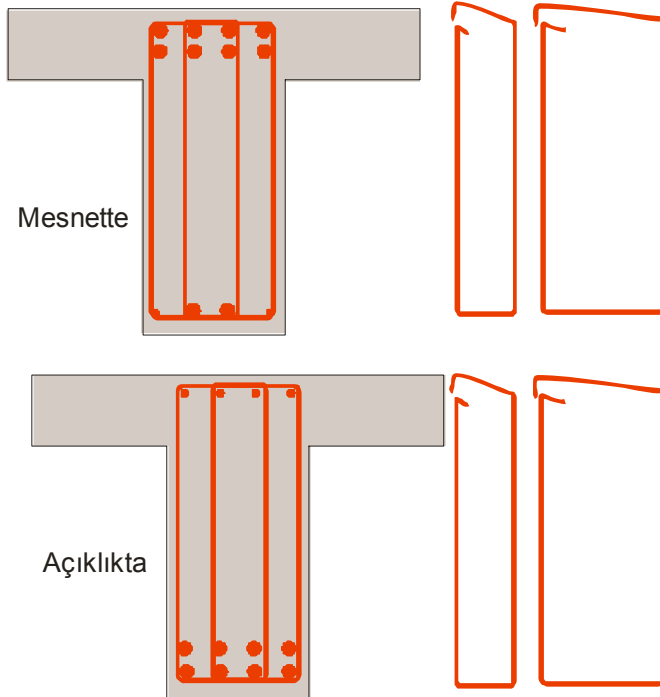
Etriye olarak 10 mm çaplı donatı kullanılması düşünülürse ve iki kollu iki adet aynı yerde kullanılmak üzere tertip edilmesi planlanırsa toplam 4 kollu çapı 10 mm olan donatı alanı etriye olarak hizmet verecektir.

10 mm çaplı çubuk kesit alanı  $78.5 \text{ mm}^2$  dir. Dört kol için toplam alan  $314 \text{ mm}^2$  dir. Buna göre değerler denklemde yazılırsa :

$$V_s = \frac{A_v f_{yv} d}{s} \Rightarrow s = \frac{A_v f_{yv} d}{V_s} = \frac{314(420)590}{440500} = 177 \text{ mm}$$

Etriye aralığının yüksekliğin dörtte birinden fazla olmaması koşulu da itibara alınarak yuvarlatılırsa aralıkların 150 mm olması uygun olmaktadır.

Buna göre etriye dört kollu 150 mm aralıkla kullanılması gerekir. Hesap yüksekliğinin dörtte biri biraz az değerlidir ama işçilik yanlışlıklarına sebep olmamak için birkaç milimetre kurak dışına çıkılması çok fazla önemsenmez. Yani etriye detayı aşağıdaki gibi tertiplenecektir.

