

b_w : kiriş genişliği

h : kiriş yüksekliği

d : faydalı yükseklik= $h-d'$

t : tabla kalınlığı

c_c : net beton örtüsü

d' : 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 bükülen 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 : kesitteki etriyelerin komşu iki düşey kolu arasındaki mesafe

k : etriye kanca boyu

$\phi_{gövde}$: gövde donatısı çapı

$\rho_{gövde}$: gövde donatısı oranı

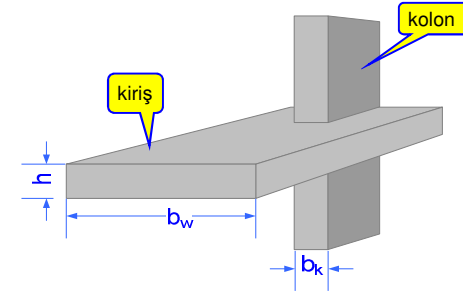
KİRİŞLERDE SINIR DEĞERLER¹

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek öneri	Açıklama
	TS 500:2000	TBDY-2018		
min b_w	20 cm	25 cm	25 cm	
max b_w	b_k+h	b_k+h	-	1
min h	30 cm , 3t, $L_n/10$	30 cm , 3t	40 cm	2
max h	$L_n/2.5$ (sürekli kirişlerde) $L_n/1.5$ (basit kirişte)	$3.5 b_w$, $L_n/4$	-	3
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 ($\rho-\rho'$)	$0.85 \rho_b$	-	$\rho_1=0.235 f_{ctd}/f_{yd}$	2
max ($\rho_1-\rho'_1$)	$0.85 \rho_b$	$0.85 \rho_b$	ρ_1	2
min L_c	2h	2h	-	Sarıma 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	-	4
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	$0.3f_{ctd}/f_{ywd}$	Bak: 7.4.5.2	-	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

¹ TS 500-2000 sınır değerlerinin TBDY-2018 den farklı olması durumunda TBDY-2018 uygulanacaktır(bak: TBDY-2018, madde 7.2.2)

AÇIKLAMALAR:

1. Kiriş genişliği sınırlaması: Dar bir kolona çok geniş bir kirişin oturtulması sakıncalıdır. TBDY-2018, madde 7.4.1.1a.



$$b_w \leq b_k + h$$

$$b_w \geq 25 \text{ cm}$$

$$h \geq 30 \text{ cm}$$

2. Aşırı sehimi (yer değiştirme, çökme) önlemek için kiriş yüksekliği ve donatı oranı sınırlaması: Bak: TS 500:2000, Madde 13.2.

Süneklik için donatı oranı $0.85\rho_b$ ve 0.02 sınırlarını aşmamalıdır. ancak, bu sınırlara yakın donatılan kirişler sünek olmakta fakat aşırı sehim yapmaktadır. Araştırma ve gözlemlere göre, aşırı sehim olmaması için, donatı oranı $\rho_1 \leq 0.235f_{ctd}/f_{yd}$ ile verilen sınırı aşmamalıdır.

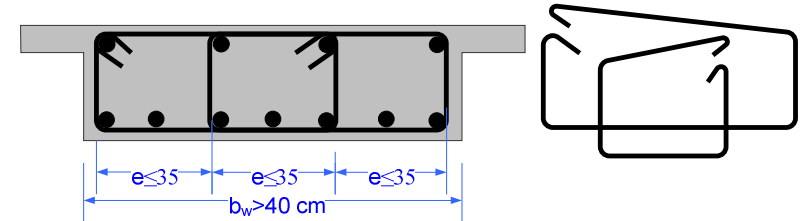
Bak:

ERSOY/ÖZCEBE, S. 260, madde 5.4.2

BERKTAY, İ. S. 155, madde 5.1.2.2

3. Bu koşulu sağlamayan kirişler, yüksek kiriş olarak tasarlanır ve donatılır, Bak: TBDY-2018, madde 7.4.1.1b ve 7.4.1.1c

4. $b_w > 40$ cm olan geniş kirişlerde birden çok (4, 6, ... kollu) etriye kullanılmalı. Bak: TBDY-2018, madde 7.4.4.



KİRİŞLERDE SINIR DEĞERLER (devamı)

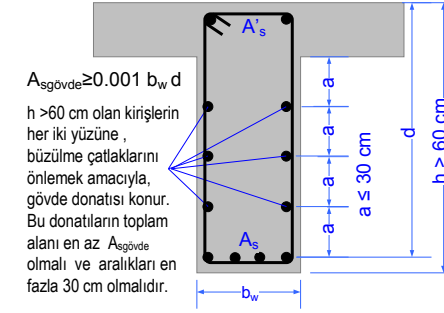
Tanım	Zorunlu koşullar		Ek öneri	Açıklama
	TS 500:2000	TBDY-2018		
min a	-	$0.4 l_b$	-	6
min b	-	12ϕ	-	
min (a+b)	-	l_b	50ϕ	l_b Kenetlenme boyu
min c	-	-	$L_n/4$	Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı için kenetlenme boyu
min (h_k+c)	-	$l_b, 50 \phi$	-	Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı için kenetlenme boyu
min k	$6\phi_w, 5 \text{ cm}$	$6\phi_w, 8 \text{ cm}$ (nervürlü)	$10\phi_w, 10 \text{ cm}$	135° kıvrımlı etriye kancası boyu
max N_d	$0.1 f_{ck} A_c$	$0.1 f_{ck} A_c$	-	7
max V_d	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.85 \sqrt{f_{ck}} b_w d$	-	
min c_c	2 cm içte 2.5 cm dışta	-	3 cm içte ve dışta	8
min d'	-	-	Net beton örtüsü+2 cm	Beton örtüsü
min net donatı aralığı	2.5 cm, ϕ	-	5 cm	8
min beton sınıfı	C16/20	C25/30	C30/37	Bak. TBDY-2018 Madde 7.2.5.1
max beton sınıfı	C50/60	C80/95	-	Bak. TBDY-2018 Madde 7.2.4 ve 7.2.5.1
çelik sınıfı(boyuna)	Her tür çelik	B420C, B500C	B500C	Bak. TBDY-2018 Madde 7.2.5.3
çelik sınıfı(sargı)	Her tür çelik	B420C, B500C	-	Bak. TBDY-2018 Madde 7.2.5.3
min çekme donatısı sayısı	-	2	3	
min montaj donatısı sayısı	2	2	-	



Kopmuş etriyeler



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. Bu koşulun sağlanmaması durumunda kolon olarak boyutlandırılır. Bak. TBDY- 2018., Madde 7.4.1.2.

8. Net beton örtüsü ve net donatı aralığı. Bak: TS 500:2000, S. 44.

YÖNETMELİK:

$c_c \geq 2 \text{ cm}$ içte, $c_c \geq 2.5 \text{ cm}$ dışta

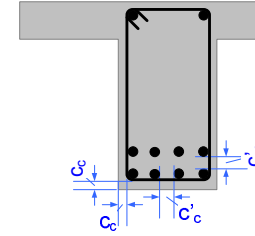
$c'_c \geq 2.5 \text{ cm}$ ve $c'_c \geq \phi$

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: $c_c \geq 5 \text{ cm}$



Yetersiz beton örtüsü düşük kenetlenmeye ve paslanmaya neden olur !

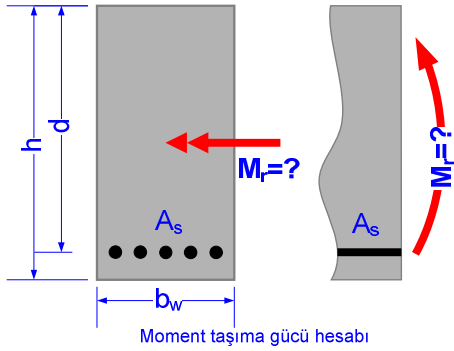
Kiriş kesit hesabı

Uygulamada iki farklı problem türü ile karşılaşılır:

1) Kesit kontrolü \equiv Moment taşıma gücü hesabı $\equiv M_r$ nin hesabı

Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, donatının yeri ve alanı bilindir. Kesitin kırılma anında taşıyabileceği moment M_r aranır.

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



2) Kesit hesabı \equiv boyutlandırma \equiv donatı alanı hesabı $\equiv A_s$ nin hesabı

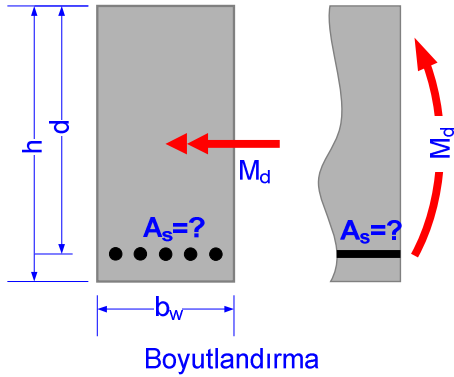
Yeni bir yapı projelendirilirken karşılaşılan problem türüdür. Mühendisin elinde sadece mimari proje vardır. Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, iç kuvvetler (moment, kesme, normal kuvvet, burulma), donatının yeri ve donatı alanı bilinmemektedir. Statik hesapların yapılabilmesi (=iç kuvvetlerin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

•Mühendis önce; nerelere kiriş-kolon konulacağına karar verir, 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 yükleri ve kesit iç kuvvetlerini belirler (statik=yapısal analiz aşaması). Bu aşamadan sonra kesit boyutları, malzeme ve kesitin taşımak zorunda olduğu M_d (tasarım momenti) bellidir. Ancak, bu momenti taşıyacak A_s alanının ne olduğu, A_s alanına eşdeğer çelik çubukların 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 yorucu ve zaman alıcıdır. 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 kiriş donatı hesabı - Analitik çözüm

BİLİNENLER:

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

ARANAN:

Momentin güvenle taşınabilmesi için A_s ne olmalıdır?

ÇÖZÜM:

Yapılacak çözüm şu koşulları sağlamalı:

1. Kiriş denge altı donatılmalı: $\epsilon_s > \epsilon_{sd}$, $\sigma_s = f_{yd}$, $\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b$
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:
Min $\rho \leq \rho \leq$ Max ρ ve $\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b$

Yatay denge: $k_3 f_{cd} a b_w - A_s f_{yd} = 0$

Moment dengesi: $A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) = M_d$

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

$$K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

Sağ taraftaki büyüklükler bilindiği için K sabit bir değerdir.

$$a = d(1 \pm \sqrt{1 - K})$$

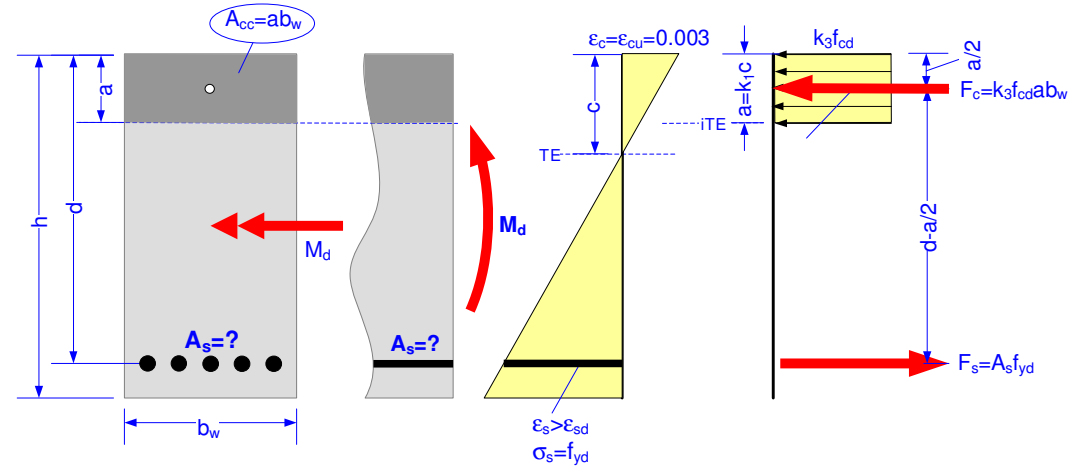
Fiziksel olarak $0 < a < d$ arasında olmak zorundadır. + lı iterim ile $a > d$ olacağından - li terimi almak gerekir.

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

Denklemin çözümünde ara işlemler burada gösterilmemiştir

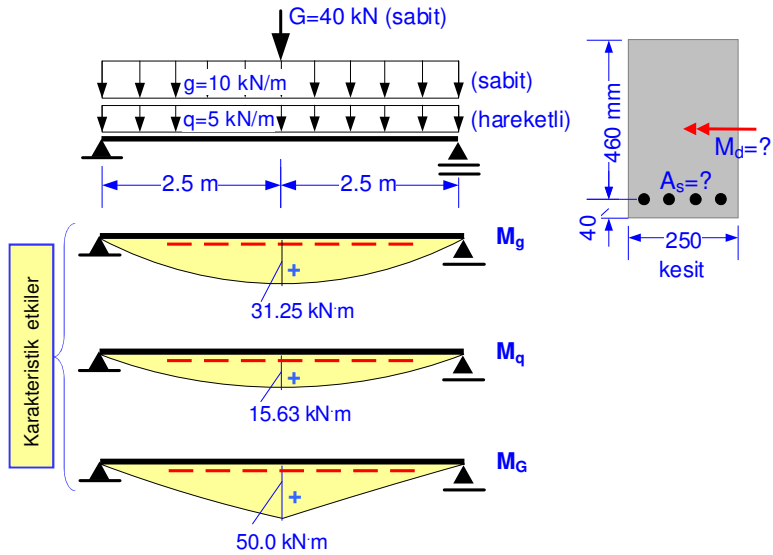
olarak bulunur.



