

- b_w : kiriş genişliği
- h : kiriş yüksekliği
- d : faydalı yükseklik
- t : tabla kalınlığı
- c_c : net beton örtüsü
- c'_c : net donatı aralığı
- b_k : kolonun kirişe dik kenarı
- h_k : kolonun kirişe paralel kenarı
- L_n : kiriş net açıklığı
- L_c : sarılma bölgesi uzunluğu
- c : donatının komşu açıklığa uzatılma miktarı
- a : ilk ve son kolonda donatının kolon içindeki uzunluğu
- b : donatının komşu açıklıkta devam ettirilememesi durumunda (örneğin: ilk ve son mesnette veya komşu kiriş yüksekleri farklı ara mesnetlerde) boyuna donatının 90° aşağı veya yukarı kıvrılan kısmının uzunluğu

- ϕ : boyuna donatı çapı
- ρ : çekme donatısı oranı
- ρ' : basınç (veya montaj) donatısı oranı
- ρ_1 : mesnet üstündeki donatının oranı
- ρ'_1 : mesnet altındaki donatının oranı
- ϕ_w : etriye donatısı çapı
- ρ_w : etriye donatısı oranı
- s : açıklıkta etriye adımı (aralığı)
- s' : sarılma bölgesinde etriye adımı (aralığı)
- e : etriye yatay kolu genişliği
- k : etriye kanca boyu
- $\phi_{gövde}$: gövde donatısı çapı
- $\rho_{gövde}$: gövde donatısı oranı

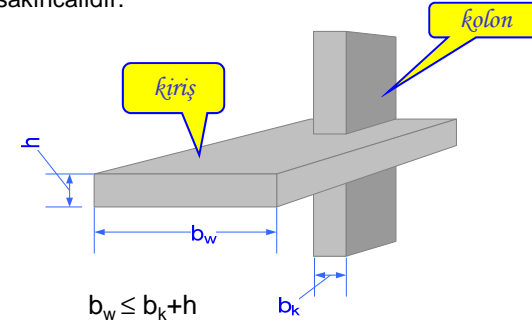
Gelecek ders:
Aydın
veya
Ersoy/Özcebe
tablolarınızı
getiriniz !

KİRİŞLERDE SINIR DEĞERLER

| Tanım | Zorunlu koşullar | | Ek öneri | Açıklama |
|------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| | TS 500/2000 | Deprem Yön.-2007 | | |
| min b_w | 20 cm | 25 cm | 25 cm | |
| max b_w | b_k+h | b_k+h | - | 1 |
| min h | 30 cm , 3t | 30 cm , 3t | 40 cm , $L_n/12$ | |
| max h | $L_n/2.5$ (sürekli kirişlerde) $L_n/1.5$ (basit kirişte) | $3.5 b_w$, $L_n/4$ | - | 2 |
| min ρ | $0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ | - | - | |
| max ρ | 0.02 | 0.02 | - | |
| min ρ_1 | $0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ | $0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ | - | |
| max ρ_1 | 0.02 | 0.02 | - | |
| min ρ' | - | $\rho_1/4$ | - | Montaj donatısı alt sınırı |
| min ρ'_1 | - | $0.5 \rho_1$, $0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ | - | Mesnet altı donatısının alt sınırı |
| max ρ'_1 | - | 0.02 | - | |
| max $(\rho-\rho')$ | $0.85 \rho_b$ | - | $\rho_l = 0.235 f_{cd}/f_{yd}$ | 3 |
| max $(\rho_1-\rho'_1)$ | $0.85 \rho_b$ | $0.85 \rho_b$ | ρ_l | |
| min L_c | 2h | 2h | - | Sarıлма bölgesi |
| max s | 0.5 h | 0.5 h | 20 cm | |
| min s | - | - | 10 cm | |
| max s' | $h/4$, 15 cm | $h/4$, 15 cm , $8\phi_{min}$ | $s/2$, 10 cm | ϕ_{min} : boyuna donatı min çapı |
| min s' | - | - | 5 cm | |
| max e | - | - | 35 cm | 4 |

AÇIKLAMALAR:

1. Kiriş genişliği sınırlaması: Dar bir kolona çok geniş bir kirişin oturtulması sakıncalıdır.

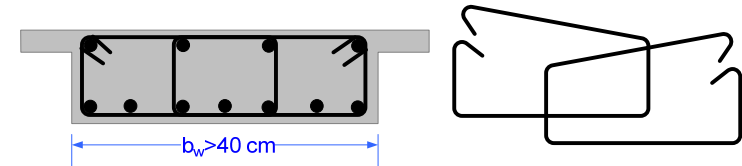


2. Bu koşulu sağlamayan kirişler, yüksek kiriş olarak tasarlanır ve donatılır, Bak: Dep. Y-2007, Madde 3.4.2.5.

3. Donatı oranı sınırlaması:

$\rho_l = 0.235 f_{cd}/f_{yd}$ deplasman, çatlak sınırlaması. Bak: ERSOY/ÖZCEBE, S. 260 Paragraf 5.4.2

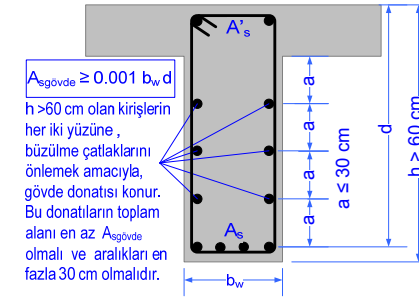
4. $b_w > 40$ cm olan geniş kirişlerde birden çok (4, 6, ... kollu) etriye kullanılmalı



KİRİŞLERDE SINIR DEĞERLER (devamı)

| Tanım | Zorunlu koşullar | | Ek öneri | Açıklama |
|----------------------------|---------------------------|--|--|--|
| | TS 500/2000 | Deprem Yön.-2007 | | |
| min ϕ | 12 mm | 12 mm | - | |
| max ϕ | - | - | 24 mm | |
| min ϕ_w | 8 mm | 8 mm | - | |
| max ϕ_w | - | - | 12 mm | |
| min ρ_w | $0.3f_{ctd}/f_{ywd}$ | - | - | f_{ywd} :etriye çeliği tasarım dayanımı |
| min $\phi_{gövde}$ | 10 mm | 12 | 12 | |
| min $\rho_{gövde}$ | 0.001 | $0.3(\rho_1+\rho'_1)$ | - | 5 |
| min a | - | $0.4 l_b$ | - | 6 |
| min b | - | 12ϕ | - | |
| min (a+b) | - | l_b | 50ϕ | l_b Kenetlenme boyu |
| min c | - | - | $L_n/4$ | Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı için kenetlenme boyu |
| min (h_k+c) | - | $l_b, 50\phi$ | - | Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı için kenetlenme boyu |
| min k | $6\phi_w, 5\text{ cm}$ | $10\phi_w, 10\text{ cm(düz)}$ $6\phi_w, 8\text{ cm(nervürlü)}$ | $10\phi_w, 10\text{ cm}$ (her tür çelik için) | 135° kıvrımlı etriye kancası boyu |
| max N_d | $0.1 f_{ck} A_c$ | $0.1 f_{ck} A_c$ | - | 7 |
| max V_d | $0.22 f_{cd} A_c$ | $0.22 f_{cd} A_c$ | - | |
| min c_c | 2 cm içte 2.5 cm dışta | - | 3 cm içte ve dışta | 8 |
| min net donatı aralığı | 2.5 cm, ϕ | - | 5 cm | 8 |
| min beton sınıfı | C16/20 | C20/25 | C30/37 | Bak. Dep. Y. Madde 3.2.5 |
| min çelik sınıfı | S 220 | S 220 (sadece sargı olarak veya döşemelerde) S 420, B 420C (boyuna) | B 420C | Kiriş, kolon ve perde uçlarında S 220 kullanılamaz. Bak. Dep. Y. -2007 Madde 3.2.5 |
| max çelik sınıfı | - | S 420, B 420C | B 420C | Bak. Dep. Y. -2007 Madde 3.2.5 |
| min çekme donatısı sayısı | - | 2 | 3 | |
| Min montaj donatısı sayısı | 2 | 2 | - | |

5. Gövde donatısı:

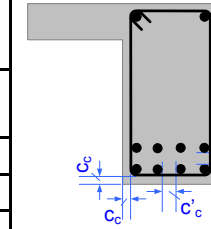


Kötü bir uygulama:
Donatı aralığı sıfır!