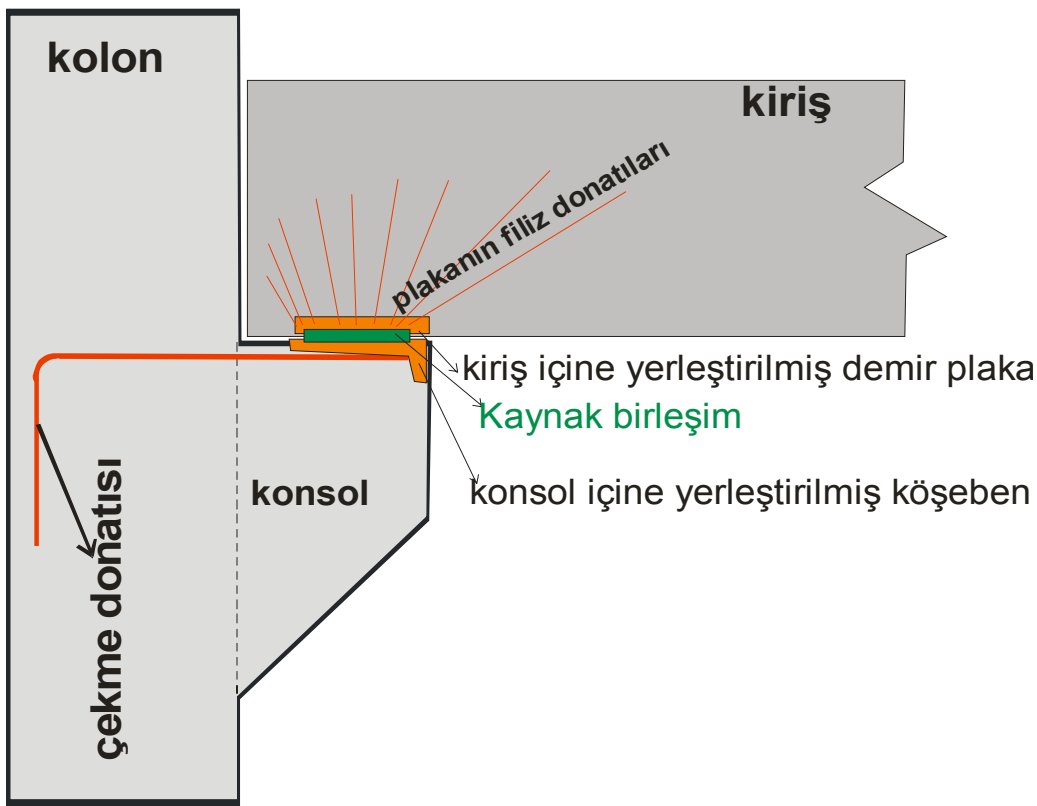


Dikkat edilirse etriyeler iç içe konularak tertiplenmiştir. Açıklıkta basınç tarafında donatı hesap için gerekli olmasa bile montaj için gerekmektedir. Her bir etriyenin köşesine gelecek şekilde donatı çubukları yerleştirildiğinde etriyeler için asgari 4 adet montaj donatı çubuğu gerekir. Çekme donatısı çubukları varsa ayrıca montaj donatısı

koymaya gerek yoktur ancak donatı çubuğunun olmaması durumunda montaj donatısının konulması şarttır. Zira etriyelerin görev yapabilmesi için köşelerde donatı çubuklarının bulunması şarttır.

## Soru -2

Beton bir konsol üzerine katsayılarla artırılmış düşey yük 500 kN ve yatay yük 120 kN dir. Malzeme olarak beton mukavemeti 25 Mpa ve Çelik akma limiti 400 Mpa olarak bilinmektedir. Konsol kesitinin genişliği 300 mm toplam yüksekliği 660 mm, hesap yüksekliği 600 mm dir. Tekil yüklerin tatbik noktası kolon yüzünden 200 mm mesafededir.



## İstenenler

- Seçilen kesitin uygun olup olmadığı kontrolleri yapınız*
  - Kesmeye göre kontrol ediniz
  - Gerilmelere göre kontrol ediniz
  - Momente göre kontrol ediniz.
- Momente ve çekmeye göre donatı miktarını belirleyiniz*
- Kayma donatı miktarını belirleyiniz*
- Konstrüktif donatıları da itibara alarak Donatı krokisini çiziniz*

## Cevaplar

### a Seçilen kesitin uygun olup olmadığı kontrolleri

Konsol aşağıda verilen 4 kontrol denklemini sağlayacak özellikte olmalıdır

Konsolun narinliği yani yük açıklığının hesap yüksekliğine oranı belirlenip gerekli katsayılar tablodan alınır:

$$r = \frac{a}{d} = \frac{200}{600} = 0,33 \Rightarrow K_1 = 0.488, \quad C_2 = 0.424$$

1- Kesmeye göre kontrol: 
$$P \leq \frac{\phi}{K_1} 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bd$$

$$P \leq \frac{0,85}{0,488} 0,66 \cdot \sqrt{25} \cdot 300(600) = 1035kN > 500 kN \quad o.k.$$

2- Momente göre kontrol :

$$P \leq \frac{0.85}{C_2} f'_c \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \left( 0,4 - \frac{56}{600 + f_y} \right) \cdot bd$$

$$P \leq \frac{.85}{0,424} \cdot (25) \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \left( 0,4 - \frac{56}{600 + 420} \right) \cdot 300(600) = 1,861kN > 500kN \quad o.k.$$

3. Gerilmelere göre kontrol : 
$$P \leq \phi \cdot 0,2 f'_c \cdot bd ;$$

$$P \leq 0,85 \cdot 0,2(25) \cdot 300(600) = 765 kN > 500 kN \quad o.k.$$

4. Gerilmelere göre kontrol : 
$$P \leq \phi \cdot 5,5 \cdot bd$$

$$P \leq 0,85 \cdot (5,5) \cdot 300(600) = 842kN > 500kN \quad o.k.$$

görüldüğü gibi konsol boyut ve özellikleri koşulları sağlamaktadır.