Hesap sırası:

1. K sabiti hesaplanır, birimsizdir.
2. Basınç bloğu derinliği a hesaplanır.
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, EK4 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 (Bak: EK5), aşırı 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.
6. Çizim yapılarak donatının nasıl yerleştirileceği gösterilir.

ÖRNEK: Tek donatılı dikdörtgen kiriş donatı hesabı - Analitik çözüm



VERİLENLER: Kiriş ve kesit boyutları, karakteristik yükler ve malzeme: C30/37, B420C. 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:

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.9/1.5 = 1.27 \text{ N/mm}^2, k_3 = 0.85, f_{yd} = 420/1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Bak: EK1, EK2}$$

$$\rho_b = 0.0237, 0.85\rho_b = 0.85 \cdot 0.0237 = 0.0201 \quad \text{Bak: EK3}$$

$$\min \rho = 0.8 \cdot 1.27 / 365.22 = 0.0028 \quad \min \rho = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

$$\max \rho = 0.02, \max (\rho - \rho') = 0.85\rho_b = 0.0201$$

Tasarım momenti:

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

ÇÖZÜM:

$$K = \frac{2 \cdot 138.8 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 460^2} = 0.3087$$

$$K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = 460(1 - \sqrt{1 - 0.3087}) = 77.5 \text{ mm}$$

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

Basınç bloğunun derinliği

$$A_s = 0.85 \frac{20}{365.22} 77.5 \cdot 250 = 902 \text{ mm}^2$$

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} ab_w$$

Momentin oluşturacağı çekme kuvvetini karşılamak için gerekli donatı alanı

Bu alana en yakın çubuk çap ve sayısı EK4 tablosundan aranır. Birden çok seçenek vardır. Çap en az 12 mm olmalı, çok kalın olmamalı, en az üç çubuk olmalı. Çubuklar kesite sığmalı. EK5 tablosu ile çubukların b_w genişliğine sığıp sığmadığı kontrol edilebilir. Seçenekler ve yorumları aşağıda verilmiştir:

8 ϕ 12 (905 mm²) ← kesite sığmaz!

6 ϕ 14 (924 mm²) ← kesite sığmaz!

5 ϕ 16 (1005 mm²) ← kesite sığmaz!

4 ϕ 18 (1018 mm²) ← kesite sığar, uygun

3 ϕ 20 (942 mm²) ← kesite sığar, uygun

3 ϕ 22 (1140 mm²) ← kesite sığar, uygun

2 ϕ 24 (905 mm²) ← kesite sığar, uygun fakat çubuk sayısı 3 den az ve kalın!

Uygun olan bu üç seçenektan birine karar verilebilir. Burada 3 ϕ 20 tercih edilir. Çünkü alanı gerekli olan 902 mm² ye en yakın, yani en ekonomik olanıdır. Ayrıca çok kalın değil ve işçiliği azdır.

Seçilen 3 ϕ 20 (942 mm²) alt EK4 ve EK5 tablolarından Karar

Montaj: 2 ϕ 12 (226 mm²) üst Konstrüktif

Etr.: ϕ 8/200 konstrüktif

$$\rho = 942 / (250 \cdot 460) = 0.0082$$

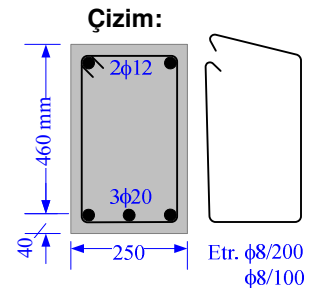
$$\rho' = 226 / (250 \cdot 460) = 0.0020$$

$$\rho - \rho' = 0.0082 - 0.0020 = 0.0062$$

Kontrol:

$$\min \rho < \rho < \max \rho \quad \checkmark$$

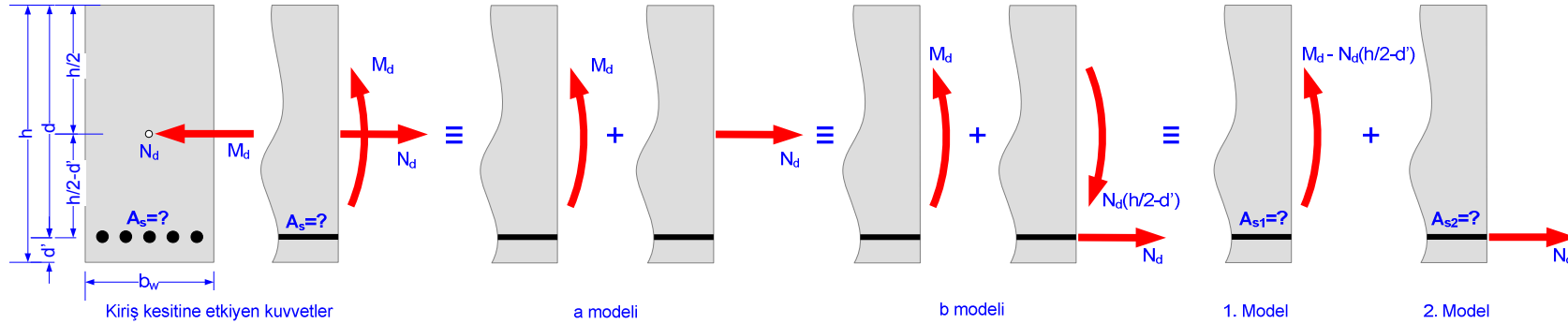
$$\rho - \rho' < \max (\rho - \rho') \quad \checkmark$$



Kirişlerde aksel kuvvet genelde çok küçüktür, çoğu kez ihmal edilerek sadece moment için gerekli donatı alanı hesaplanır. Ancak, özellikle perdeli sistemlerde, deprem, rüzgar veya sıcaklık farkı yüklerinden veya eğik kirişlerde düşey yüklerden oldukça büyük aksel kuvvet oluşabilir.

TS 500:2000¹ ve TBDY-2018 bir elemanın kiriş olarak boyutlandırılabilmesi için N_d aksel tasarım basınç kuvvetinin $N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c$ koşulunu sağlaması gerektiğini yazmaktadırlar. Bu koşulu sağlamayan, yani aksel basınç kuvveti yüksek olan elemanlar, ister yatay, ister düşey veya eğik olsunlar, kolon olarak boyutlandırılmak zorundadırlar. Bu bağlamda f_{ck} betonun karakteristik dayanımı ve A_c elemanın net kesit alanıdır (varsa, boşluklar düşülür).

Sadece M_d varsa, yani $N_d \approx 0$ ise, gerekli A_s önceki sayfalarda verilen bağıntılardan hesaplanır. $0 < |N_d| \leq 0.1 f_{ck} A_c$ durumunda gerekli A_s aşağıda açıklandığı gibi hesaplanabilir.



Kiriş kesitine etkileyen kuvvetler a modelinde gösterilen kuvvetlerin toplamına eşittir. N_d kuvveti b modelinde donatının olduğu yere kaydırılmış, dengenin bozulmaması için $N_d(h/2-d')$ momenti kesite eklenmiştir. Dolayısıyla b modelindeki kuvvetler a modelindeki kuvvetlere özdeştir.

b modelindeki momentlerin toplamı 1. modele aktarılarak salt moment etkisinde olan 1. model ve salt aksel kuvvet etkisinde olan 2. model oluşturulmuştur. 1. ve 2. modeldeki kuvvetlerin ve donatı alanlarının toplamı orijinal kesitteki kuvvetlere ve donatı alanına eşittir: $A_s = A_{s1} + A_{s2}$. Önceki sayfalarda verilen bağıntılarda moment $M'_d = M_d - N_d(h/2-d')$ alınarak A_{s1} hesaplanabilir (Bak: sayfa 163)

1. Modelde:

$$M'_d = M_d - N_d \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$K = \frac{2M'_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

$$A_{s1} = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

2. Modelde:

Çelik akmak zorunda olduğundan gerilme f_{yd} dir, dolayısıyla

$$A_{s2} f_{yd} = N_d$$

$$A_{s2} = \frac{N_d}{f_{yd}}$$

Sonuç:

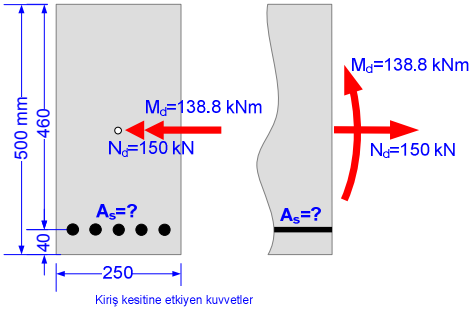
$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

Yorum:

1. Buradaki bağıntılar $|N_d| \leq 0.1 f_{ck} A_c$ durumunda kullanılabilir. Aksi durumda kesit kolon olarak hesaplanmalıdır.
2. N_d çekme ise pozitif, basınç ise negatif olarak alınmalıdır.
3. Çekme kuvveti donatı alanını artırmakta, basınç kuvveti azaltmaktadır.
4. Aksel kuvvetin basınç olması durumunda ihmal edilmesi, yani $N_d=0$ alınması, önerilir.

¹ Bak: TS 500:2000, madde 7.3 ve TBDY-2018, madde 7.4.1.2



VERİLENLER: Kiriş kesit boyutları, kesite etkiyen kuvvetler ve malzeme: C30/37-B420C. Şantiye denetimi: iyi.

İSTENENLER: A_s donatı alanı ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz. Yönetmeliklere uygun konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız, kesiti çiziniz.

HAZIRLIK:

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.9/1.5 = 1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 420/1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_3 = 0.85, \rho_b = 0.0237, 0.85\rho_b = 0.85 \cdot 0.0237 = 0.0201$$

$$\min \rho = 0.8 \cdot 1.27/365.22 = 0.0028$$

$$\max \rho = 0.02, \text{Max}(\rho - \rho') = 0.85\rho_b = 0.0201$$

Çözüm:

$$|N_d| = 150 \text{ kN} < 0.1 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 500 = 375000 \text{ N} = 375 \text{ kN} \quad \checkmark \text{ Kiriş olarak hesaplanabilir}$$

$$M'_d = 138.8 - 150 \cdot (0.25 - 0.04) = 107.3 \text{ kNm} \quad M'_d = M_d - N_d \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$K = \frac{2 \cdot 107.3 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 460^2} = 0.2386 \quad K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = 460(1 - \sqrt{1 - 0.2386}) = 58.6 \text{ mm} \quad a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

$$A_s = 0.85 \frac{20}{365.22} 58.6 \cdot 250 + \frac{150000}{365.22} = 1093 \text{ mm}^2 \quad A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} ab_w + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

Seçilen $3\phi 22$ (1140 mm^2) alt
Montaj: $2\phi 12$ (226 mm^2) üst Konstrüktif
Etr.: $\phi 8/200$ konstrüktif

$$\rho = 1140/(250 \cdot 460) = 0.0099$$

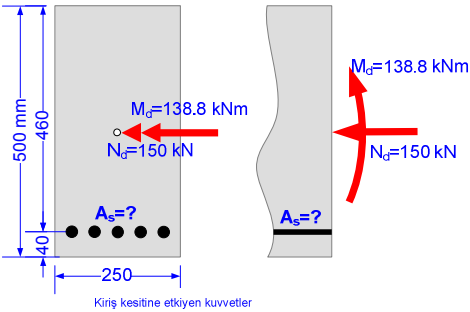
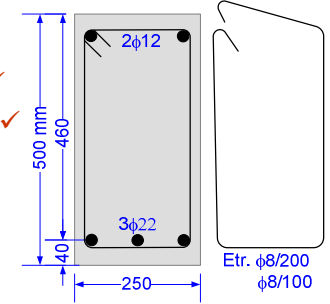
$$\rho' = 226/(250 \cdot 460) = 0.0020$$

$$\rho - \rho' = 0.0099 - 0.0020 = 0.0079$$

Kontrol:

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

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



VERİLENLER: Kiriş kesit boyutları, kesite etkiyen kuvvetler ve malzeme: C30/37-B420C. Şantiye denetimi: iyi.

İSTENENLER: A_s donatı alanı ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz. Yönetmeliklere uygun konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız, kesiti çiziniz.