6. Minimum kenetlenme boyu l_b nin hesabı için TS 500/2000, madde 9.1.2 ye bakınız.

7. $A_c=b_w d$ dir. Bu koşulun sağlanmaması durumunda kolon olarak boyutlandırılır, Bak. Dep Y-2007., Madde 3.4.1.2.

8. Net beton örtüsü ve net donatı aralığı. Bak: TS500/2000, S. 44.



YÖNETMELİK:

$c_c \geq 2\text{ cm}$ içte, $c_c \geq 2.5\text{ cm}$ dışta
 $c'_c \geq 2.5\text{ cm}$ ve $c'_c \geq \phi$
 c_c ve $c'_c \geq (4/3) D_{en\check{c}ok}$
 $D_{en\check{c}ok}$ agrega max tane çapıdır.

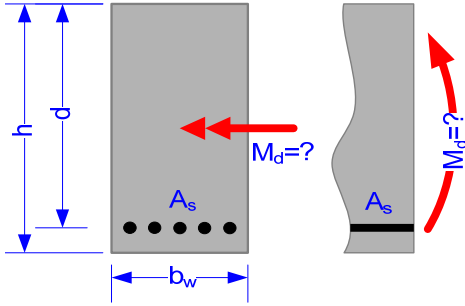
ÖNERİ:

$c_c \geq 3\text{ cm}$ içte, dışta tüm kirişlerde önerilir. Yangına 2-4 saat dayanıklılık istenirse $c_c \geq 4\text{ cm}$ olmalı. Deniz kıyısı yapılar da: $c_c \geq 5\text{ cm}$



Yetersiz beton örtüsü düşük kenetlenmeye ve paslanmaya neden olur !

Kiriş kesit hesabı



Uygulamada iki farklı problem türü ile karşılaşılır:

1) Taşıma gücü hesabı

Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, donatı alanı ve donatının yeri bilinir. Kesitin kırılma anında taşıyabileceği iç kuvvet (taşıma gücü) aranır.

Genelde, mevcut bir yapının durumunun belirlenmesinde karşılaşılan problem türüdür. Bundan önceki konularda bu problem türünün çözümü kirişler için anlatılmıştı.

2) Kesit hesabı \equiv Boyutlandırma

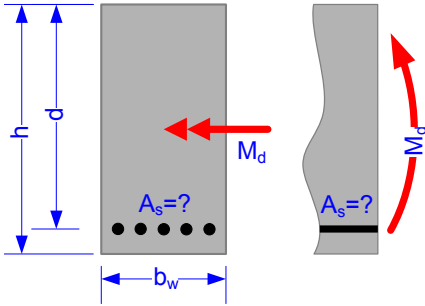
Yeni bir proje yapılırken karşılaşılan problem türüdür. Mühendisin elinde sadece mimari proje vardır. Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, iç kuvvetler (moment, kesme, normal kuvvet, burulma), donatının yeri ve donatı alanı bilinmemektedir. Statik hesapların yapılabilmesi (iç kuvvetlerin hesaplanabilmesi) için kesit boyutlarının bilinmesi gerekir.

•Mühendis önce malzeme ve kesit boyutlarını seçer. Bunun için basit ve yaklaşık ön hesaplar yapar, deneyimini ve önsezisini kullanarak karar verir. Buna taşıyıcı sistem seçimi-kalıp planı çizimi aşaması denilmektedir, betonarme II dersinde anlatılacaktır.

•Sonra el veya bilgisayar ile kesit iç kuvvetlerini belirler (statik=yapısal analiz aşaması). Bu aşamadan sonra kesit boyutları, malzeme ve kesitin taşımak zorunda olduğu iç kuvvetler bellidir. Ancak, bu iç kuvvetleri taşıyacak donatı alanının ne olduğu ve kesitin neresine nasıl konulacağı bilinmemektedir.

İşte, bu sorunun cevabını aramaya kesit hesabı denilmektedir (betonarme hesap aşaması). Çözüm; analitik, tablolar veya bilgisayar yazılımı ile yapılır. Analitik çözüm uygulama açısından pratik olmamaktadır. Günümüzde bilgisayar çözümü ağırlıklı olarak öne çıkmaktadır.

Analitik çözüme örnek olarak en basit durum olan tek donatılı dikdörtgen kesit ele alınacak ve tüm diğer kesitler tablolar ile hesaplanarak konu kavratılmaya çalışılacaktır.



Tek donatılı dikdörtgen kesit hesabı -Analitik çözüm

VERİLENLER:

Kesit boyutları(b_w , d , h), malzeme(beton ve çelik sınıfı), denetim koşulları, kesiti zorlayan tasarım momenti(M_d).

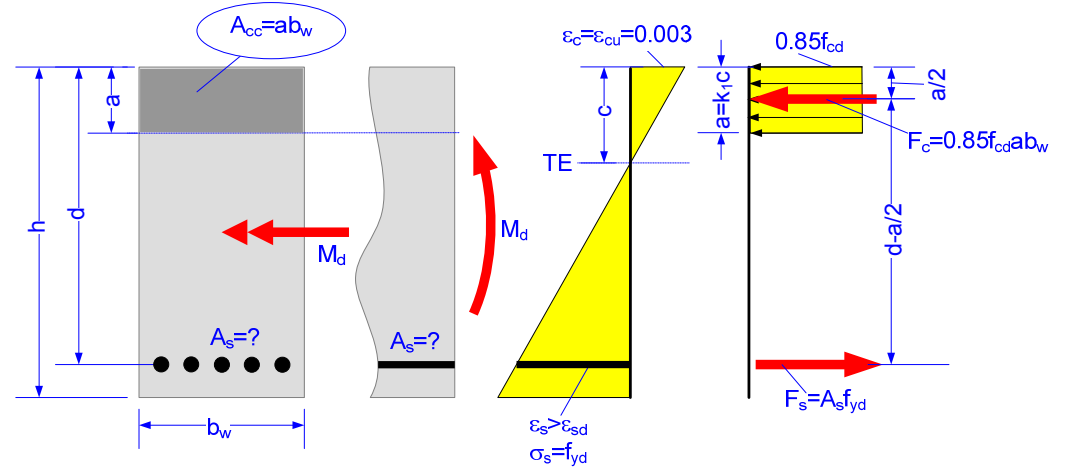
İSTENEN:

Verilen momentin güvenle taşınabilmesi için A_s ne olmalıdır?