### ***b Momente ve çekmeye göre donatı miktarları***

Donatı miktarlarını belirlemek için öncelikle konsol üzerine gelen etkili moment ve kesme kuvveti değerlerini belirlemek gerekir. Buna göre :

Konsola gelen etkili kesme kuvveti :

$$V_u = P \cdot K_1 = 500(0,488) = 244 \text{ kN}$$

Etkili moment değeri :

$$M_u = P \cdot d \cdot C_2 + N_{uc}(h - d) = 500 \cdot (600)(0,424) + 120(660 - 600) = 134.4 \text{ kNm}$$

Konsol üzerine gelen etkili moment ve kesme kuvveti değerleri belirlendikten sonra bilinen kesit hesabı yapılır ancak kapasite indirim katsayısı kesme ve moment ifadelerinde 0.85 olarak kullanılması tavsiye edilir.

Momente göre gerekli donatı hesabı:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{134.4}{0.85} \approx 158 \text{ kNm}$$

Beton bloğu derinliğini 50 mm seçerek iterasyon başlatılırsa:

$$A_{sm} = \frac{M_n}{f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} = \frac{158000000}{400 \left( 600 - \frac{50}{2} \right)} = 687 \text{ mm}^2$$

tekrar gerilme bloğu derinliği hesaplanırsa:

$$a = \frac{A_f \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{687(400)}{0,85(25)(300)} = 43 \text{ mm} \quad \text{tekrar donatı denkleminde yazılırsa}$$

$$A_{sm} = \frac{M_n}{f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} = \frac{158000000}{400 \left( 600 - \frac{43}{2} \right)} = 683 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{sm} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{683(400)}{0,85(25)(300)} = 43 \text{ mm} \dots\dots \text{iterasyon tamamlanır.}$$

$A_{sm} = 683 \text{ mm}^2$  olarak belirlenmiş olur.

Burada önemli bir noktaya dikkat edilmesi gerekmektedir. Bulunan bu moment değeri momenti karşılamak üzere gereken donatıdır. Yatay doğrultuda etkiyen kuvvet hem momente ilave moment getirir hem de çekme etkisini dengelemek üzere moment donatısına donatı ilave edilmesi gerekir. Buna göre yatay çekmeyi dengeleyecek donatı miktarı:

$$A_{sn} = \frac{N_{uc}}{f_y} = \frac{120000}{400} = 300 \text{ mm}^2$$

Toplam çekme bölgesine konulması gereken donatı miktarı:

$$A_s = A_{sm} + A_{sn} = 683 + 300 = 983 \text{ mm}^2$$

Şekilde görüldüğü gibi konsol ucunda köşebent demire kaynaklanarak donatı çubuklarının ankrajı sağlanacaktır. Donatı olarak 3 adet 22 mm çapında donatı seçilirse ( $1140 \text{ mm}^2$ ) yeteridir.

$$(A_s)_{\min} = 0,04 \frac{f'_c}{f_y} bd = 0,04 \frac{25}{400} 300(600) = 450 \text{ mm}^2$$

kullanılan donatı minimum donatıdan da fazla olduğu için sorun kalmaz.

Kayma donatısı hesabı:

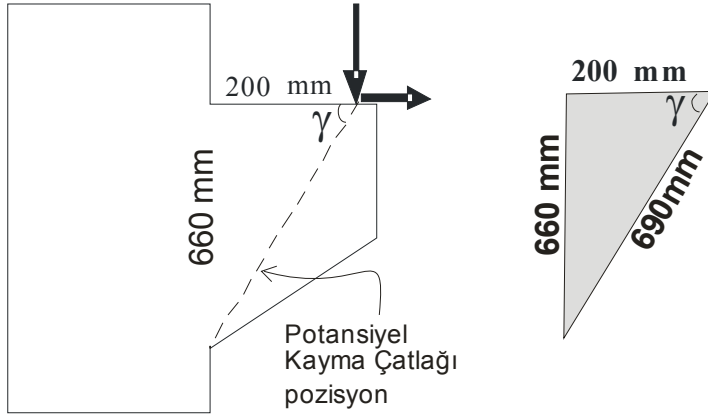
Çatlak yüzeyine dik kayma donatısı miktarı:

$$A_v = \frac{PK_1 - \phi(0.17)\sqrt{f'_c} \cdot bd}{\phi \cdot f_{yv}}$$

$$A_v = \frac{500000(0,488) - (0.85)(0.17)\sqrt{25} \cdot 300(600)}{0.85 \cdot (400)} = 335 \text{ mm}^2$$