HAZIRLIK:

$$f_{cd} = 30/1.5 = 20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.9/1.5 = 1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 420/1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_3 = 0.85, \rho_b = 0.0237, 0.85\rho_b = 0.85 \cdot 0.0237 = 0.0201$$

$$\min \rho = 0.8 \cdot 1.27/365.22 = 0.0028$$

$$\max \rho = 0.02, \text{Max}(\rho - \rho') = 0.85\rho_b = 0.0201$$

Çözüm:

$$|N_d| = |-150| \text{ kN} < 0.1 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 500 = 375000 \text{ N} = 375 \text{ kN} \quad \checkmark \text{ Kiriş olarak hesaplanabilir}$$

$$M'_d = 138.8 - (-150) \cdot (0.25 - 0.04) = 170.3 \text{ kNm} \quad M'_d = M_d - N_d \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$K = \frac{2 \cdot 170.3 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 460^2} = 0.3787 \quad K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = 460(1 - \sqrt{1 - 0.3787}) = 97.4 \text{ mm} \quad a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

$$A_s = 0.85 \frac{20}{365.22} 97.4 \cdot 250 + \frac{-150000}{365.22} = 723 \text{ mm}^2 \quad A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} ab_w + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

Seçilen $3\phi 18$ (763 mm^2) alt
Montaj: $2\phi 12$ (226 mm^2) üst Konstrüktif
Etr.: $\phi 8/200$ konstrüktif

$$\rho = 763/(250 \cdot 460) = 0.0066$$

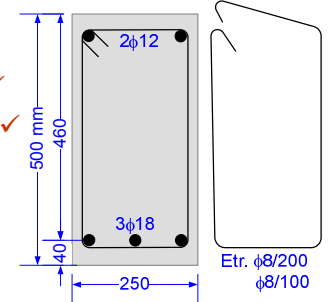
$$\rho' = 226/(250 \cdot 460) = 0.0020$$

$$\rho - \rho' = 0.0066 - 0.0020 = 0.0046$$

Kontrol:

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

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

**Yorum:**

Aynı kesit, malzeme ve $N_d=0$ için $A_s=902 \text{ mm}^2$ bulunmuştu (Bak: sayfa 164). Yukarıdaki örneklerde ise $N_d=150 \text{ kN}$ (çekme) için $A_s=1093 \text{ mm}^2$, $N_d=-150 \text{ kN}$ (basınç) için $A_s=723 \text{ mm}^2$ bulundu. Görüldüğü gibi, eksenel kuvvetin basınç olması durumunda donatı alanı azalmıştır. Güvenli tarafta kalmak için basınç durumunda eksenel kuvveti ihmal etmek, yani $N_d=0$ almak uygun olur.

Temel ilke olarak, çelik çekme almak için kullanılır. Fakat her kesitte en azından montaj donatısı vardır. Kenetlenmeyi sağlamak için, açıklık donatıları komşu açıklığın belli bir yerine kadar uzatılır. Deprem yönetmeliği mesnet altına üstündeki donatının yarısı kadar konulmasını ister. Demek ki aslında her kesitin basınç bölgesinde de donatı vardır, yani **her kesit gerçekte çift donatılıdır**.

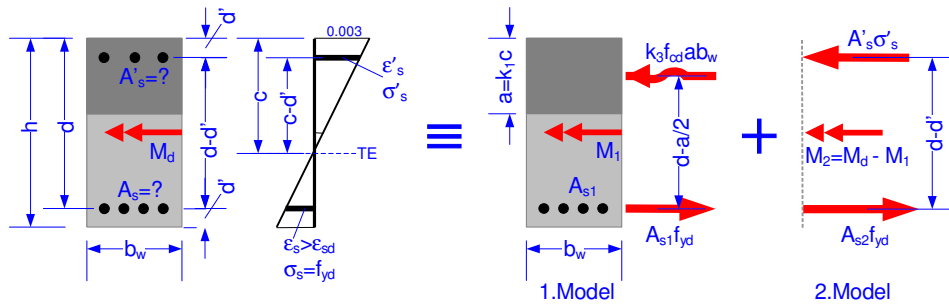
Momenti karşılayacak donatı alanını, bu donatılar yokmuş gibi hesaplarız. Donatı alanını belirledikten sonra mevcut donatı ile karşılaştırırız. Eğer mevcut donatı belirlenenen az ise ek donatı koyarak momenti karşılamasını sağlarız. Bu yolla tasarlanan kesitlere **tek donatılı kesit** denir.

Bazen tek donatılı olarak hesaplanan kesit momenti taşıyamaz veya, taşısa bile, aşırı sehim(sarkma) olur. Böyle bir durumda izlenecek iki yol vardır.

1.Kesiti büyütme(yüksekliğini ve/veya genişliğini) . Mimari nedenlerle kesiti büyütme her zaman mümkün olmaz.

2.Basınç bölgesine de hesapla belirlenen donatı koymak. Basınç bölgesine konan donatı, çeliğin dayanımı betondan çok daha yüksek olduğundan, moment taşıma gücünü artırır.

Hem çekme hem de basınç bölgesine hesapla belirlenerek donatı konmuş kesitlere **çift donatılı kesit** denir. Çift donatılı kesitin kiriş davranışına olumlu etkileri vardır. 1.Taşıma gücünü artırır. 2.Sünekliği artırır. 3.Sehimi azaltır. 4. Momentin yön değiştirmesi(depremden) durumunda çekme alır. Çift donatılı kesitin olumsuz yönü: 1.Maliyeti artırır, çünkü basınca çalıştırılmaktadır. Betonarmede basıncı almak betonun görevidir ve daha ekonomiktir. 2.Yüksekliği azaltmak amacıyla çift donatılı kesit yapılması aşırı sehim oluşmasına neden olur.



Çift donatılı kesiti solda gösterilen 1. ve 2. modelin toplamı olarak düşünebiliriz, $M_d = M_1 + M_2$ ve $A_s = A_{s1} + A_{s2}$. Sünek kırılma ön koşul olduğundan A_s donatısı akmak zorundadır, yani çekme bölgesindeki A_{s1} ve A_{s2} donatılarındaki gerilme f_{yd} olmalıdır. A'_s donatısı akmış veya akmamış olabilir. 0.003 kısalma yapan beton lifine çok yakın olduğu için genelde akar. Kırılmanın türünü(sünek, gevrek) A_{s1} in oranı belirler. 2. modelde beton bulunmadığından, aksine sadece sünek malzeme çelik bulunduğundan, A_{s2} ve A'_s ne kadar büyük olursa olsun gevrek kırılmaya neden olmaz.

M_d , b_w , d , d' , f_{cd} , f_{yd} , E_s bilinmektedir. M_d momentini karşılayacak A_s ve A'_s aranmaktadır. Önce tek donatılı olan 1. modelin taşıyabileceği M_1 momentini belirlemek gerekir. M_1 , A_{s1} in oranına bağlı olarak değişir. O halde ρ_1 için max ρ altında olmak kaydıyla herhangi bir değer seçebiliriz. Genellikle $0.50\rho_b \leq \rho_1 \leq 0.85\rho_b$ aralığında bir değer seçilir. Aşırı sehim olmaması ve sehim hesabı istenmemesi durumunda¹ $\rho_1 = \rho_1 = 0.235f_{cd}/f_{yd}$ değeri uygun olmaktadır. Bu değer, aşağıdaki bağıntılarda tek donatılı kesitten çift donatılı kesite geçiş sınırı olarak kullanılmıştır.

$$\rho_1 = 0.235f_{cd}/f_{yd} \quad \text{1. model için seçilen donatı oranı} \equiv \text{çift donatılı kesite geçiş sınırı}$$

$$A_{s1} = \rho_1 b_w d \quad \text{1. modelde çekme donatısı}$$

1. modelde yatay denge

$$k_3 f_{cd} a b_w = A_{s1} f_{yd} = \rho_1 b_w d f_{yd} = 0.235 f_{cd} b_w d$$

$$a = 0.235 d / k_3 \quad \text{basınç alanı derinliği}$$

$$c = a / k_1 = 0.235 d / k_1 / k_3 \quad \text{tarafsız eksen derinliği}$$

1. modelde moment

$$M_1 = A_{s1} f_{yd} (d - a/2) = \rho_1 b_w d f_{yd} (d - 0.235d/2/k_3)$$

$$M_1 = 0.235 f_{cd} b_w d^2 (1 - 0.1175/k_3) \quad \text{1. modelin taşıma gücü}$$

$M_1 \geq M_d$ ise tek donatılı: $M_1 < M_d$ ise çift donatılı:

$$K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

Sonuç:

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

$$A'_s = 0$$

$$M_2 = M_d - M_1 \quad \text{2. modelin taşıması gereken moment}$$

$$M_2 = A_{s2} f_{yd} (d - d') \quad \text{2. modelde moment}$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{f_{yd} (d - d')} \quad \text{2. modelde çekme donatısı}$$

$$\epsilon'_s = 0.003 \frac{c - d'}{c} = 0.003 \left(1 - \frac{d'}{c}\right)$$

$$\epsilon'_s = 0.003 \left(1 - \frac{k_1 k_3 d'}{0.235 d}\right) \quad \text{Basınç donatısı birim kısalması}$$

$$\sigma'_s = E_s \epsilon'_s$$

$$\sigma'_s \geq f_{yd} \text{ ise akmış, } \sigma'_s = f_{yd} \text{ al}$$

$$A_{s2} f_{yd} = A'_s \sigma'_s \quad \text{2. modelde yatay denge}$$

$$A'_s = A_{s2} \frac{f_{yd}}{\sigma'_s} \quad \text{Basınç donatısı}$$

Sonuç:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad \text{Kesit çekme donatısı}$$

$$A'_s = A_{s2} \frac{f_{yd}}{\sigma'_s} \quad \text{Kesit basınç donatısı}$$

¹Bilindiği gibi, süneklik için, çekme donatısı oranı $0.85\rho_b$ ve 0.02 sınırlarını aşmamalıdır. Bu sınırlara yakın donatılan kirişler sünek olmakta fakat aşırı sehim yapmaktadır. Araştırma ve gözlemlere göre, aşırı sehim olmaması için, donatı oranı $\rho_1 \leq 0.235f_{cd}/f_{yd}$ ile verilen sınırı aşmamalıdır. Bu sınır üstünde donatılan kirişlerde sehim hesabı gerekir. Betonarmede sehim hesabı hem zahmetli hem de güvenilir değildir. Çünkü sehim hesabı için betonun elastisite modülü E_c kullanılmak zorundadır. E_c çok değişken olduğundan, sehim hesabı yapılırsa dahi, gerçek sehim hesaplanın 3-4 katı daha fazla olabilir. Bu nedenle Donatı oranını $\rho_1 \leq 0.235f_{cd}/f_{yd}$ ile sınırlayarak ve TS 500:2000 Madde 13.2 deki kiriş yükseklik/açıklık oranlarına uyarak sehim hesabı yapılmayabilir.

Hesap sırası:

$$1. M_1 = 0.235f_{cd}d^2(1 - \frac{0.1175}{k_3})$$

2. $M_1 \geq M_d$ ise, tek donatılı:

$$K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

Sonuç:

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} ab_w$$

$$A'_s = 0$$

3. $M_1 < M_d$ ise, çift donatılı:

$$A_{s1} = 0.235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d$$

$$M_2 = M_d - M_1$$

$$M_2 = A_{s2} f_{yd} (d - d')$$

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

$$\varepsilon'_s = 0.003(1 - \frac{k_1 k_3 d'}{0.235 d})$$

$$\sigma'_s = E_s \varepsilon'_s$$

$$\sigma'_s \geq f_{yd} \text{ ise akmış, } \sigma'_s = f_{yd} \text{ al}$$

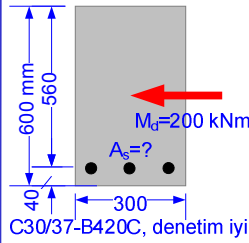
$$A_{s2} f_{yd} = A'_s \sigma'_s$$

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

Sonuç:

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

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



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanını hesaplayınız.

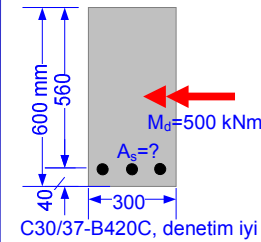
HAZIRLIK:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, k_1=0.82, k_3=0.85$$

$$f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, \rho_b=0.0237$$

$$\text{Min } \rho=0.8 \cdot 1.28/365.22=0.0028, \text{ Max } \rho=0.02$$

$$\text{Max } (\rho - \rho')=0.85 - 0.0237=0.0201$$



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanı hesaplayınız.

HAZIRLIK: yukarıdaki örnekteki gibi

ÇÖZÜM:

$$M_1=0.235 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 560^2 (1 - 0.1175/0.85)=381 \text{ kNm}$$

$M_1 < M_d$ olduğundan kesit $M_d=500 \text{ kNm}$ momenti tek donatılı olarak taşımaz,

kesit büyütülmeli veya çift donatılı yapılmalı.