ÇÖZÜM:

Yapılacak çözüm şu koşulları sağlamalı:

- 1.Kiriş denge altı donatılmalı.
- 2.Bulunacak donatı alanı momenti karşılamalı.
- 3.Konulan çubuklar kesite sığmalı, çok kalın olmamalı, temin edilebilir olmalı.
- 4.Konulan donatının oranı alt ve üst sınırları sağlamalı:
 $\text{Min } \rho \leq \rho \leq \text{Max } \rho$ ve $\rho - \rho' \leq \text{Max } (\rho - \rho') = 0.85 \rho_b$



Yatay denge:

$$0.85 f_{cd} a b_w - A_s f_{yd} = 0$$

Moment dengesi:

$$A_s f_{yd} (d - a/2) = M_d$$

Bu iki denklemde iki bilinmeyen vardır: A_s ve a . K bir sabit olmak üzere,

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

$$a = d \left(1 \mp \sqrt{1 - 2.353K} \right), \quad 0 < a < d$$

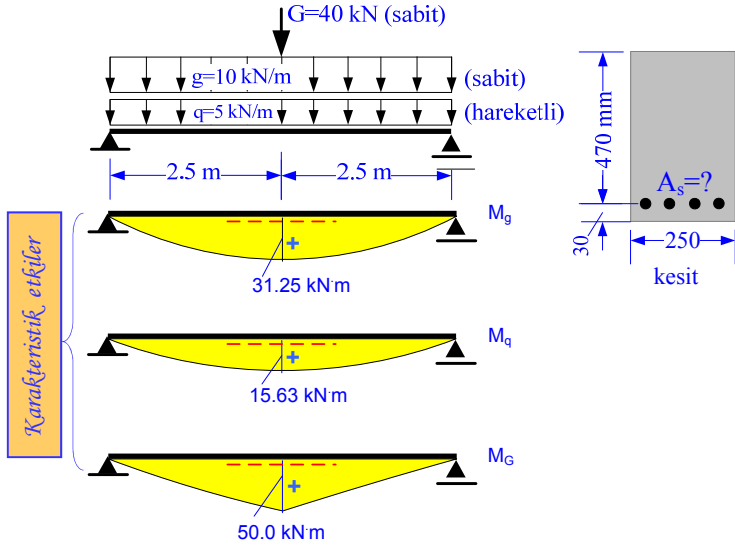
$$A_s = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

olarak bulunur.

Hesap sırası:

1. K hesaplanır.
2. Basınç bloğu derinliği a hesaplanır. $0 < a < d$ aralığına düşen değeri alınır.
3. A_s hesaplanır.
4. A_s alanını karşılayan uygun donatı çap ve sayısına karar verilir (ders notlarının sonundaki EKLER bölümünde verilen donatı çubuk alanları Ek6 tablosuna bakınız). Bu işlem yapılırken hesaplanan alana en yakın çubuk çap ve sayısı aranır. Çoğunlukla birden çok seçenek söz konusu olur. Seçilen çubukların kesite sığmasına, çok kalın olmamasına, en az üç çubuk olmasına ve temin edilebilir olmasına özen gösterilir.
5. Seçilen donatının oranının alt ve üst sınırları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir(bak Ek7).
6. Çizim yapılarak donatının nasıl yerleştirileceği gösterilir.

ÖRNEK: Dikdörtgen kesit hesabı - Analitik çözüm



VERİLENLER:

Kiriş ve kesit boyutları, karakteristik yükler ve malzeme: C30/37, B 420C. Şantiye denetimi iyi.

İSTENENLER:

Yüklerden oluşan momenti **güvenle** taşıyabilmesi için A_s donatı alanı ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz..Yönetmeliklere uygun konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız, kesiti çiziniz.

HAZIRLIK:

$$f_{cd}=30/1.5=20.0 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.9/1.5=1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b=0.0237, 0.85\rho_b=0.85 \cdot 0.0237=0.0201$$

$$\text{Min } \rho=0.8 \cdot 1.27/365.22=0.0028, \text{Max } \rho=0.02, \text{Max } (\rho - \rho')=0.85\rho_b=0.0201$$

Tasarım momenti:

$$M_d=1.4 (31.25+50.0)+1.6 \cdot 15.63=138.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$K=138.8 \cdot 10^6 / (250 \cdot 470^2 \cdot 20.0)=0.126$$

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

$$a = 470 \left(1 \mp \sqrt{1 - 2.353 \cdot 0.126} \right)$$

$$a = d \left(1 \mp \sqrt{1 - 2.353K} \right)$$

$$a=470 (1 \mp 0.839) \rightarrow a_1=864.3 \text{ mm}, a_2=75.7 \text{ mm} \rightarrow a=75.7 \text{ mm}.$$

$$A_s = 0.85 \frac{20.0}{365.22} 75.7 \cdot 250$$

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

$$A_s = 881 \text{ mm}^2$$

Bu alana en yakın çubuk çap ve sayısı Ek6 tablosundan aranır. Birden çok seçenek vardır. Çap en az 12 mm olmalı, çok kalın olmamalı, en az üç çubuk olmalı. Çubuklar kesite sığmalı. Ek7 tablosu ile çubukların b_w genişliğine sığıp sığmadığı kontrol edilebilir. Seçenekler ve yorumları aşağıda verilmiştir:

8φ12 (905 mm²) ← kesite sığmaz!

6φ14 (924 mm²) ← kesite sığmaz!

5φ16 (1005 mm²) ← kesite sığmaz!

4φ18 (1018 mm²) ← kesite sığar, uygun

3φ20 (942 mm²) ← kesite sığar, uygun

3φ22 (1140 mm²) ← kesite sığar, uygun

2φ24 (905 mm²) ← kesite sığar, uygun fakat çubuk sayısı 3 den az ve kalın!

Uygun olan bu üç seçenektan birine karar verilebilir. Burada 3φ20 tercih edilir. Çünkü alanı gerekli olan 881 mm² ye en yakın, yani en ekonomik olanıdır. Ayrıca çok kalın da değildir.

ÇÖZÜM:

Seçilen: 3φ20 (942 mm²) **altta**

Montaj: 2φ12 (226 mm²) **üstte**

$$\rho = 942 / (250 \cdot 470) = 0.0080$$

$$\rho' = 226 / (250 \cdot 470) = 0.0021$$

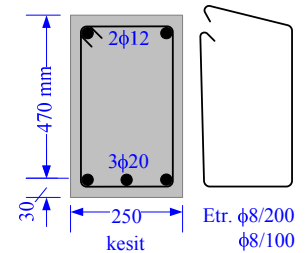
Kontrol:

$$\rho = 0.008 > \text{Min } \rho = 0.0028 \checkmark$$

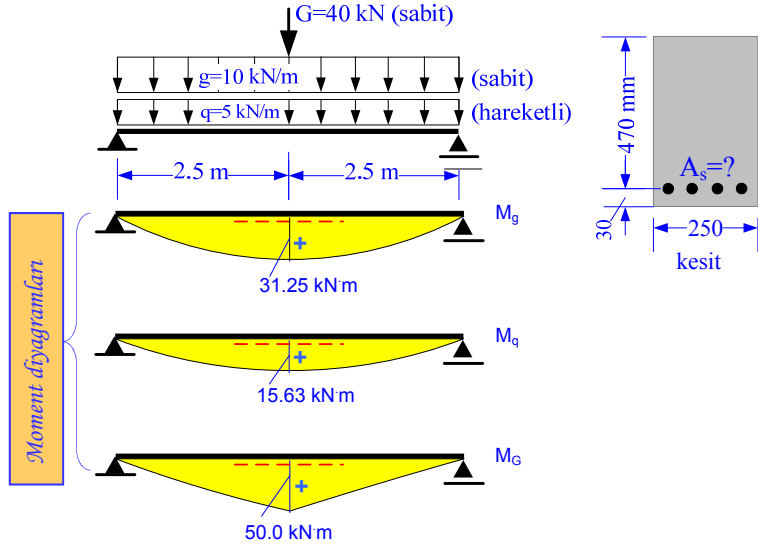
$$\rho = 0.008 < \text{Max } \rho = 0.02 \checkmark$$

$$\rho - \rho' = 0.0059 < \text{Max } (\rho - \rho') = 0.0201 \checkmark$$

Çizim:



ÖRNEK: Dikdörtgen kesit hesabı - Tablolar ile çözüm



VERİLENLER:

Kiriş ve kesit boyutları, karakteristik yükler ve malzeme: C30/37, B 420C. Şantiye denetimi iyi.