Kayma donatısının çatlak yüzeyine dik olarak konulması yerine yatay konulması işçilik açısından uygun olmaktadır buna göre donatı miktarı belirlenirse:

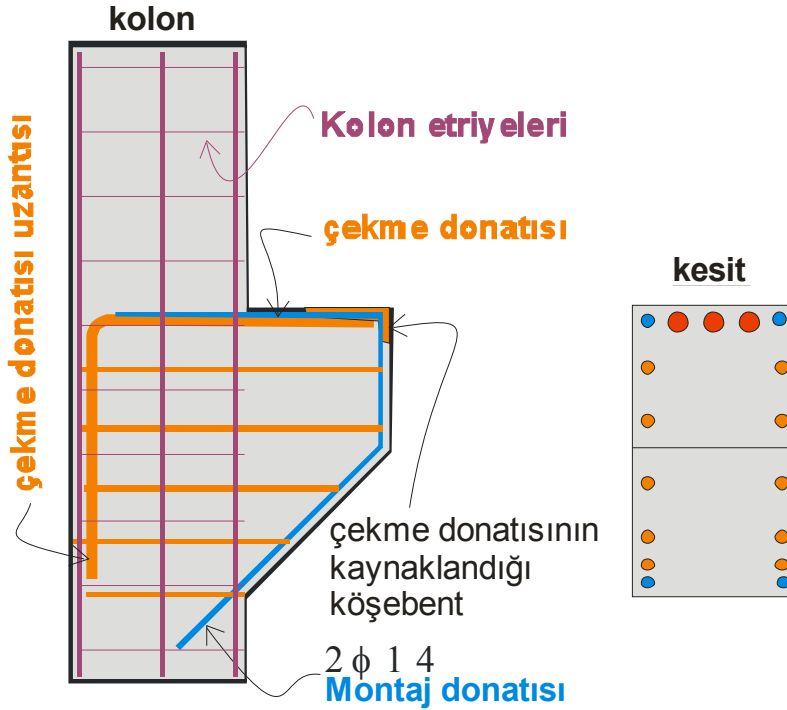
$$A_{sh} = \frac{A_v}{\sin \gamma} = \frac{335}{0,957} = 350 \text{ mm}^2$$



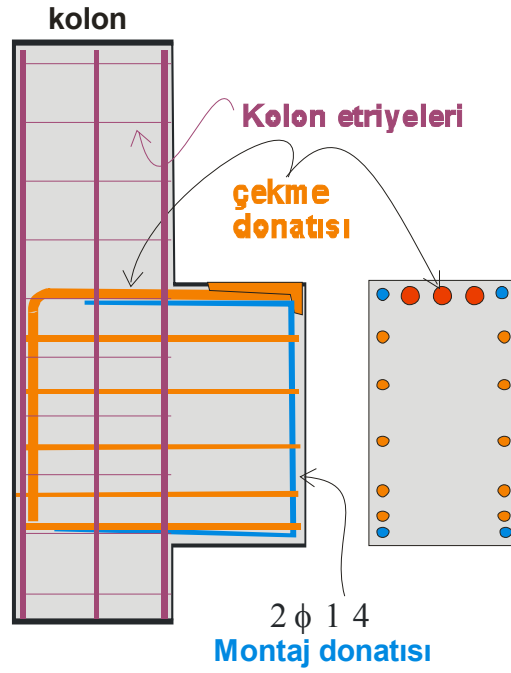
Kayma donatısı olarak 3 adet 12 mm çapında çubuk seçilirse çift kollu olarak tertiplenirse toplam alanı  $678 \text{ mm}^2$  dir. Kayma donatısı çekme donatısından itibaren yüksekliğin  $2/3$  mesafesine yerleştirilecektir.

Aslında konstrüktüf olarak etriyelerden oluşan bir kafes gibi donatı tertibi yapılacaktır. Burada belirtilen donatı miktarı olmazsa olmaz miktarıdır. Çok kritik bir eleman olan kısa konsolun donatısında ekonomiyi düşünmeden donatının konulması gerekir. Aşağıda verilen şekilden görüleceği gibi çekme donatısı önde bir köşebente kaynaklanmış arkada yeteri kadar uzatılarak ankraj sağlanmış, kayma donatısı olarak hesaplanandan daha fazla donatı kullanılmış, montaj donatısı ile birlikte kapalı bir kafes oluşturulmuştur.