Çift donatılı çözüm:

$$A_{s1}=0.235 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 560/365.22=2162 \text{ mm}^2$$

$$M_2=500-381=119 \text{ kNm}$$

$$A_{s2}=119 \cdot 10^6/365.22/(560-40)=627 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon'_s=0.003(1 - 0.82 \cdot 0.85 \cdot 40/0.235/560)=0.0024$$

$$\sigma'_s=2 \cdot 10^5 \cdot 0.0024=480 \text{ N/mm}^2 > f_{yd}, \text{ Akmış} \rightarrow \sigma'_s=365.22 \text{ N/mm}^2 \text{ alınacak.}$$

$$A_s=2162+627=2789 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=627 \cdot 365.22/365.22=627 \text{ mm}^2$$

Seç.: 4 ϕ 24 (1810 mm²) alt-1.sıra çekme donatısı

4 ϕ 18 (1018 mm²) alt-2.sıra çekme donatısı

3 ϕ 18(763 mm²) üst-basınç donatısı

$$\rho=(1810+1018)/300/560=0.0117$$

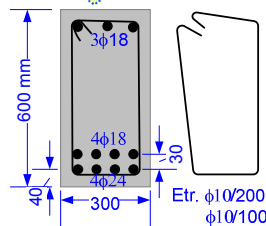
$$\rho'=763/300/560=0.0070$$

$$\rho - \rho'=0.0117 - 0.0070=0.0047$$

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

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

Çubuklar 300 mm ye sığmıyor, çift sıra donatılı yapıldı



ÇÖZÜM:

$$M_1=0.235 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 560^2 (1 - 0.1175/0.85)=381 \text{ kNm}$$

$M_1 > M_d$ olduğundan kesit $M_d=200 \text{ kNm}$ momenti tek donatılı olarak taşır:

$$K=2 \cdot 200 \cdot 10^6/0.85 \cdot 20/300/560^2=0.25$$

$$a=560(1 - \sqrt{1 - 0.25})=75 \text{ mm}$$

$$A_s=0.85 \cdot 20 \cdot 75 \cdot 300/365.22=1047 \text{ mm}^2$$

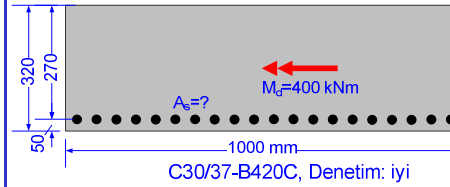
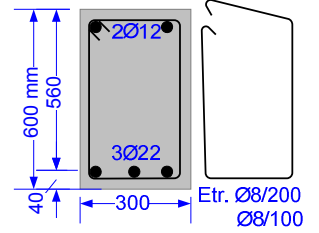
$$\text{Seç.: } 3\phi 22 (1140 \text{ mm}^2) \text{ alt } \rho=1140/300/560=0.0068$$

$$2\phi 12 (226 \text{ mm}^2) \text{ üst } \rho'=226/300/560=0.0013$$

$$\rho - \rho'=0.0068 - 0.0013=0.0055$$

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

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



ÖRNEK:

Soldaki kesitin sehim hesabı gerektirmeyecek A_s donatı alanı hesaplayınız.

HAZIRLIK: yukarıdaki örnekteki gibi

ÇÖZÜM:

$$M_1=0.2025 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 270^2=295.2 \text{ kNm}$$

$M_1 < M_d$ olduğundan kesit $M_d=400 \text{ kNm}$ momenti tek donatılı olarak taşımaz, kesit büyütülmeli veya çift donatılı yapılmalı.

Çift donatılı çözüm:

$$A_{s1}=0.235 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 270/365.22=3475 \text{ mm}^2$$

$$M_2=400-295.2=104.8 \text{ kNm}$$

$$A_{s2}=104.8 \cdot 10^6/365.22/(270-50)=1304 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon'_s=0.003(1 - 0.82 \cdot 0.85 \cdot 50/0.235/270)=0.0014$$

$$\sigma'_s=2 \cdot 10^5 \cdot 0.0014=280 \text{ N/mm}^2 < f_{yd}, \text{ Akmamış, } \sigma'_s=280 \text{ N/mm}^2 \text{ alınacak}$$

$$A_s=3475+1304=4779 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=1304 \cdot 365.22/280=1700 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seç.: } 13\phi 22 (4942 \text{ mm}^2) \text{ alt}$$

$$7\phi 18 (1781 \text{ mm}^2) \text{ üst}$$

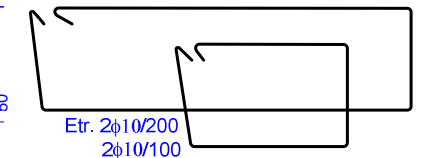
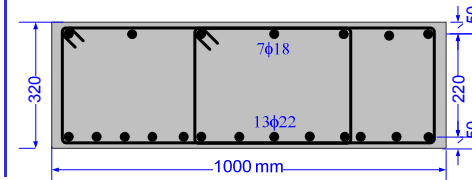
$$\rho=4942/1000/270=0.0183$$

$$\rho'=1781/1000/270=0.0066$$

$$\rho - \rho'=0.0183 - 0.0066=0.0117$$

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

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



VERİLENLER:

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

İSTENEN:

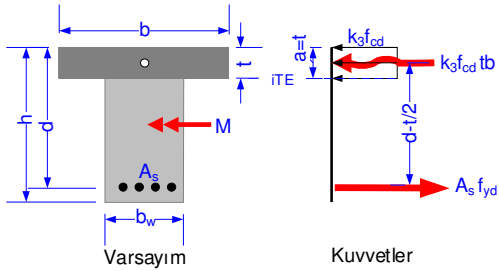
Verilen momentin güvenle taşınabilmesi için A_s ne olmalıdır?

ÇÖZÜM:

Yapılacak çözüm şu koşulları sağlamalı:

- 1.Kiriş denge altı donatılmalı: $\varepsilon_s > \varepsilon_{sd}$, $\sigma_s = f_{yd}$
- 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: $\text{Min } \rho \leq \rho \leq \text{Max } \rho$

M_d momentinin oluşturduğu basınç alanının derinliği $a \leq t$ veya $a > t$ olabilir. Önce hangi durumun söz konusu olduğunu belirlemeliyiz. $a=t$ varsayalım.

 $a=t$ olsun(varsayım):

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi $a=t$ durumunda moment

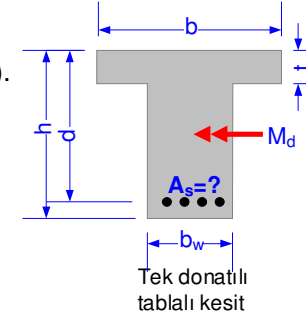
$$M = k_3 f_{cd} t b (d - t/2)$$

Tabla betonunun taşıyabileceği moment

olur.

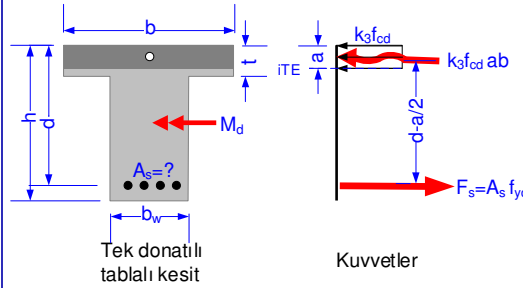
$M \geq M_d$ ise basınç alanı tabla içindedir, yani $a \leq t$ dir.

$M < M_d$ ise basınç alanı gövdeye sarkıyor, yani $a > t$ dir.



Uygulamada çoğunlukla bu durum ile karşılaşılır

Uygulamada bu durum ile nadiren (küçük tablalı kesitlerde) karşılaşılır

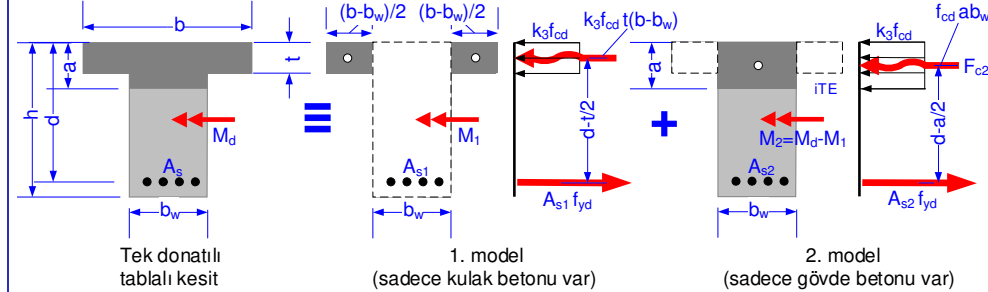
 $M \geq M_d$ durumunda A_s nin hesabı:

Basınç alanı dikdörtgen olduğu için, genişliği b , faydalı yüksekliği d olan tek donatılı dikdörtgen kesit formülleri geçerlidir:

$$K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b d^2}$$

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b$$

 $M < M_d$ durumunda A_s nin hesabı:

Kesit 1. ve 2. modellerinin toplamına özdeştir: $M_d = M_1 + M_2$ ve $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ dir. O halde A_{s1} ve A_{s2} alanlarını bulmalıyız.

1. modelde:

$$M_1 = k_3 f_{cd} t (b - b_w) (d - t/2)$$

$$A_{s1} = k_3 f_{cd} t (b - b_w) / f_{yd}$$

2. modelde:

$$M_2 = M_d - M_1$$

Basınç alanı dikdörtgen olduğu için, genişliği b_w , faydalı yüksekliği d olan tek donatılı dikdörtgen kesit formülleri geçerlidir:

$$K = \frac{2M_2}{k_3 f_{cd} b_w d^2}$$

$$a = d(1 - \sqrt{1 - K})$$

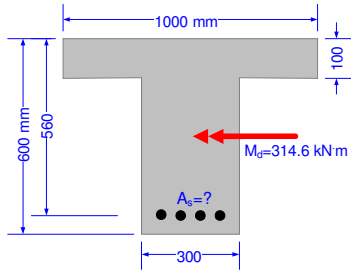
$$A_{s2} = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

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

Aşağıda kesiti verilen kirişin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz.

Malzeme: C30/37-B420C, Denetim: iyi.

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

**HAZIRLIK:**

$$f_{cd}=20.0 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_3=0.85$$

$$\text{Min } \rho=0.8 \cdot 1.28/365.22=0.0028, \text{ Max } \rho=0.02$$

Kesit tablalı ve $b/b_w > 2$ olduğundan $\rho \leq 0.85\rho_b$ kontrolü gerekmez.

ÇÖZÜM:

Basınç alanı tabla içinde mi? Belirle:

$a=t=100$ mm varsayalım! Tablanın karşıladığı moment:

$$M=0.85 \cdot 20 \cdot 100 \cdot 1000(560-100/2)=867 \cdot 10^6 \text{ Nmm}=867 \text{ kNm} \quad \left[M=k_3 f_{cd} t b (d-t/2) \right]$$

$M=867 \text{ kNm} > M_d=314.6 \text{ kNm}$ olduğundan basınç alanı tabla içindedir, yani $a < t=100$ mm dir. A_s nin hesabı için genişliği $b=1000$ mm, faydalı yüksekliği $d=560$ mm olan dikdörtgen kesit bağıntıları geçerlidir.

$$K=2 \cdot 314.6 \cdot 10^6 / 0.85 \cdot 20 / 1000 / 560^2 = 0.118$$

$$K = \frac{2M_d}{k_3 f_{cd} b d^2}$$

$$a = 560(1 - \sqrt{1 - 0.118}) = 34.1 \text{ mm} \quad \left[a = d(1 - \sqrt{1 - K}) \right]$$

$$A_s = 0.85 \cdot 20 \cdot 34.1 \cdot 1000 / 365.22 = 1587 \text{ mm}^2$$

$$A_s = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} ab$$

Seçilen: $5\phi 20(1571 \text{ mm}^2)$ alt

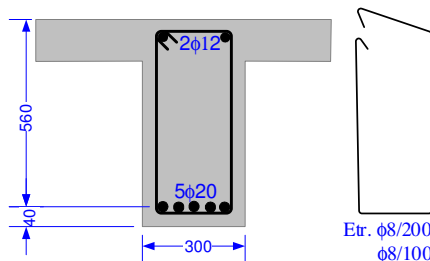
Montaj: $2\phi 12(226 \text{ mm}^2)$ üst konstrüktif

Etr.: $\phi 8/200$ ve $\phi 8/100$ konstrüktif

Kontrol:

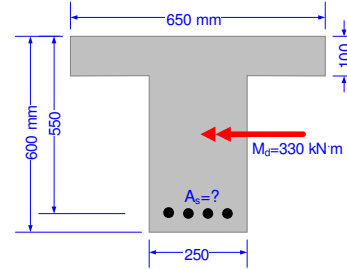
$$\rho = 1571 / (300 \cdot 560) = 0.0094$$

$$\text{Min } \rho < \rho < \text{Max } \rho = 0.0028 \quad \checkmark$$



Aşağıda kesiti verilen kirişin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz. Malzeme: C16/20-S420, denetim: iyi.