İSTENENLER:

Yüklerden oluşan momenti **güvenle** taşıyabilmesi için A_s donatı alanı ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz. Çizim için, yönetmeliklere uygun, konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız.

HAZIRLIK:

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20.0 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.9/1.5 = 1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 420/1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = 0.0237, 0.85\rho_b = 0.85 \cdot 0.0237 = 0.0201$$

$$\text{Min } \rho = 0.8 \cdot 1.27/365.22 = 0.0028, \text{Max } \rho = 0.02, \text{Max } (\rho - \rho') = 0.85\rho_b = 0.0201$$

$$M_d = 1.4 (31.25 + 50.0) + 1.6 \cdot 15.63 = 138.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Çözüm için herhangi bir tablo kullanılabilir. Kullanılacak tablolar incelenerek iyi kavranmalıdır. Burada ERSOY/ÖZCEBE ve AYDIN tabloları kullanılacaktır. Tablolardaki özgün bağıntılara ve birimlere sadık kalınmalıdır.

ERSOY/ÖZCEBE, sayfa B.5 tablosu ile:

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

$$K = 250 \cdot 470^2 / (138.8 \cdot 10^3) = 398 \text{ mm}^2/\text{kN} \rightarrow j = 0.919$$

Tablodan alındı

$$A_s = 138.8 \cdot 10^6 / (365.22 \cdot 0.919 \cdot 470) = 880 \text{ mm}^2$$

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

Seçilen $3\phi 20 (942 \text{ mm}^2)$ **altta**

Montaj: $2\phi 12 (226 \text{ mm}^2)$ **üstte**

$$\rho = 942 / (250 \cdot 470) = 0.0080$$

$$\rho' = 226 / (250 \cdot 470) = 0.0021$$

Kontrol:

$$\rho = 0.008 > \text{Min } \rho = 0.0028 \quad \checkmark$$

$$\rho = 0.008 < \text{Max } \rho = 0.02 \quad \checkmark$$

$$\rho - \rho' = 0.0059 < \text{Max } (\rho - \rho') = 0.0201 \quad \checkmark$$

ÇÖZÜM:

AYDIN, sayfa 5 tablosu ile:

$$k_h = \frac{d}{100} \sqrt{\frac{b}{M_s}}$$

$$k_h = \frac{470}{100} \sqrt{\frac{250}{138.8}} = 6.31 \rightarrow k_s = 0.296$$

Tablodan alındı

$$A_s = \frac{10^4 \cdot 0.296 \cdot 138.8}{470} = 874 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 10^4 \frac{k_s M_s}{d} - \frac{N_d}{0.365}$$

Seçilen $3\phi 20 (942 \text{ mm}^2)$ **altta**

Montaj: $2\phi 12 (226 \text{ mm}^2)$ **üstte**

$$\rho = 942 / (250 \cdot 470) = 0.0080$$

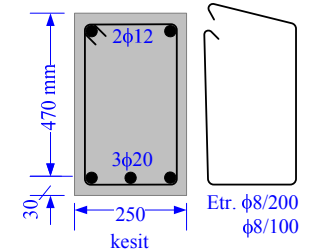
$$\rho' = 226 / (250 \cdot 470) = 0.0021$$

Kontrol:

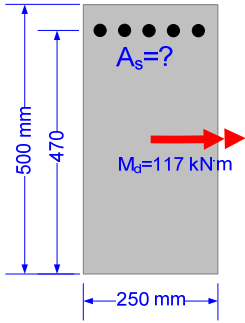
$$\rho = 0.008 > \text{Min } \rho = 0.0028 \quad \checkmark$$

$$\rho = 0.008 < \text{Max } \rho = 0.02 \quad \checkmark$$

$$\rho - \rho' = 0.0059 < \text{Max } (\rho - \rho') = 0.0201 \quad \checkmark$$



NOT: Aynı kesit, moment ve malzeme için gerekli çekme donatısı alanı $A_{sAnolitik} = 881 \text{ mm}^2$, $A_{sErsoy/Özcebe} = 880 \text{ mm}^2$ ve $A_{sAydın} = 874 \text{ mm}^2$ olarak biraz farklı bulunmuştur, üçü de doğru kabul edilmelidir. 50-100 mm^2 fark normaldir. Yuvarlama hataları ve farklı varsayımlar sonucu az da olsa etkilemektedir. Analitik çözüm ve Ersoy/Özcebe tablolarında eşdeğer dikdörtgen, Aydın tablolarında ise eşdeğer parabol-dikdörtgen gerilme modeli kullanılmaktadır. Neticede kesite yerleştirilen donatı hepsinde de ayındır.



Solda verilen kesitin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz. Malzeme: C20/25/ B 420C, şantiye iyi denetimli.

Çizim için, yönetmeliklere uygun, konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız.

HAZIRLIK:

$$f_{cd}=20/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.6/1.5=1.07 \text{ N/mm}^2, \rho_b=0.0164$$

$$\text{Min } \rho = 0.8 \cdot 1.07/365.22=0.0023, \text{Max } \rho = 0.02, \text{Max } (\rho - \rho') = 0.85\rho_b = 0.0139$$

Çözüm için herhangi bir tablo kullanılabilir. Kullanılacak tablolar incelenerek iyi kavranmalıdır. Burada ERSOY/ÖZCEBE ve AYDIN tabloları kullanılacaktır. Tablolardaki özgün bağıntılara ve birimlere sadık kalınmalıdır.

ERSOY/ÖZCEBE, sayfa B.4 tablosu ile:

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

$$K=250 \cdot 470^2 / 117 \cdot 10^3 = 472 \text{ mm}^2/\text{kN} \rightarrow j=0.893 \quad \text{Tablodan alındı.}$$

$$A_s = 117 \cdot 10^6 / (365.22 \cdot 0.893 \cdot 470) = 763 \text{ mm}^2 \quad A_s = \frac{M_d}{f_{yd} j d}$$

Seçilen : $3\phi 18$ (763 mm^2) **üstte**

Montaj : $2\phi 12$ (226 mm^2) **altta**

$$\rho = 763 / (250 \cdot 470) = 0.0065$$

$$\rho' = 226 / (250 \cdot 470) = 0.0021$$

Kontrol:

$$\rho = 0.0065 > \text{Min } \rho = 0.0023 \quad \checkmark$$

$$\rho = 0.0065 < \text{Max } \rho = 0.02 \quad \checkmark$$

$$\rho - \rho' = 0.0044 < \text{Max } (\rho - \rho') = 0.0139 \quad \checkmark$$

ÇÖZÜM:

AYDIN, sayfa 5 tablosu ile:

$$k_h = \frac{d}{100} \sqrt{\frac{b}{M_s}}$$

$$k_h = \frac{470}{100} \sqrt{\frac{250}{117}} = 6.87 \rightarrow k_s = 0.302 \quad \text{Tablodan alındı.}$$

$$A_s = \frac{10^4 \cdot 0.302 \cdot 117}{470} = 752 \text{ mm}^2 \quad A_s = 10^4 \frac{k_s M_s}{d} - \frac{N_d}{0.365}$$

Seçilen : $3\phi 18$ (763 mm^2) **üstte**

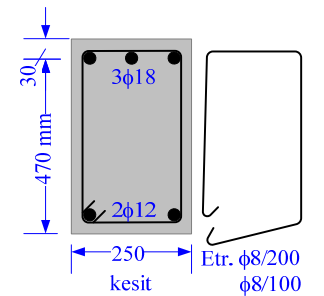
Montaj : $2\phi 12$ (226 mm^2) **altta**

Kontrol:

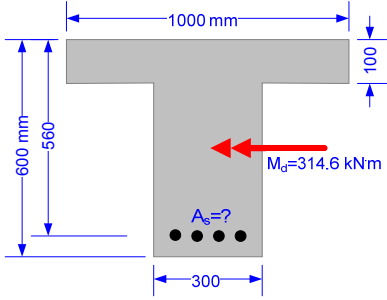
$$\rho = 0.0065 > \text{Min } \rho = 0.0023 \quad \checkmark$$

$$\rho = 0.0065 < \text{Max } \rho = 0.02 \quad \checkmark$$

$$\rho - \rho' = 0.0044 < \text{Max } (\rho - \rho') = 0.0139 \quad \checkmark$$



ÖRNEK: Tablalı kesit hesabı - Tablolar ile çözüm



Solda açıklık kesiti verilen kirişin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz. Malzeme: C30/37-B 420C, şantiye denetimi iyi.