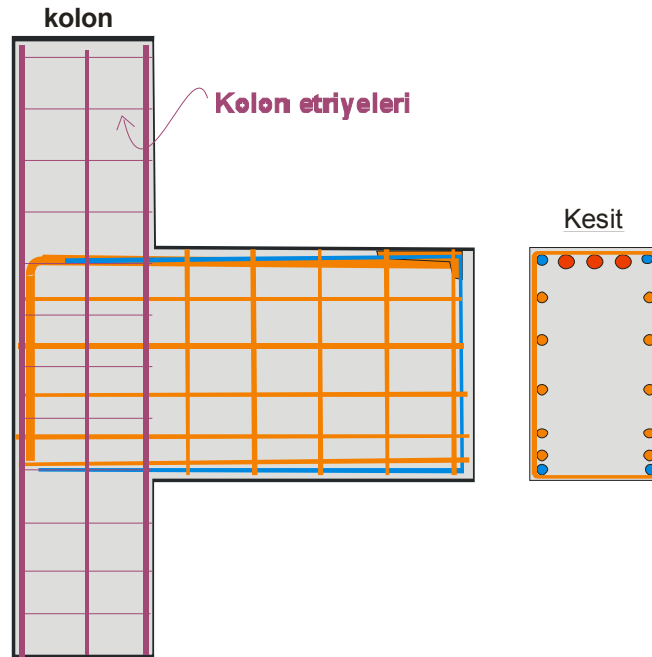
Konsol çekme donatısı arka yüzeyde kolon donatısının iç kısmında kalmalıdır. Konsol etriyeleri kolon boyuna donatısının dışından geçirilerek konsolun kolon donatıları ile yekpareliği ve kenetlenmesi sağlanmalıdır



Konsolun değişken kesitli olması veya olmaması hesaplarda farklılık yaratmaz. Sadece donatı tertibinin yapılmasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Konsolun sabit kesitli ve yük açıklığının 200 mm olması durumunda aşığıdaki donatı tertibi uygulanır.



Sınav ile ilgisi yok ama akla bir soru gelmektedir. *Konsol yük açıklığı hesap yüksekliğinden fazla olsaydı donatı tertibi nasıl olurdu ?* Örneğin Konsol yük açıklığı 900 mm olsaydı ve hesaplanan donatı miktarları da kabul edelim ki aynı sayı ve miktarda olsaydı. Sadece donatı tertibinin vurgulanması adına aşığıda verilen donatı tertibinin uygulanması tavsiye edilirdi.



## Cevap-3

**a)** Metreküp ağırlığı 2350 kg ve basınç dayanımı  $f'_c = 22 \text{ MPa}$  olan betonun

- \* *ACI basit denklemine göre elastisite modülü değeri nedir ?*
- \* *ACI detaylı denklemine göre elastisite modülü değeri nedir ?*
- \* *TS500 denklemine göre elastisite modülü değeri nedir ?*

$$\bullet E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{22} = 22045 \text{ MPa}$$

$$\bullet E_c = w_c^{1.5} \cdot 0,043\sqrt{f'_c} = 2350^{1.5} \cdot 0,043\sqrt{22} = 22976 \text{ MPa}$$

$$\bullet E_c = 3250\sqrt{f'_c} + 14\,000 = 3250\sqrt{22} + 14.000 = 29244 \text{ MPa}$$

**b)** Beton standart deneyinde maksimum gerilmeye karşılık gelen deformasyon 0,0012 olarak bulunmuştur. Elastisite modülünü 20 **GPa** kabul ederek;

\* *Deformasyon değeri 0,0010, 0,0015 ve 0,0030 için gerilme değerini belirleyiniz*

$$\bullet -0,0010 \text{ için } f'_c = E_c \cdot \frac{\varepsilon}{1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^2} = 20000 \cdot \frac{0,0010}{1 + (0,0010/0,0012)^2} = 11,8 \text{ MPa}$$

$$-0,0015 \text{ için } f'_c = E_c \cdot \frac{\varepsilon}{1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^2} = 20000 \cdot \frac{0,0015}{1 + (0,0015/0,0012)^2} = 11,7 \text{ MPa}$$

$$-0,0030 \text{ için } f'_c = E_c \cdot \frac{\varepsilon}{1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^2} = 20000 \cdot \frac{0,0030}{1 + (0,0030/0,0012)^2} = 8,3 \text{ MPa}$$

\* *Maksimum gerilme değerini belirleyiniz*

$$\bullet 0,0012 \text{ için } f'_c = E_c \cdot \frac{\varepsilon}{1 + (\varepsilon/\varepsilon_0)^2} = 20000 \cdot \frac{0,0012}{1 + (0,0012/0,0012)^2} = 12 \text{ MPa}$$