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

**HAZIRLIK:**

$$f_{cd}=10.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=0.93 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_3=0.85$$

$$\text{Min } \rho=0.8 \cdot 0.93/365.22=0.0020, \text{ Max } \rho=0.02$$

Kesit tablalı ve $b/b_w > 2$ olduğundan $\rho \leq 0.85\rho_b$ kontrolü gerekmez.

ÇÖZÜM:

Basınç alanı tabla içinde mi? Belirle:

$a=t=100$ mm varsayalım! Tablanın karşıladığı moment:

$$M=0.85 \cdot 10.67 \cdot 100 \cdot 650(550-100/2)=294758750 \text{ Nmm}=295 \text{ kNm}$$

$M=295 \text{ kNm} < M_d=330 \text{ kNm}$ olduğundan basınç alanı tabla altına sarkıyor, yani $a > t=100$ mm dir. A_s nin hesabı bir önceki sayfada verilen 1. ve 2. model bağıntıları ile yapılacaktır.

1. modelde:

$$M_1 = 0.85 \cdot 10.67 \cdot 100(650-250)(550-100/2)=181390000 \text{ Nmm}=181.4 \text{ kNm} \quad \left[\text{Tabla kulaklarının karşıladığı moment} \right]$$

$$A_{s1} = 0.85 \cdot 10.67 \cdot 100(650-250)/365.22=993 \text{ mm}^2$$

2. modelde:

$$M_2 = 330 - 181.4 = 148.6 \text{ kNm} \quad \left[\text{Gövdenin karşılaması gereken moment} \right]$$

$$K = 2 \cdot 148.6 \cdot 10^6 / 0.85 \cdot 10.67 / 250 / 550^2 = 0.433$$

$$a = 550(1 - \sqrt{1 - 0.433}) = 135.9 \text{ mm} \quad \left[\text{Basınç bloğu derinliği} \right]$$

$$A_{s2} = 0.85 \cdot 10.67 \cdot 135.9 \cdot 250 / 365.22 = 844 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 993 + 844 = 1837 \text{ mm}^2 \quad \left[M_d=330 \text{ kNm momentini karşılamak için gerekli toplam donatı} \right]$$

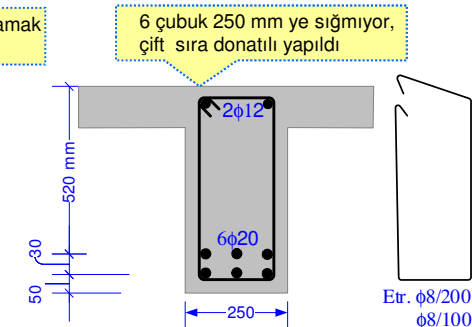
Seçilen: $6\phi 20(1885 \text{ mm}^2)$ alt

Montaj: $2\phi 12(226 \text{ mm}^2)$ üst konstrüktif

Etr.: $\phi 8/200$ ve $\phi 8/100$ konstrüktif

$$\rho = 1885 / (250 \cdot 550) = 0.014$$

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

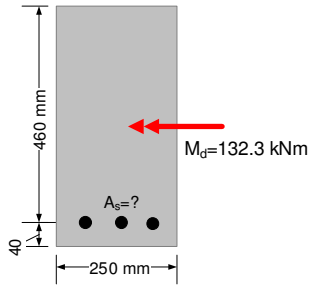


Tek donatılı dikdörtgen kiriş donatı hesabı - Tablolar ile çözüm

Önceki sayfalarda verilen analitik çözümler konunun anlaşılması açısından önemli olmakla beraber, uygulamada karşılaşılabilecek yüzlerce kesitin donatı alanının hesabı açısından yorucudur. Uygulamada hızlı hesap ön plana çıkar. EKLER bölümünde verilen

- EK7A tablosu: tek donatılı dikdörtgen kesit (malzeme bağımsız)
- EK7B tabloları: tek donatılı dikdörtgen kesit(S420, B420 çelikleri için, malzeme bağımlı)
- EK7C tabloları: Çift donatılı dikdörtgen kesit(S420, B420 çelikleri için ,malzeme bağımlı)
- EK7D tabloları: tek donatılı dikdörtgen kesit(B500 çelikleri için, malzeme bağımlı)
- EK7E tabloları: Çift donatılı dikdörtgen kesit(B500 çelikleri için ,malzeme bağımlı)
- EK8A tabloları tek donatılı tablalı kesit(malzeme bağımsız)
- EK8B tabloları tek donatılı tablalı kesit(malzeme bağımsız)

veya herhangi bir betonarme kitabında verilen benzer tablolar bu amaca yönelik olarak kullanılabilir. Her yazarın tabloları farklı düzenlenmiş olabilir. Farklı gerilme bloğu modeli, farklı varsayımlar, farklı formüller, farklı yuvarlamalar ve tablodan okuma hataları nedeniyle tablodan-tabloya farklı sonuç alınır. Ancak fark kabul edilebilir düzeydedir. Örnek olmak üzere , tek donatılı dikdörtgen, çift donatılı dikdörtgen ve tek donatılı tablalı kesitin donatı alanı farklı yazarların tabloları ile hesaplanacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Hesaplarda yazarların özgün notasyon ve birimleri kullanılmıştır.



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanı analitik ve farklı tablolar ile hesaplanacaktır.

HAZIRLIK:

$f_{cd}=16.67 \text{ N/mm}^2$, $f_{ctd}=1.17 \text{ N/mm}^2$, $f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$, $k_3=0.85$, $\rho_b=0.0205$
 Min $\rho=0.8 \cdot 1.17/365.22=0.0026$, Max $\rho=0.02$
 Max $(\rho-\rho')=0.85 \cdot 0.0205=0.0174$

C25/30-B420C, denetim: iyi

ERSOY¹ Çizelge B-5 ile çözüm:

$K=250 \cdot 460^2 / (132.3 \cdot 10^3) = 400 \text{ mm}^2/\text{kN} \rightarrow j=0.904$
 $A_s=132.3 \cdot 210^6 / 365.22 / 0.904 / 460 = 871 \text{ mm}^2$

CELEP² A8 tablosu ile çözüm:

$k_d=46 / \sqrt{132.3/0.25} = 2 \rightarrow k_s=2.99$
 $A_s=2.99 \cdot 132.3 / 46 = 8.6 \text{ cm}^2 = 860 \text{ mm}^2$

AYDIN³ tabloları ile çözüm:

$K_h=460 \sqrt{(250/132.3)/100} = 6.32 \rightarrow k_s=0.300$
 $A_s=10^4 \cdot 0.300 \cdot 132.3 / 460 = 863 \text{ mm}^2$

BERKTAY⁴ tabloları ile çözüm:

$K=25 \cdot 46^2 / 13230 = 4 \text{ cm}^2/\text{kN} \rightarrow \rho=0.0076$
 $A_s=0.0076 \cdot 250 \cdot 460 = 874 \text{ mm}^2$

ANALİTİK çözüm:

$K=2 \cdot 132.3 \cdot 10^6 / 0.85 / 16.67 / 250 / 460^2 = 0.354$
 $a=460(1-\sqrt{1-0.354})=90.3 \text{ mm}$
 $A_s=0.85 \cdot 16.67 \cdot 90.3 \cdot 250 / 365.22 = 876 \text{ mm}^2$

KUYUCULAR⁵ tabloları ile çözüm:

$K_m=132.3 \cdot 10^6 / 250 / 460^2 = 2.5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \omega=0.163$
 $A_s=0.163 \cdot 250 \cdot 460 \cdot 16.67 / 365.22 = 856 \text{ mm}^2$

TOPÇU⁶ EK7B tabloları ile çözüm:

$K=10 \cdot 132.3 \cdot 10^6 / 250 / 460^2 = 25 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \omega=76$
 $A_s=76 \cdot 250 \cdot 460 / 10^4 = 874 \text{ mm}^2$

	Analitik	ERSOY ¹	CELEP ²	AYDIN ³	BERKTAY ⁴	KUYUCULAR ⁵	TOPÇU ⁶
Basınç bloğu	Dikdörtgen	Dikdörtgen	Parabolik	Parabolik	Dikdörtgen	Dikdörtgen	Dikdörtgen
A_s (mm²)	876	871	860	863	874	856	874
Fark	0	-5	-16	-13	-2	-20	-2
Seçilen	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)
ρ	0.0082	0.0082	0.0082	0.0082	0.0082	0.0082	0.0082

Analitik çözüme göre fark

Çizelgeden görüldüğü gibi, tablolar arası fark önemsenmeyecek kadar azdır. Neticede konulan çubuk sayısı, çapı ve donatı oranı aynıdır.

¹ ERSOY, U, ÖZCEBE, G. Betonarme, 2012

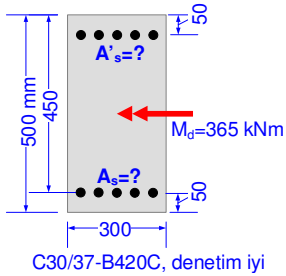
² CELEP, Z. Betonarme yapılar, 2009

³ AYDIN, M. R. Betonarme hesap tabloları, 2002

⁴ BERKTAY, Betonarme I-Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları, 2003

⁵ KUYUCULAR, A. Betonarme yapılar, 1998

⁶ TOPÇU, A. Bak: EK7B



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s ve A'_s donatı alanı farklı tablolar ile hesaplanacaktır.

HAZIRLIK:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, \rho_b=0.0237$$

$$\text{Min } \rho=0.8 \cdot 1.28/365.22=0.0028, \text{ Max } \rho=0.02$$

$$\text{Max } (\rho-\rho')=0.85-0.0237=0.0201$$

$$d'/d=50/450 \approx 0.10$$

ERSOY¹ çizelge 7 ile çözüm

$$Kf_{cd}=30 \cdot 45^2 \cdot 0.2/3650=3.33$$

$$\Psi=0.1, \Psi'=0.012$$

$$A_s=0.1 \cdot 30 \cdot 45 \cdot 0.2=27 \text{ cm}^2$$

$$A'_s=0.012 \cdot 30 \cdot 45 \cdot 0.2=324 \text{ cm}^2$$

CELEP A7 tablosu ile çözüm:

$$m_{sd}=365 \cdot 10^6/300/460^2/0.85/20=0.35$$

$$\rho_m=0.403, \rho'_m=0.126$$

$$A_s=0.403 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.85/20/365.22=2532 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=0.126 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.85/20/365.22=792 \text{ mm}^2$$

CELEP A8 tablosu ile çözüm:

$$k_d=45/\sqrt{(365/0.3)}=1.30$$

$$k_s=3.45, \rho_m=1, k'_s=0.20, \rho'_m=1.03$$

$$A_s=3.45 \cdot 1 \cdot 365/45=27.98 \text{ cm}^2$$

$$A'_s=0.20 \cdot 1.03 \cdot 365/45=1.62 \text{ cm}^2$$

AYDIN tablosu ile çözüm:

$$k_h=450/\sqrt{(300/365)/100}=4.08$$

$$k_s=0.33, \rho=1, k_{s1}=0.02, \rho_1=1.05$$

$$A_s=10^4 \cdot 0.33 \cdot 1 \cdot 365/450=2677 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=10^4 \cdot 0.02 \cdot 1.05 \cdot 365/450=170 \text{ mm}^2$$

KUYUCULAR tablosu ile çözüm:

$$k_m=365 \cdot 10^6/300/450^2/20=0.30$$

$$k_s=913, k'_s=483$$

$$A_s=913 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 450/10^6=2465 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=483 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 450/10^6=1304 \text{ mm}^2$$

TOPÇU EK7C tablosu ile çözüm:

$$K=10 \cdot 365 \cdot 10^6/300/450^2=60 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega=188, \omega'=61$$

$$A_s=0.0188 \cdot 300 \cdot 450=2538 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=0.0061 \cdot 300 \cdot 450=824 \text{ mm}^2$$

	Ersoy ¹	CELEP-A7	CELEP-A8	AYDIN	KUYUCULAR	TOPÇU-EK7C
Basınç bloğu	Dikdörtgen	Parabolik	Parabolik	Parabolik	Dikdörtgen	Dikdörtgen
A_s (mm²)	2700	2532	2798	2677	2465	2538
A'_s (mm²)	324	792	162	170	1304	824
ρ	0.02	0.0188	0.0207	0.0198	0.0183	0.0188
ρ'	0.0024	0.0059	0.0012	0.0013	0.0097	0.0061
ρ-ρ'	0.0176	0.0129	0.0195	0.0185	0.0086	0.0127
M_r (kNm)	364	362	366	355	364	364

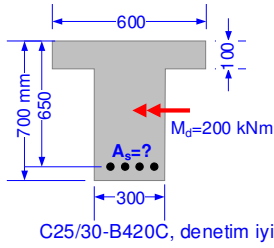
Hesaplanan A_s ve A'_s ile kesitin moment taşıma gücü

Çözümlerin yorumlanması: Yukarıdaki çizelgeden görüldüğü gibi, farklı tablolar ile çok farklı donatı alanı ve oranı hesaplanmıştır. Konulacak çubuk sayısı ve çapı da çok farklı olacaktır. İlk bakışta şaşırtıcı olan bu sonuçlar doğrudur. Çünkü, kesit hangi çözüme göre donatılırsa donatılınsın, moment taşıma gücü $M_r \approx 365 \text{ kNm}$ olmaktadır.