Çizim için, yönetmeliklere uygun, konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız.

HAZIRLIK:

$$f_{cd}=30/1.5=20.0 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.9/1.5=1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

Min $\rho = 0.8 \cdot 1.27/365.22=0.0028$, Max $\rho=0.02$, kesit tablalı ve $b/b_w > 2$ olduğundan $\rho \leq 0.85\rho_b$ kontrolü gerekmez.

Çözüm için herhangi bir tablo kullanılabilir. Kullanılacak tablolar incelenerek iyi kavranmalıdır. Burada ERSOY/ÖZCEBE ve AYDIN tabloları kullanılacaktır. Tablolardaki özgül bağıntılara ve birimlere sadık kalınmalıdır.

ÇÖZÜM:

ERSOY/ÖZCEBE, sayfa B.12 tablosu ile:

$$b/b_w=1000/300=3.3 \approx 4 \text{ ! (en uygun tablo)}$$

$$Kf_{cd}=1000 \cdot 560^2 \cdot 20.0 / (314.6 \cdot 10^6)=19.9$$

$$t/d=100/560=0.18 \approx 0.20 \rightarrow j=0.970$$

$$A_s=314.6 \cdot 10^6 / (365.22 \cdot 0.970 \cdot 560)=1586 \text{ mm}^2$$

$$Kf_{cd} = \frac{bd^2}{M_d} f_{cd}$$

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

Seçilen $5\phi 20$ (1571 mm^2) **altta**

Montaj $2\phi 12$ (226 mm^2) **üstte**

Kontrol:

$$\rho = 1571 / (300 \cdot 560) = 0.0094$$

$$\rho = 0.0094 > \text{Min } \rho = 0.0028 \checkmark$$

$$\rho = 0.0094 < \text{Max } \rho = 0.02 \checkmark$$

AYDIN, sayfa 7 tablosu ile:

$$h_f/d=100/560=0.17 \approx 0.15 \text{ ! (en uygun tablo)}$$

$$b/b_0=1000/300=3.3 \approx 3$$

$$m = 314.6 \cdot 10^6 / (1000 \cdot 560^2 \cdot 20.0) = 0.050 \rightarrow \omega = 0.054$$

$$A_s = 0.054 \cdot (20.0/365.22) \cdot 1000 \cdot 560 = 1656 \text{ mm}^2$$

$$m = \frac{M_s}{bd^2 f_{cd}}$$

$$A_s = \omega \frac{f_{cd}}{f_{yd}} bd - \frac{N_d}{f_{yd}}$$

Seçilen $5\phi 20$ (1571 mm^2) **altta**

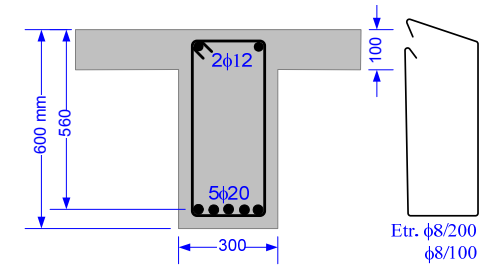
Montaj $2\phi 12$ (226 mm^2) **üstte**

Kontrol:

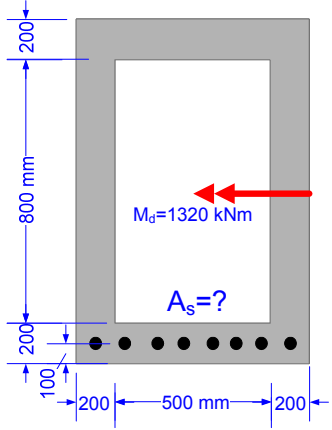
$$\rho = 1571 / (300 \cdot 560) = 0.0094$$

$$\rho = 0.0094 > \text{Min } \rho = 0.0028 \checkmark$$

$$\rho = 0.0094 < \text{Max } \rho = 0.02 \checkmark$$



PROBLEM: Kesit hesabı - Tablolar ile çözüm

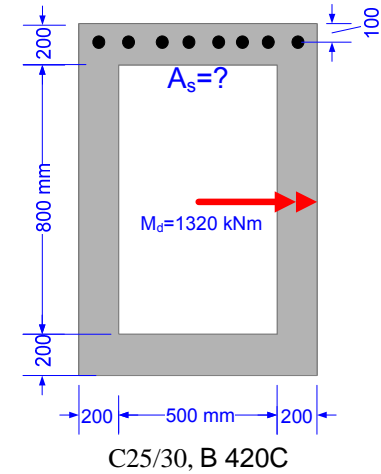
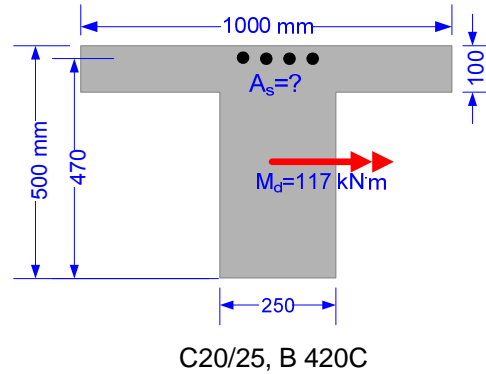
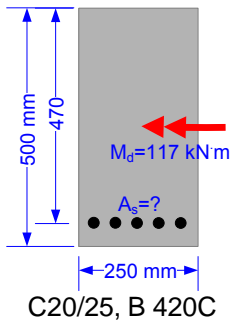


1. Solda verilen kesitin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz. Boyuna ve enine donatıları kesiti çizerek gösteriniz. Şantiye denetimi iyi. Malzeme: C25/30, B 420C