- \* **Beton elastik kabul edilseydi deformasyon değeri 0,001 - 0,0012 ve 0,003 değerleri için gerilme değerleri ne olurdu ?**

$$f = E \cdot \varepsilon = 20000 \cdot 0,0010 = 20 \text{ MPa}$$

$$f = E \cdot \varepsilon = 20000 \cdot 0,0012 = 24 \text{ MPa}$$

$$f = E \cdot \varepsilon = 20000 \cdot 0,0030 = 60 \text{ MPa}$$

- \* **Değerleri karşılaştırarak betonun elastik kabul edilebilir veya edilemez oluşunu belirleyiniz**

$$f = 0,0010 \text{ için fark} = 20 - 11,8 = 8,2 \text{ MPa}$$

$$f = 0,0012 \text{ için fark} = 24 - 11,7 = 12,3 \text{ MPa}$$

$$f = 0,0030 \text{ için fark} = 60 - 8,3 = 51,7 \text{ MPa}$$

Görüldüğü gibi fark mertebesi çok büyüktür ve elastik kabul edilemez

- c)** Betonarme yapıların inşa edildiği bir şantiyeden çeşitli zamanlarda alınan 40 adet silindir beton numunelerinin yaşı 28 gün iken laboratuvar deneyleri yapılmış ve ortalama mukavemet  $23,5 \text{ MPa}$  ve standart sapma  $3,3 \text{ MPa}$  olarak hesaplanmıştır.

- \* **% 2.5 Risk için  $f'_c$  değeri**

$$f'_c = \bar{X} - \alpha \cdot s = 23,5 - 1,960 \cdot 3,3 = 17,03 \text{ MPa}$$

- \* **% 5 Risk için  $f'_c$  değeri**

$$f'_c = \bar{X} - \alpha \cdot s = 23,5 - 1,645 \cdot 3,3 = 18,07 \text{ MPa}$$

- \* **% 10 Risk için  $f'_c$  değeri**

$$f'_c = \bar{X} - \alpha \cdot s = 23,5 - 1,282 \cdot 3,3 = 19,27 \text{ MPa}$$

- d) Küp mukavemeti 28 MPa olan bir betonun : Silindir mukavemeti**

$$f'_c = \left[ 0,76 + 0,2 \cdot \log_{10} \cdot \left( \frac{f_{cu}}{19,6} \right) \right] \cdot f_{cu}$$

$$f'_c = \left[ 0,76 + 0,2 \cdot \log_{10} \cdot \left( \frac{28}{19,6} \right) \right] \cdot 28 = 22,15$$

e) Hafif betonun yoğunluğu 1400 kg/m<sup>3</sup> ise ve mukavemeti = 20 MPa ise

**\* Hafif betonun Elastisite Modülü değeri**

Bu sorunun cevabını belirlemek için denklemler geçerli değildir. Zira ACI tarafından verilen ve ağırlığı itibara alan denklem 1500 kg ile 2500 kg arasında değişen betonlar için geçerlidir. Ancak bir fikir vermesi açısından denklemlerin verdiği değerlere bakılmak istenirse ;

$$E_c = w_c^{1.5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} = 1400^{1.5} \cdot 0,043 \sqrt{20} = 10073 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{20} = 21\,019 \text{ MPa}$$

$$E_c = 3250 \sqrt{f'_c} + 14\,000 = 3250 \sqrt{20} + 14.000 = 28\,534 \text{ MPa}$$

Yukarıdaki değerlerden görüleceği gibi beton 1500 kg dan daha az ise denklemler çok farklı değerler vermektedir. Özellikle TS500 denklemi ve ACI basitleştirilmiş denkleminin kullanılması ancak normal betonlar için geçerli olabileceği bu değerlerden anlaşılmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi elastisite modülü değerinin belirlenmesi gelişigüzel bir denklem seçilerek yapılamaz.

**\* Doğrudan Çekme Mukavemeti**

$$f_t = 0,15 \sqrt{f'_c} = 0,15 \sqrt{20} = 0,67 \text{ MPa}$$

**\* Yarmada Çekme Mukavemeti**

$$f_{ct} = 0,30 \sqrt{f'_c} = 0,30 \sqrt{20} = 1,34 \text{ MPa}$$

**• Eğilmede Çekme Mukavemeti**

$$f_r = 0,50 \sqrt{f'_c} = 0,50 \sqrt{20} = 2,24 \text{ MPa}$$