Çözümlerin farklı olmasının nedeni: M_d momentini tek donatılı kesit taşıyorsa, yani $\rho > 0.02$ veya $\rho > 0.85\rho_b$ olursa, ya kesit büyütülür yada çift donatılı kesite geçilir. Tablo hazırlayanlar ρ nun bu üst sınırlarını biraz aşağı çekmiş olabilirler. Genellikle $0.50\rho_b < \rho < 0.85\rho_b$ aralığında seçilir. İşte hangi ρ değerinde çift kesite geçildiğine bağlı olarak A_s ve A'_s alanları farklı çıkar. **EK7C tablosunda çift donatıya geçiş sınırı $\rho=\rho'=0.235f_{cd}/f_{yd}$ alınmıştır.**

¹ Ersoy, U., v.d., Taşıma gücü el kitabı, 1980

Tek donatılı tablalı kiriş donatı hesabı - Tablolar ile çözüm



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanı analitik ve farklı tablolar ile hesaplanacaktır.

HAZIRLIK:

$f_{cd}=16.67 \text{ N/mm}^2$, $f_{ctd}=1.2 \text{ N/mm}^2$, $f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$
 $k_3=0.85$
 Min $\rho=0.8 \cdot 1.2/365.22=0.0026$, Max $\rho=0.02$

ANALİTİK çözüm:

$$M=0.85 \cdot 16.67 \cdot 100 \cdot 600(650-100/2)=510 \text{ kNm}$$

Tabla betonunun karşılayabildiği moment

$M > M_d = 200$, yani basınç bloğu tabla içindedir

$$K=2 \cdot 200 \cdot 10^6 / 0.85 / 16.67 / 600 / 650^2 = 0.111$$

$$a=650(1-\sqrt{1-0.111})=37.1 \text{ mm}$$

$$A_s=0.85 \cdot 16.67 \cdot 37.1 \cdot 600 / 365.22 = 864 \text{ mm}^2$$

ERSOY tabloları ile çözüm:

$$Kf_{cd}=600 \cdot 650^2 \cdot 16.67 / (200 \cdot 10^6) = 21.1$$

$$b/b_w=600/300=2 \rightarrow 4 \text{ (en yakın tablo)}, t/d=100/650=0.15 \rightarrow j=0.971$$

$$A_s=200 \cdot 10^6 / 365.22 / 0.971 / 650 = 868 \text{ mm}^2$$

CELEP A9 tabloları ile çözüm:

$$m_r=200 \cdot 10^6 / 0.85 / 16.67 / 600 / 650^2 = 0.06$$

$$h_f/d=100/650=0.15, b_w/b=300/600=0.5 \rightarrow \omega=627$$

$$A_s=0.85 \cdot 0.0627 \cdot 16.67 \cdot 600 \cdot 650 / 365.22 = 948 \text{ mm}^2$$

AYDIN tabloları ile çözüm:

$$m=200 \cdot 10^6 / 600 / 650^2 / 16.67 = 0.047, h_f/d=100/650=0.15$$

$$b/b_0=600/300=2 \rightarrow \omega=0.050$$

$$A_s=0.050 \cdot 16.67 \cdot 600 \cdot 650 / 365.22 = 890 \text{ mm}^2$$

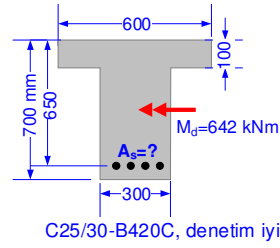
TOPÇU EK8A tabloları ile çözüm:

$$K=1000 \cdot 200 \cdot 10^6 / 16.67 / 600 / 650^2 = 47, t/d=100/650=0.15$$

$$b/b_w=600/300=2 \rightarrow \omega=484$$

$$A_s=484 \cdot 16.67 \cdot 600 \cdot 650 / 10^4 / 365.22 = 862 \text{ mm}^2$$

	Analitik	ERSOY	CELEP	AYDIN	TOPÇU
Basınç bloğu	Dikdörtgen	Dikdörtgen	Parabol	Parabol	Dikdörtgen
A_s (mm ²)	864	868	948	890	862
Fark	0	+4	+84	26	-2
Seçilen	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)	3φ20(942 mm ²)
ρ	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanı analitik ve farklı tablolar ile hesaplanacaktır.

HAZIRLIK:

$f_{cd}=16.67 \text{ N/mm}^2$, $f_{ctd}=1.2 \text{ N/mm}^2$, $f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$
 $k_3=0.85$
 Min $\rho=0.8 \cdot 1.2/365.22=0.0026$, Max $\rho=0.02$

ANALİTİK çözüm:

$$M=0.85 \cdot 16.67 \cdot 100 \cdot 600(650-100/2)=510 \text{ kNm}$$

Tabla betonunun karşılayabildiği moment

$M < M_d = 642$, yani basınç bloğu gövdeye sarkıyor

$$M_1=0.85 \cdot 16.67 \cdot 100(600-300)(650-100/2)=255051000 \text{ N}=255.1 \text{ kN}$$

Kulakların karşıladığı moment

$$A_{s1}=0.85 \cdot 16.67 \cdot 100(600-300) / 365.22 = 1164 \text{ mm}^2$$

M_1 momenti için gerekli donatı

$$M_2=642-255.1=386.9 \text{ kNm}$$

Gövde betonunun karşılaması gereken moment

$$K=2 \cdot 386.9 \cdot 10^6 / 0.85 / 16.67 / 300 / 650^2 = 0.431$$

$$a=650(1-\sqrt{1-0.431})=159.7 \text{ mm}$$

$$A_{s2}=0.85 \cdot 16.67 \cdot 159.7 \cdot 300 / 365.22 = 1859 \text{ mm}^2$$

M_2 momenti için gerekli donatı

$$A_s=1164+1859=3023 \text{ mm}^2$$

$M_d=642 \text{ kNm}$ momenti için gerekli donatı

ERSOY tabloları ile çözüm:

$$Kf_{cd}=600 \cdot 650^2 \cdot 16.67 / (642 \cdot 10^6) = 6.6$$

$$b/b_w=600/300=2 \rightarrow 4 \text{ (en yakın tablo)}, t/d=100/650=0.15 \rightarrow j \approx 0.866$$

$$A_s=642 \cdot 10^6 / 365.22 / 0.866 / 650 = 3123 \text{ mm}^2$$

CELEP tabloları ile çözüm:

$$m_r=642 \cdot 10^6 / 0.85 / 16.67 / 600 / 650^2 = 0.18$$

$$h_f/d=100/650=0.15, b_w/b=300/600=0.5 \rightarrow \omega=2028$$

$$A_s=0.85 \cdot 0.2028 \cdot 16.67 \cdot 600 \cdot 650 / 365.22 = 3068 \text{ mm}^2$$

AYDIN tabloları ile çözüm:

$$m=642 \cdot 10^6 / 600 / 650^2 / 16.67 = 0.152$$

$$h_f/d=100/650=0.15, b/b_0=600/300=2 \rightarrow \omega=0.172$$

$$A_s=0.172 \cdot 16.67 \cdot 600 \cdot 650 / 365.22 = 3062 \text{ mm}^2$$

TOPÇU EK8A tabloları ile çözüm:

$$K=1000 \cdot 642 \cdot 10^6 / 16.67 / 600 / 650^2 = 152$$

$$t/d=100/650=0.15, b/b_w=600/300=2 \rightarrow \omega=1700$$

$$A_s=1700 \cdot 16.67 \cdot 600 \cdot 650 / 10^4 / 365.22 = 3026 \text{ mm}^2$$

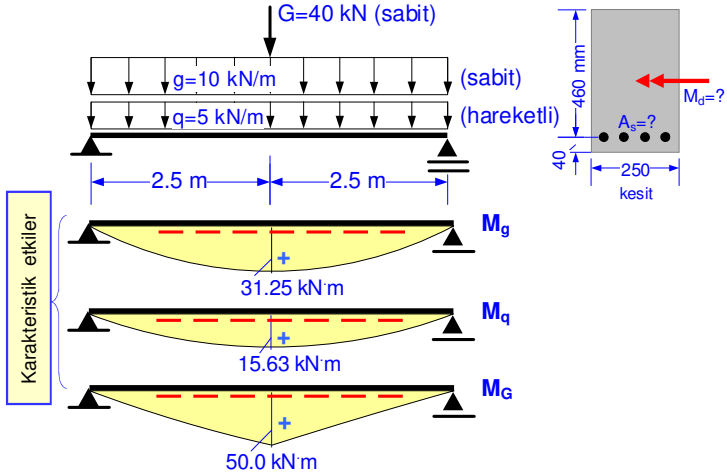
	Analitik	ERSOY	CELEP	AYDIN	TOPÇU
Basınç bloğu	Dikdörtgen	Dikdörtgen	Parabol	Parabol	Dikdörtgen
A_s (mm ²)	3023	3123	3068	3062	3026
Fark	0	+100	+45	+39	+3
Seçilen	8φ22(3041mm ²)	8φ22(3041mm ²)	8φ22(3041mm ²)	8φ22(3041mm ²)	8φ22(3041mm ²)
ρ	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156

Kesite sığmaz, çift sıra yapmak gerekir

ÖRNEK: Kiriş donatı hesabı - Tablolar ile çözüm

VERİLENLER: Kiriş ve kesit boyutları, karakteristik yükler ve malzeme: C30/37, B420C. 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:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, k_3=0.85, \rho_b=0.0237$$

$$\min \rho = 0.8 \cdot 1.27 / 365.22 = 0.0028, \max \rho = 0.02$$

$$\max (\rho - \rho') = 0.85 \rho_b = 0.0201$$

ÇÖZÜM:

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

Çözüm için bu örnekte EK7B tabloları kullanılmıştır.

EK7B tablosu ile:

$$K = 10 \cdot 138.8 \cdot 10^6 / 250 / 460^2 = 26.2 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \omega = 79$$

$$\rho = 79 / 10^4 = 0.0079$$

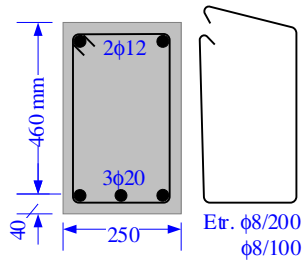
$$A_s = 0.0079 \cdot 250 \cdot 460 = 909 \text{ mm}^2$$

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

Montaj: $2\phi 12 (226 \text{ mm}^2)$ üst Konstrüktif

Etr.: $\phi 8/200$ konstrüktif

Tablodan alınan ω Min ρ -Max ρ arasında olduğundan donatı oranlarını kontrolle gerek yoktur.



Sağda açıklık kesiti verilen kirişin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz. Malzeme: C30/37-B420C, şantiye denetimi iyi.

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

HAZIRLIK:

$$f_{cd}=20.0 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, k_3=0.85$$

$$\min \rho = 0.8 \cdot 1.27 / 365.22 = 0.0028, \max \rho = 0.02$$

Kesit tablalı ve $b/b_w > 2$ olduğundan $\rho \leq 0.85 \rho_b$ kontrolü gerekmez.

ÇÖZÜM:

Çözüm için bu örnekte EK8A tabloları kullanılmıştır.