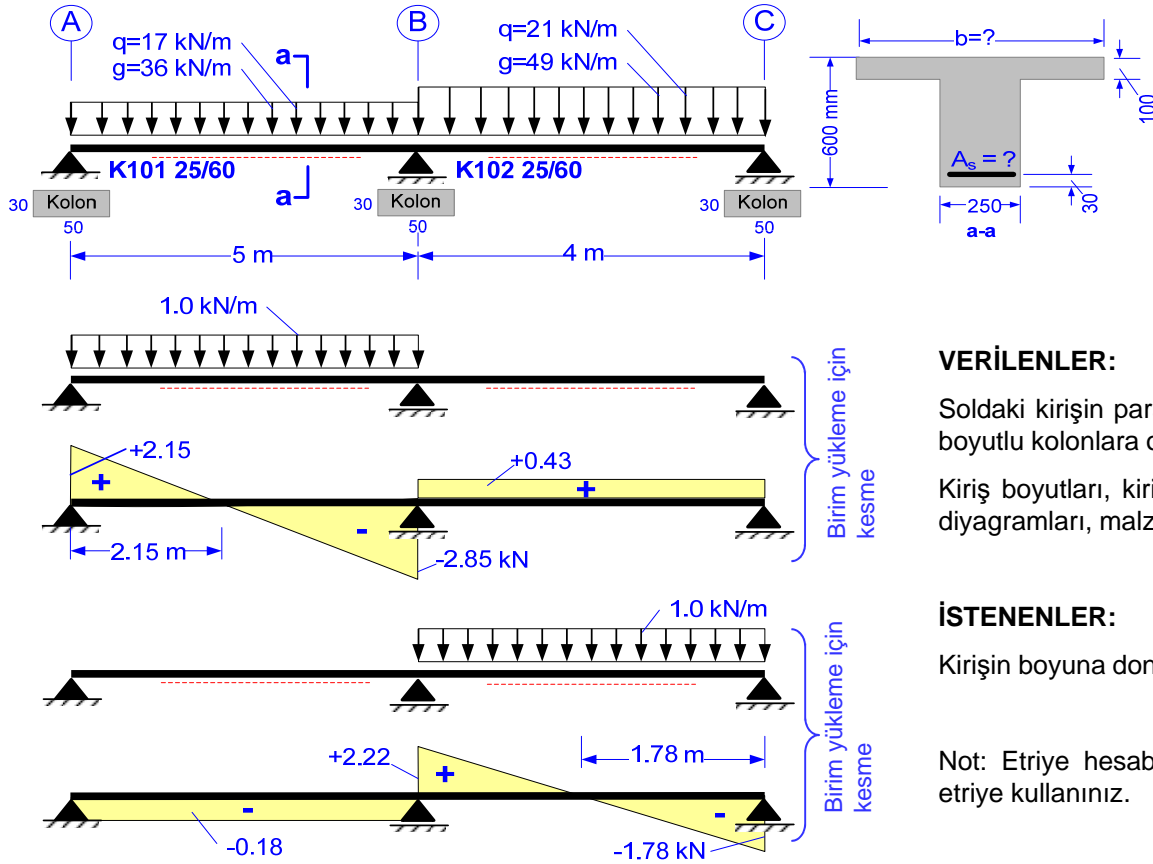
Çizim için, yönetmeliklere uygun, konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız.

Öğrenci Çözecek!

2. Aşağıda bazı kesit ve malzemeleri verilmiştir. Hepsinde şantiye denetimi iyidir. Önceki örnekleri dikkate alarak ve hiçbir hesap yapmaksızın donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesitleri çiziniz.



ÖRNEK: Kiriş boyutlandırma ve çizimi



VERİLENLER:

Soldaki kirişin paralel komşu kirişlere net mesafesi 4 m dir, şekilde görülen 30x50 cmxcm boyutlu kolonlara oturmaktadır. Kiriş boyunca kesit a-a da ki gibidir.

Kiriş boyutları, kirişin g(sabit) ve q(hareketli) karakteristik yükleri, birim yüklerle ait kesme diyagramları, malzeme: C20/25-B 420C bilinmemektedir, şantiye denetimi iyidir.

İSTENENLER:

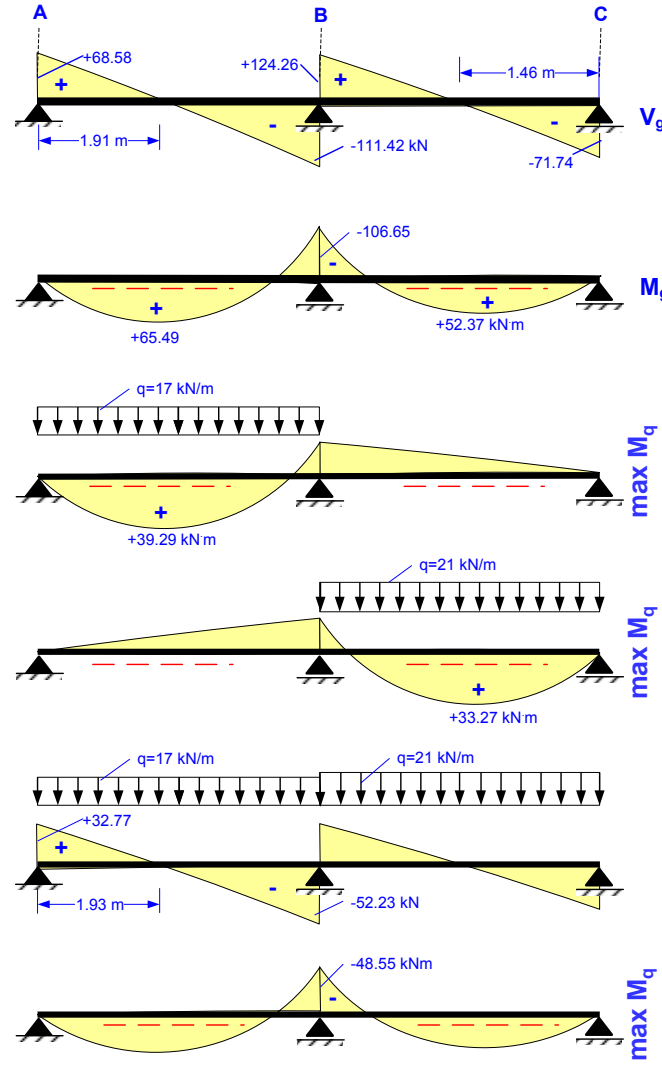
Kirişin boyuna donatılarını belirleyiniz ve gerekli çizimleri veriniz.

Not: Etriye hesabı henüz bilinmemektedir. Çizimlerde, yönetmeliklere uygun, konstrüktif etriye kullanınız.

Birim yüklemelere ait diyagramlar tasarım momentlerinin kolayca hesaplanabilmesi için verilmiştir. Bu diyagramlar kullanılmadan başka bir yol ile de (Cross, yazılım) bulunabilir.

STATİK ÇÖZÜM-yük etkileri:

Birim yüklemeler için verilmiş olan kesme diyagramlarını kullanarak g den oluşan moment diyagramını; q ya ait en elverişsiz yüklemelerden oluşan açıklık ve mesnet momentlerinin en büyük değerleri bulunabilir.



$$2.15 \cdot 36 - 0.18 \cdot 49 = 68.58 \text{ kN}$$

$$-2.85 \cdot 36 - 0.18 \cdot 49 = -111.42 \text{ kN}$$

$$0.43 \cdot 36 + 2.22 \cdot 49 = 124.26 \text{ kN}$$

$$0.43 \cdot 36 - 1.78 \cdot 49 = -71.74 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot 68.58 \cdot 1.91 = 65.49 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$65.49 - 111.42 \cdot (5 - 1.91) \cdot 0.5 = -106.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$0.5 \cdot 71.74 \cdot 1.46 = 52.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$2.15 \cdot 2.15 \cdot 0.5 \cdot 17 = 39.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$1.78 \cdot 1.78 \cdot 0.5 \cdot 21 = 33.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

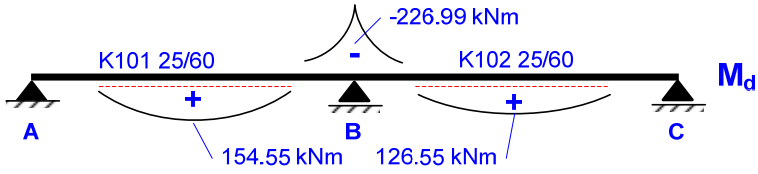
$$2.15 \cdot 17 - 0.18 \cdot 21 = 32.77 \text{ kN}$$

$$-2.85 \cdot 17 - 0.18 \cdot 21 = 52.23 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot 32.77 \cdot 1.93 - 0.5 \cdot 52.23 \cdot (5.0 - 1.93) = -48.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sadece G ve Q etkisi söz konusu olduğundan açıklık ve mesnet tasarım momentleri $M_d = 1.4G + 1.6Q$ yük birleşiminden hesaplanır.

Tasarım momentleri:



$$1.4 \cdot 65.49 + 1.6 \cdot 39.29 = 154.55 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (1. açıklıkta)}$$

$$1.4 \cdot 52.37 + 1.6 \cdot 33.27 = 126.55 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (2. açıklıkta)}$$

$$1.4 \cdot (-106.65) + 1.6 \cdot (-48.55) = -226.99 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (orta mesnette)}$$

BETONARME ÇÖZÜM:

Etkili (çalışan) tabla genişliği:

$$b \leq b_w + 12t$$

$$b \leq b_w + 0.2 \alpha L_n$$

$$\text{K101 açıklığında } b \leq 250 + 12 \cdot 100 = 1450 \text{ mm}, b \leq 250 + 0.2 \cdot 0.8 \cdot 4500 = 970 \text{ mm}$$

$$\text{K102 açıklığında } b \leq 250 + 12 \cdot 100 = 1450 \text{ mm}, b \leq 250 + 0.2 \cdot 0.8 \cdot 3500 = 810 \text{ mm}$$

Çalışan tabla genişliği biraz daha küçük ve her iki açıklıkta eşit alınacaktır, $b=800$ mm

C20/25-B 420C malzemesi için:

$$f_{cd} = 20/1.5 = 13.33 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.6/1.5 = 1.07 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 420/1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Açıklıklarda (tablalı!): Max } \rho = 0.02, \text{ Min } \rho = 0.8 \cdot 1.07/365.22 = 0.0023, (\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b \text{ kontrolü gerekmez})$$

$$\text{Mesnetlerde (dikdörtgen!): Max } \rho = 0.02, \text{ Min } \rho = 0.0023, \rho_b = 0.0164, \text{ Max } (\rho - \rho') = 0.85 \rho_b = 0.0139$$

Açıklık donatıları:

K101 açıklık (ERSOY/ÖZCEBE, Sayfa B.12 tablosu):

$$M_d = 154.55 \text{ kN} \cdot \text{m}, d = 570 \text{ mm}$$

$$b/b_w = 800/250 = 3.2 \approx 4 \text{ ! (en uygun tablo)}$$

$$t/d = 100/570 = 0.18$$

$$Kf_{cd} = 800 \cdot 570^2 \cdot 13.33 / (154.55 \cdot 10^6) = 22.4 \rightarrow j = 0.973$$

$$A_s = 154.55 \cdot 10^6 / (365.22 \cdot 0.973 \cdot 570) = 763 \text{ mm}^2$$

Seçilen 5 ϕ 14 (770 mm²) **altta**

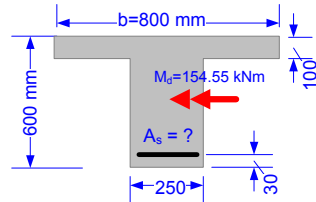
Montaj 3 ϕ 12 (339 mm²) **üstte**

Kontrol:

$$\rho = 770 / (250 \cdot 570) = 0.0054$$

$$\rho < \text{Max } \rho \checkmark$$

$$\rho > \text{Min } \rho \checkmark$$



• Çubukların kesite sığıp sığmadığı kontrol edilir. Sığmazsa; ya çubuk çapları büyütülür, ya kesit genişletilir yada çift sıra konur.

• Çubukların kesilip kesilmeyeceğine karar verilir.

K102 açıklık (ERSOY/ÖZCEBE, Sayfa B.12 tablosu):

$$M_d = 126.55 \text{ kN} \cdot \text{m}, d = 570 \text{ mm}$$

$$b/b_w = 800/250 = 3.2 \approx 4 \text{ ! (en uygun tablo)}$$

$$t/d = 100/570 = 0.18$$

$$Kf_{cd} = 800 \cdot 570^2 \cdot 13.33 / (126.55 \cdot 10^6) = 27.4 \rightarrow j = 0.981$$

$$A_s = 126.55 \cdot 10^6 / (365.22 \cdot 0.981 \cdot 570) = 620 \text{ mm}^2$$

Seçilen 4 ϕ 14 (616 mm²) **altta**

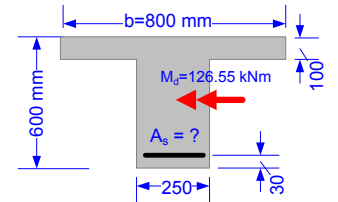
Montaj 3 ϕ 12 (339 mm²) **üstte**

Kontrol:

$$\rho = 616 / (250 \cdot 570) = 0.0043$$

$$\rho < \text{Max } \rho \checkmark$$

$$\rho > \text{Min } \rho \checkmark$$



AÇIKLAMA: TS 500-2000 e göre montaj donatısı mesnet donatısının en az ¼ ü olmalıdır (bak: Kiriş sınır değerleri). Mesnette hesap henüz yapılmadığından donatısı belli değildir. Ancak iyi bir tahmin yapılabilir.: Açıklıkta 154.55 \approx 155 kN·m moment için 763 mm² donatı hesaplandı. Mesnette 226.99 \approx 227 kN·m moment için gerekli donatı, orantı ile, $A_{sTahmin} \approx 763 \cdot 227 / 155 = 1117$ mm² den biraz daha fazla olacaktır, çünkü mesnette tabla çalışmamaktadır. Bu nedenle 1200 mm² ye yuvarlayarak montaj donatısını 1200/4=300 mm² tahmin edebiliriz. Bu ise 2 ϕ 14 (308 mm²) veya 3 ϕ 12 (339 mm²) ye karşılık gelir. Burada 3 ϕ 12 (339 mm²) tercih edilecektir.

Bir diğer iyi tahmin de $A_{sTahmin} \approx M_d / (315 \cdot h)$ formülü ile yapılabilir: $A_{sTahmin} \approx 227 \cdot 10^6 / (315 \cdot 600) = 1201$ mm². Bu formül dikdörtgen ve tablalı kesitlerin hem açıklık hem de mesnet donatılarını hızlı fakat gerçeğe çok yakın tahmin etmek için her zaman kullanılabilir.

Mesnet donatıları:

Mesnet donatıları hesaplanmadan önce açıklık donatılarının nasıl yerleştirileceğine, pilye yapılıp yapılmayacağına karar verilmelidir. Çünkü açıklıktan gelen ve komşu açıklığın belli bir yerine kadar uzatılan çubuklar mesnetteki donatı miktarını etkiler. Bu donatılar çekme veya basınca çalışacaktır.

Açıklıktaki çubuklar iki farklı yol izlenerek yerleştirilebilir:

1.YOL: Hesaplanan donatılar açıklığa konur ve komşu açıklığın ¼ üne kadar uzatılarak kesilir. Bu durumda ara mesnedin altında birinci açıklıktan 5φ14 ve ikinci açıklıktan 4φ14 olmak üzere 9φ14 çubuk olacaktır. Mesnedin üstünde ise birinci açıklıktan 3φ12 ve ikinci açıklıktan 3φ12 olmak üzere 6φ12 olacaktır.

2.YOL: Çubuk boyu yeteriyse kesmeden boydan boya uzatılır. Kiriş toplam boyu 9 m ve kenetlemeyi sağlamak için yukarı-aşağı kıvrılan kısım toplam 1 m düşünülürse yaklaşık 10 m çubuk boyu gerekir. Çubuklar 12 m yeterlidir, kesmek gerekmez. 1. ve 2. açıklığın altına 4φ14 boydan boya uzatılır. 1. açıklığa 1φ14 ayrıca konur ve ikinci açıklığın ¼ ünde kesilir. Üstte 3φ12 her iki açıklık boyunca uzatılır. Bu durumda mesnedin altında 5φ14 üstünde 3φ12 çubuk olur.

Donatılar elden geldiğince kesilmemelidir. Çünkü kenetlenme daha iyi olacak ve mesnetlerde donatı yığılması önlenmiş olacaktır. Ayrıca daha az işçilik gerektirir. Bu örnekte yukarıda verilen 2. YOL tercih edilecektir.

Mesnette hem altta hem de üstte açıklıktan gelen donatı vardır, yani kesit gerçekte çift donatılıdır. Mesnet ek donatısı hesaplanmadan önce, basınç bölgesindeki donatının dikkate alınıp alınmayacağına da karar vermek gerekir. El hesaplarını basitleştirmek için basınç bölgesindeki donatılar dikkate alınmayabilir. Bu örnekte basınç bölgesindeki donatılar dikkate alınmayacak, kesit tek donatılı imiş gibi hesaplanacak, fakat denge altı kontrolünde basınç donatısı dikkate alınacaktır..

B mesnedi (ERSOY/ÖZCEBE, Sayfa B.4 tablosu):

$$M_d = -226.99 \text{ kN}\cdot\text{m}, d=570 \text{ mm}$$

$$K=250\cdot570^2 / (226.99\cdot10^3)=357.8 \text{ mm}^2/\text{kN} \rightarrow j=0.852$$

$$A_s = 226.99\cdot10^6 / (365.22\cdot0.852\cdot570)=1280 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{sek}} = 1280-339=941 \text{ mm}^2$$

Seçilen ek: 3φ20 (942 mm²) **üstte**

Kontrol:

$$\rho = (942+339)/(250\cdot570)=0.0090$$

$$\rho' = 770/(250\cdot570)=0.0054$$

$$\rho > \text{Min } \rho=0.0023 \checkmark$$

$$\rho < \text{Max } \rho=0.02 \checkmark$$

$$\rho - \rho' = 0.0090-0.0054=0.0036 < \text{Max } (\rho - \rho')=0.0139 \checkmark$$

$$\text{Orta mesnet altta: } 770 \text{ mm}^2 > (942+339)/2=641 \text{ mm}^2 \checkmark$$

$$\text{Açıklıklarda üstte: } 339 \text{ mm}^2 > (942+339)/4=320 \text{ mm}^2 \checkmark$$

Mesnet momentinin gerektirdiği donatı alanı

Mevcut 3φ12 düşülüyor.

Momenti karşılamak için konulan ek donatı. Çubuk çapı, yığılmayı önlemek için, kalın seçilmiştir.

Mesnet altındaki donatı üstündekinin yarısından az olamaz.

Montaj donatısı mesnet donatısının ¼ ünden az olamaz.



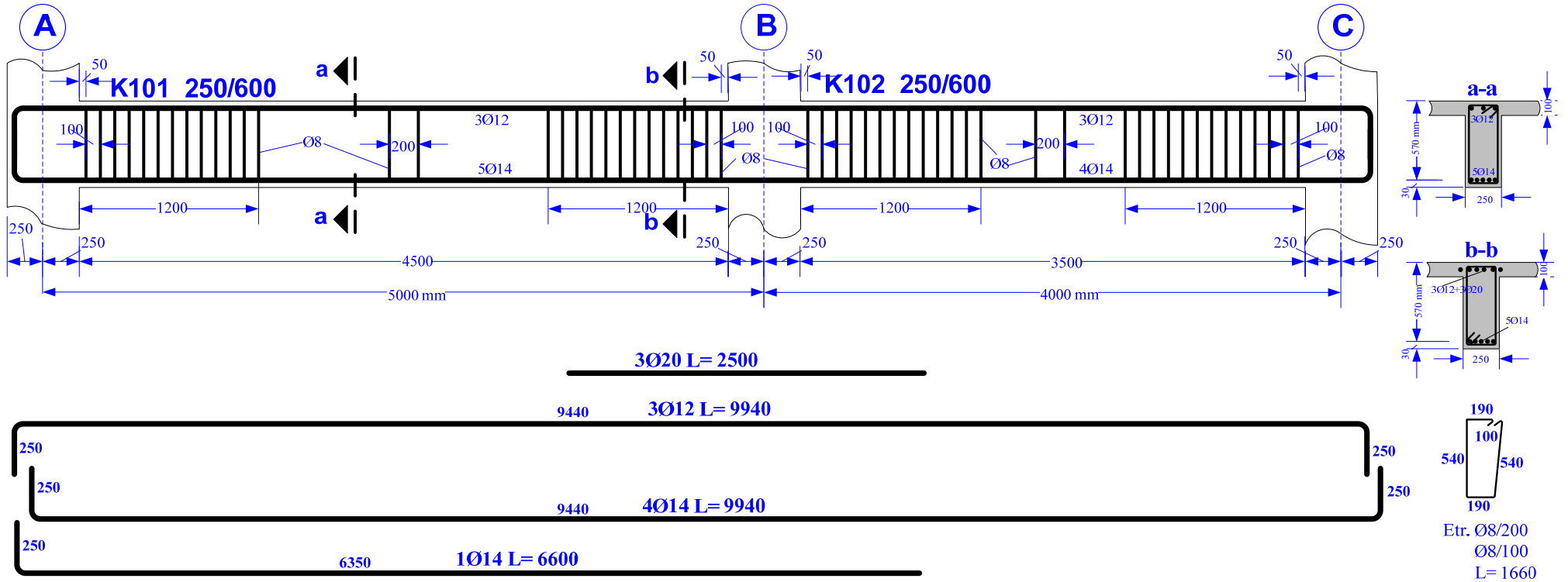
Şantiyeye gidecek çizimlerin hazırlanması - Kiriş açılımı :

Hesaplar özetlenirse; K101 kirişinin alt tarafına 5φ14, üst tarafına 3φ12, K102 kirişinin alt tarafına 4φ14, üst tarafına 3φ12 ve orta mesnedin üstüne 3φ20 ek donatı konulacaktır. 4φ14 her iki açıklıkta ortak olduğundan ve toplam çubuk boyu 12 m yi aşmayacağı için kesilmeden boydan boyya uzatılacaktır. K101 açıklığına 1φ14 eklenerek bu açıklık 5φ14 ile donatılmış olacaktır. 1φ14, ikinci açıklıkta gerekli olmadığı için, kesilecektir. Montaj donatıları da, her iki açıklıkta aynı olduklarından, kesilmeden boydan boyya uzatılacaktır. 3φ20 mesnet ek donatısı da açıklıkların üstünde gerekli değildir, kesilecektir. A ve C kenar mesnetlerinde donatılar 90° kıvrılarak kiriş derinliğince uzatılacak, kenetlenme iyileştirilecektir. Kesilen donatılar net açıklıkların dörtte birine kadar uzatılacaktır.

Nasıl hesaplanacağı henüz bilinmediğinden, konstrüktif olarak φ8 çift kollu etriye kullanılacaktır. Etriye adımı (aralığı) açıklıklarda 20 cm, sarılma bölgelerinde (2h=120 cm mesnet yüzünden itibaren) sıklaştırılarak 10 cm alınacaktır. Boyuna donatılar nervürlü (gevrek) olduğundan 135° kıvrımlı kanca yapılmayacaktır. Etriye 135° kıvrımlı kancalı yapılacaktır.

Kirişin 1/20 ölçekli boyuna ve en az bir enine kesiti çizilir. Her bir donatı çubuğunun açılımı kirişin altına çizilir. Çubukların kıvrım boyları, toplam boyları, adet ve çapları üzerine yazılır. Çubukların açılım sırası, yukarıdan aşağı, şöyledir: Mesnet üst ek donatıları, açıklık üst donatıları, gövde donatıları (varsa), açıklık alt donatıları, mesnet alt ek donatıları.

Bu düşünceler ışığında hazırlanan, şantiyeye gidecek çizim aşağıda verilmiştir. Çizimin, gerçek projelerdeki gibi olmasına özen gösterilmiştir. Mesnet donatıları 25 cm gövde genişliğine sığmadığı için 2 adet çubuk tablaya yerleştirilmiştir. Çizimde ölçüler mm cinsindedir.



C20/25-B 420C