EK8A tablosu ile:

$$K = 1000 \cdot 314.6 \cdot 10^6 / 20 / 1000 / 560^2 = 50$$

$$t/d = 100 / 560 = 0.18 \approx 0.20 \text{ (en yakın tablo)}$$

$$b/b_w = 1000 / 300 = 3.3 \approx 3 \text{ (en yakın tablo)}$$

$$A_s = 516 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 560 / 10^4 / 365.22 = 1582 \text{ mm}^2$$

Seçilen $5\phi 20 (1571 \text{ mm}^2)$ alt

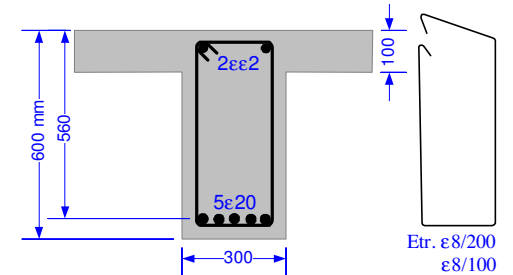
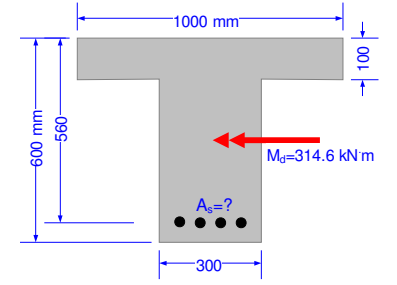
Montaj $2\phi 12 (226 \text{ mm}^2)$ üst konstrüktif

Etr.: $\phi 8/200$ konstrüktif

Kontrol:

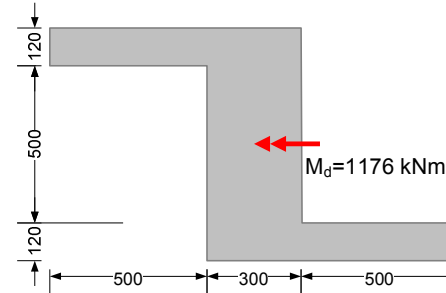
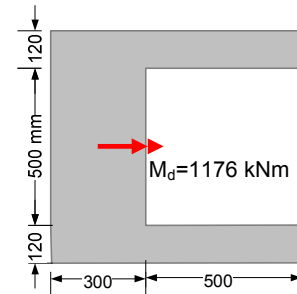
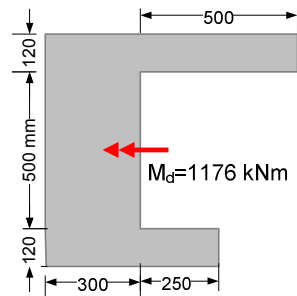
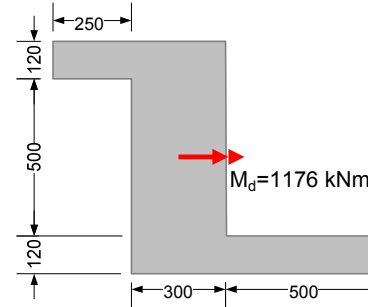
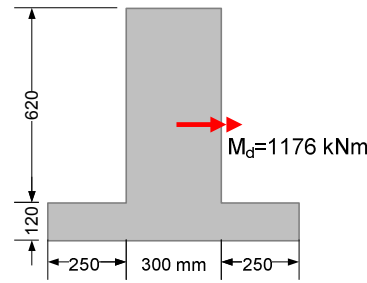
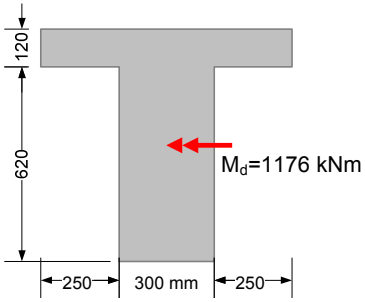
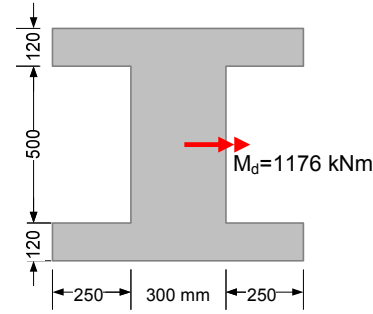
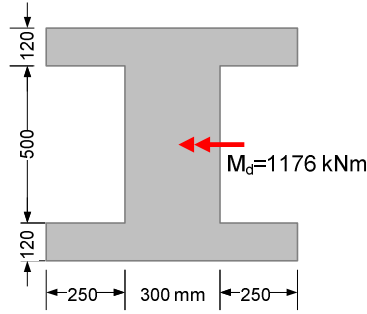
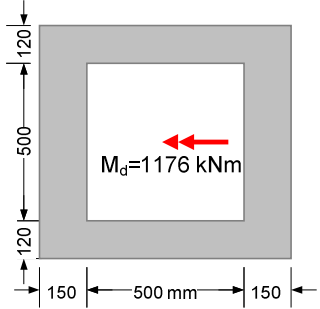
$$\rho = 1571 / 300 / 560 = 0.0094$$

Min $\rho < \rho < \max \rho$ ✓

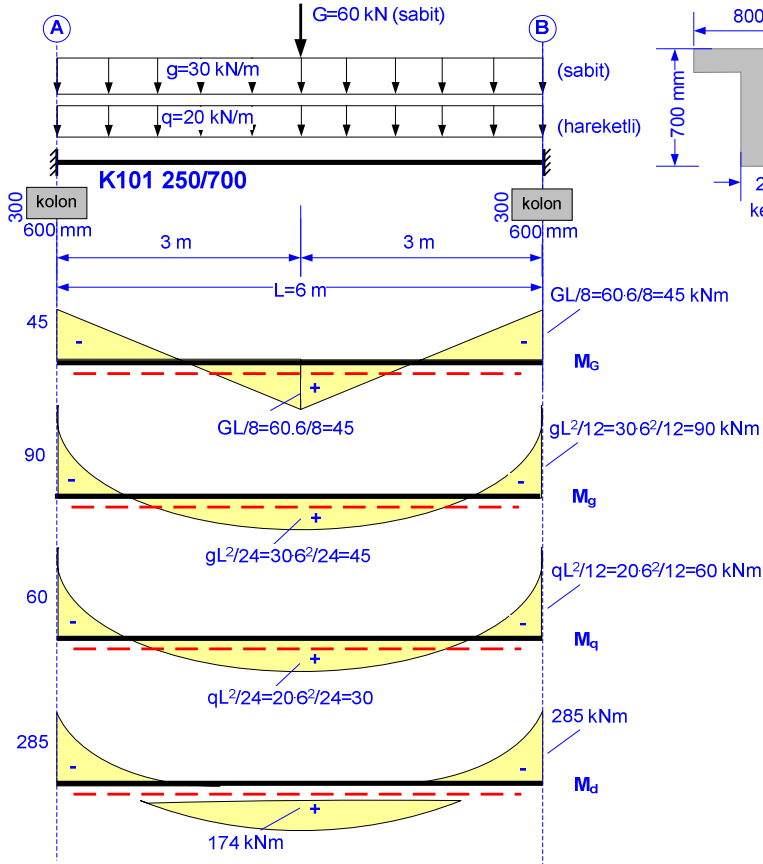


Aşağıda verilen kesitlerin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi gerekli olan donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çizin. Malzeme: C30/37-B420C, denetim: iyi, beton örtüsü: 40 mm. Çizim için yönetmeliklere uygun, konstrüktif montaj ve sargı donatısı kullanınız.

Öğrenci Çözecek!



ÖRNEK: Kiriş donatı hesabı ve çizimi



VERİLENLER:

İki ucu ankastre varsayılan soldaki K101 kirişi 300x600 mm kolonlara oturmaktadır.

Malzeme: C25/30-B420C, denetim: iyi, beton örtüsü : 50 mm

İSTENENLER:

Kirişin boyuna donatılarını belirleyiniz ve şantiyeye gidecek çizimi hazırlayınız.

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

ÇÖZÜM:

Yük etkileri: Hesaplanan M_G , M_g ve M_q yük etkileri solda verilmiştir

Tasarım momentleri:

Açıklıkta: $M_d = 1.4(45+45)+1.6 \cdot 30 = 174$ kNm

Mesnetlerde: $M_d = 1.4(-45-90)+1.6(-60) = -285$ kNm

BETONARME: Önce açıklık, sonra mesnet donatıları hesaplanır. Çünkü açıklıklardan mesnetlere donatı gelecektir. **Tabla açıklıkta basınç bölgesindedir, çalışır. Mesnetlerde çekme bölgesindedir, çalışmaz!**

HAZIRLIK:

Etkili (çalışan) tabla genişliği: Tabla genişliği $b=800$ mm olarak verilmiştir. Ancak tamamı çalışır mı? kontrol edilmesi gerekir.

$b \leq 250+12 \cdot 100 = 1450$ mm, $b \leq 250+0.2 \cdot 0.6 \cdot 5400 = 898$ mm $> b=800$ mm olduğundan tablanın tamamı çalışır, $b=800$ mm alınacaktır.

$$b \leq b_w + 12t$$

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

C25/30-B420C malzemesi için:

$f_{cd} = 16.67$ N/mm², $f_{ctd} = 1.2$ N/mm², $f_{yd} = 365.22$ N/mm², $\rho_b = 0.0205$

Min $\rho = 0.8 \cdot 1.2 / 365.22 = 0.0026$, Max $\rho = 0.02$

Bu iki koşul hem mesnette hem de açıklıklarda sağlanmalı

Max $(\rho - \rho') = 0.85 \rho_b = 0.85 \cdot 0.0205 = 0.0174$

$b > 2b_w$ olduğundan açıklıkta bu kontrol gerekmez. Mesnetlerde sağlanmalı.

Açıklık donatısı, EK8A tablosu ile:

$$K=1000 \cdot 174 \cdot 10^6 / 16.67 / 800 / 650^2 = 31$$

$$t/d = 100 / 650 = 0.15$$

$$b/b_w = 800 / 250 = 3.2 \approx 3$$

$$A_s = 0.0316 \cdot 16.67 \cdot 800 \cdot 650 / 365.22 = 750 \text{ mm}^2$$

Seçilen: 3φ18 (763 mm²) **alt**

Montaj : 3φ12 (339 mm²) **üst**¹

Kontrol:

$$\rho = 763 / 250 / 650 = 0.0047$$

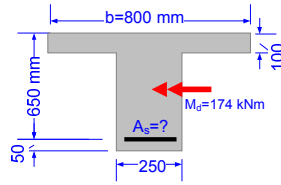
Min $\rho < \rho < \text{Max } \rho$ ✓

$$K = 1000 M_d / f_{cd} b / d^2$$

$$\omega = 316$$

$$A_s = \omega f_{cd} b d / 10^4 / f_{yd}$$

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



A ve B mesnedi donatısı, EK7B tablosu ile:

$$K = 10 \cdot 285 \cdot 10^6 / 250 / 650^2 = 27 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \omega = 83$$

$$A_s = 0.0083 \cdot 250 \cdot 650 = 1349 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ ek}} = 1349 - 339 = 1010 \text{ mm}^2$$

Seçilen ek: 4φ18 (1018 mm²) **üst**

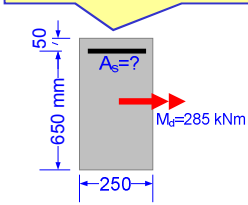
Kontrol:

$$A_{s \text{ Mesnet}} = 1018 + 339 = 1357 \text{ mm}^2$$

Mesnetler altta: 763 mm² > 1357/2 = 679 mm² ✓

Açıklık üstte: 339 mm² ≈ 1357/4 = 339.3 mm² ✓

Tabla çekme bölgesinde olduğundan çalışmaz, hesap için kesit dikdörtgen modellenenecektir



Tablodan alınan ω Min ρ -Max ρ arasında olduğundan donatı oranlarını kontrole gerek yoktur.

Mesnet momentinin gerektirdiği donatı alanı

Mevcut 3φ12 (339 mm²) düşülyor

Mesnet momentini karşılamak için konulan ek donatı.

Mesnetin üstündeki toplam donatı

Mesnet alt donatısı ≥ mesnet üst donatısı/2 olmalı

Montaj donatısı ≥ mesnet donatısı/4 olmalı

Gövde donatısı:

$h > 60$ cm olduğundan gövde donatısı gerekir.

$$A_{s \text{ gövde}} = 0.001 \cdot 250 \cdot 650 = 163 \text{ mm}^2$$

Seçilen: 2φ12 (226 mm²)

Sargı donatısı (etriye):

Etriye hesabı henüz bilinmediğinden yönetmeliklerin koşullarına göre konacaktır.

$$\rho_w = A_{sw} / s / b_w \geq \text{Min } \rho_w = 0.3 f_{ctd} / f_{yd}$$

$$A_{sw} / s / b_w \geq 0.3 \cdot 1.2 / 365.22 = 0.0010$$

φ8 çift kollu etriye kullanılırsa, $A_{sw} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ mm}^2$

$$100 / s / 250 = 0.0010 \rightarrow s = 400 \text{ mm} > 70 / 2 = 35 \text{ cm}$$

s = 20 cm seçilecek:

Etriye aralığı yüksekliğin yarısından fazla olamaz

20 cm den daha seyrek sargı kullanmayız

Etr. φ8/200 orta bölgede

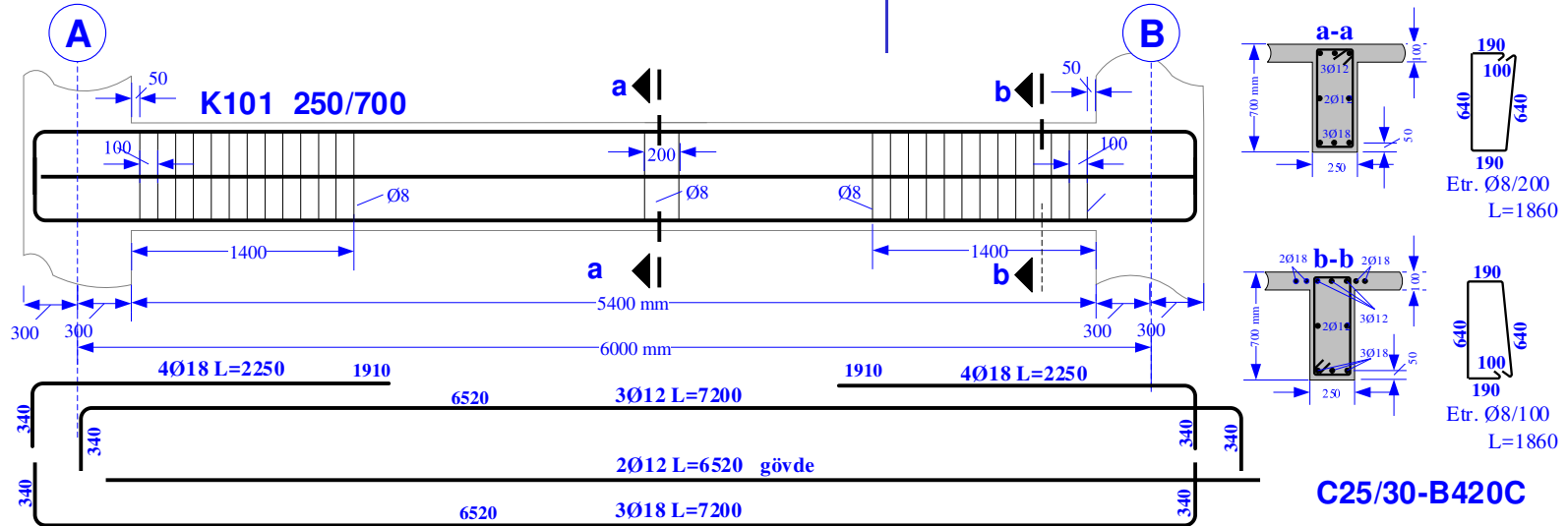
φ8/100 sarılma bölgelerinde

Karar

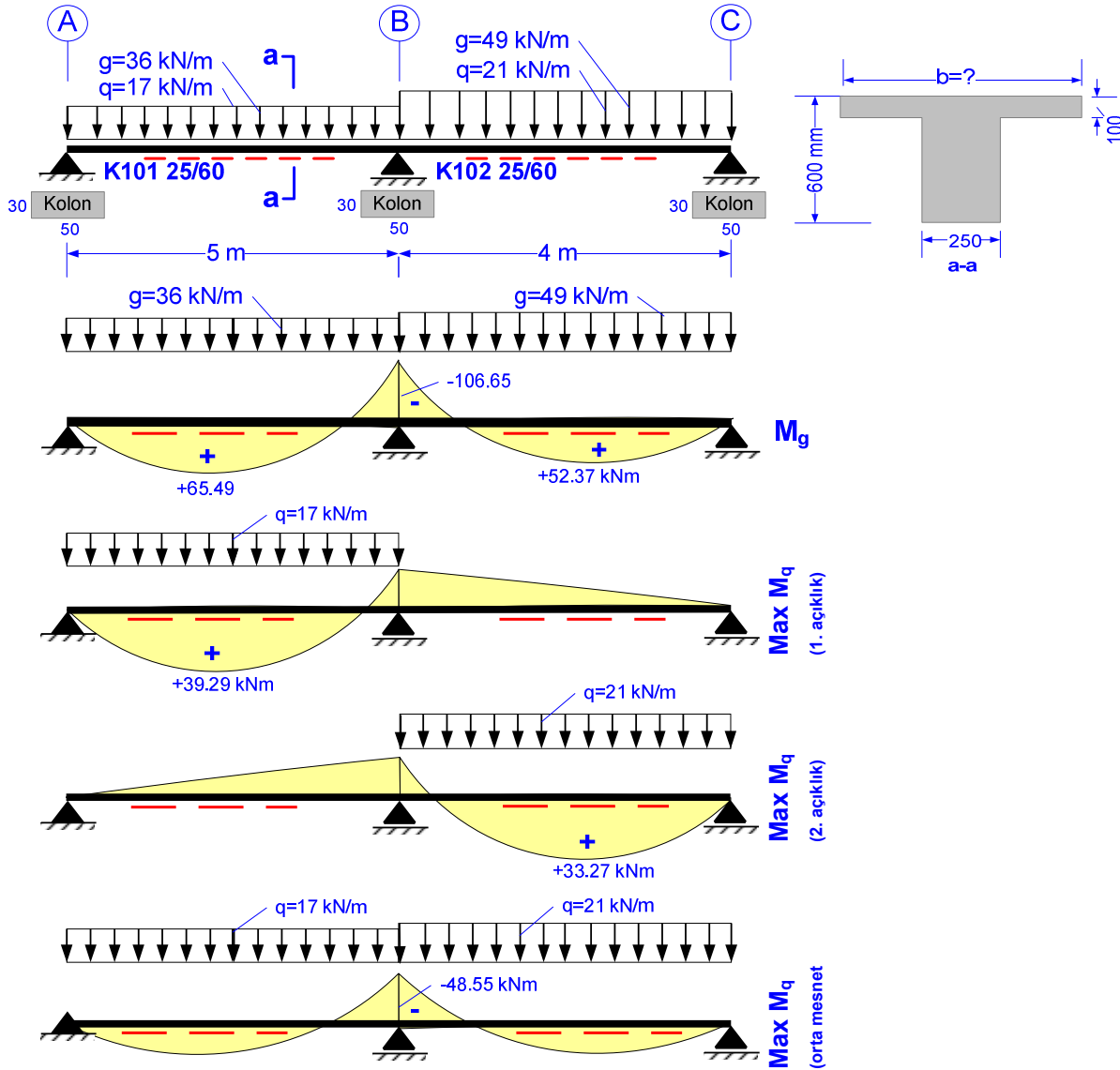
Çizim:

1/20 ölçekli boyuna ve en az bir enine kesit çizilir. Kenetlemeyi sağlamak için boyuna donatılar kenar mesnetlerde aşağı-yukarı bükülür. Boyuna donatıların ve etriyenin açılımı, üst-üste düşmeyecek şekilde, gösterilir.

Çizimin, gerçek projelerdeki gibi olmasına özen gösterilmiştir. Mesnet donatıları 250 mm gövde genişliğine sığmadığı için ek donatılar tablaya yerleştirilmiştir. Çizimde ölçüler mm cinsindedir.



1AÇIKLAMA: TBDY-2018 e göre montaj donatısı mesnet donatısının en az 1/4 ü olmalıdır (Bak: Kiriş sınır değerleri). Mesnette hesap henüz yapılmadığından donatısı belli değildir. Ancak iyi bir tahmin yapılabilir.: Açıklıkta 174 kN-m moment için 750 mm² donatı hesaplandı. Mesnette 285 kN-m moment için gerekli donatı, orantı ile, $A_{s \text{ Tahmin}} \approx 750 \cdot 285 / 174 = 1228 \text{ mm}^2$ den biraz daha fazla olacaktır, çünkü mesnette tabla çalışmamaktadır. Bu nedenle 1300 mm² ye yuvarlayarak montaj donatısını 1300/4 = 325 mm² tahmin edebiliriz. Bu ise 3φ12 (339 mm²) ye karşılık gelir. Bir diğer iyi tahmin de $A_{s \text{ Tahmin}} \approx M_d / (0.96 \cdot f_{yd} \cdot d)$ formülü ile yapılabilir: $A_{s \text{ Tahmin}} \approx 285 \cdot 10^6 / (0.96 \cdot 365.22 \cdot 650) = 1251 \text{ mm}^2$. Bu formül dikdörtgen ve tablalı kesitlerin hem açıklık hem de mesnet donatılarını hızlı fakat gerçeğe çok yakın tahmin etmek için her zaman kullanılabilir, fakat kesin hesap yerine kullanılamaz.



VERİLENLER:

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

g etkisi ve q yükü en elverişsiz etkileri verilmiştir.

Malzeme: C35/45-B420C, Denetim : iyi, beton örtüsü: 40 mm

İSTENENLER:

Kirişin boyuna donatılarını belirleyiniz ve şantiyeye gidecek çizimi yapınız.

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

ÇÖZÜM:

Tasarım momentleri:

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

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

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

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

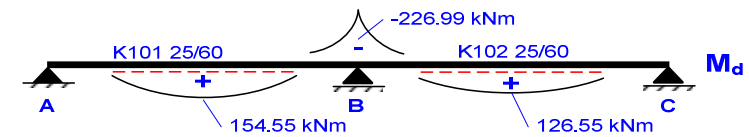


Tabla açıklıklarda çalışır(basınç bölgesinde)

Tabla mesnette çalışmaz(çekme bölgesinde)

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

BETONARME:

- Önce açıklık, sonra mesnet donatıları hesaplanır. Çünkü açıklıklardan mesnetlere donatı gelecektir.
- Çok sayıda açıklık varsa, momentleri birbirine yakın(fark: $\approx\%10$ civarında) olan grup için tek hesap yapılır.
- Önce momenti büyük açıklık hesaplanır. Donatı minimum çıkarsa daha küçük momenti olan açıklıklar da minimum olacaktır, böylece hesap yükü azaltılır.
- Mesnet donatı hesabında da benzer yol izlenir.

HAZIRLIK:**Etkili (çalışan) tabla genişliği:**

$$b \leq b_w + 12t$$

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

K101 açıklığında $b \leq 250 + 12 \cdot 00 = 1450$ mm, $b \leq 250 + 0.2 \cdot 0.8 \cdot 4500 = 970$ mm

K102 açıklığında $b \leq 250 + 12 \cdot 00 = 1450$ mm, $b \leq 250 + 0.2 \cdot 0.8 \cdot 3500 = 810$ mm

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

C20/25-B420C malzemesi için:

$f_{cd} = 23.33$ N/mm², $f_{ctd} = 1.4$ N/mm², $f_{yd} = 365.22$ N/mm², $\rho_b = 0.0267$

Min $\rho = 0.8 \cdot 1.4 / 365.22 = 0.0031$, Max $\rho = 0.02$

Bu iki koşul hem mesnette hem de açıklıklarda sağlanmalı

Max $(\rho - \rho') = 0.85$ $\rho_b = 0.0227$

$b > 2b_w$ olduğundan açıklıkta bu kontrol gerekmez. Mesnetlerde sağlanmalı.

K101 açıklık donatısı, EK8A tablosu ile:

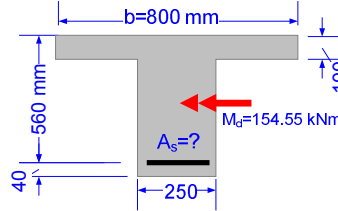
$K = 1000 M_d / f_{cd} b / d^2$

$t/d = 100/570 = 0.18 \approx 0.20$ (en yakın tablo) $\omega = 268$

$b/b_w = 800/250 = 3.2 \approx 3$ (en yakın tablo)

$A_s = \omega f_{cd} b d / 10^4$

$A_s = 268 \cdot 23.33 \cdot 800 \cdot 560 / 10^4 / 365.22 = 767$ mm²

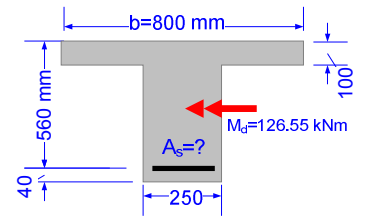
**K102 açıklık donatısı, EK8A tablosu ile:**

$K = 1000 \cdot 126.55 \cdot 10^6 / 23.33 / 800 / 560^2 = 21.6$

$t/d = 100/570 = 0.18 \approx 0.20$ (en yakın tablo) $\omega = 219$

$b/b_w = 800/250 = 3.2 \approx 3$ (en yakın tablo)

$A_s = 219 \cdot 23.33 \cdot 800 \cdot 560 / 10^4 / 365.22 = 627$ mm²



Seçilen 5 ϕ 14 (770 mm²) alt

Montaj 3 ϕ 12 (339 mm²) üst¹

•Çubukların kesite sığıp sığmadığı kontrol edilir. Sığmazsa; ya çubuk çapı büyütülür, ya kesit genişletilir yada çift sıra konur.
•Piliye yapılıp-yapılmayacağına, çubukların kesilip kesilmeyeceğine karar verilir.
KARAR: Piliye yapılmayacak, çubuklar elden geldiğince kesilmeyecek

Kontrol:

$\rho = 770 / (250 \cdot 560) = 0.0055$

Min $\rho < \rho < \text{Max } \rho$ ✓

Seçilen 4 ϕ 14 (616 mm²) alt

Montaj 3 ϕ 12 (339 mm²) üst

Kontrol:

$\rho = 616 / (250 \cdot 560) = 0.0044$

Min $\rho < \rho < \text{Max } \rho$ ✓

1AÇIKLAMA: TBDY-2018 e göre montaj donatısı mesnet donatısının en az $\frac{1}{4}$ 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 767 mm² donatı hesaplandı. Mesnette 226.99 \approx 227 kN-m moment için gerekli donatı, orantı ile, $A_{sTahmin} \approx 767 \cdot 227 / 155 = 1123$ 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.

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 yeterliyse 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. Çubuk normal boyu 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 ek donatı hesabında ve denge altı kontrolünde basınç donatısı dikkate alınacaktır.

B mesnedi donatısı, EK7B tablosu ile:

$$K=10 \cdot 226.99 \cdot 10^6 / 250 / 560^2 = 29 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \omega = 86$$

$$\rho = 80 / 10^4 = 0.0086$$

$$A_s = 0.0086 \cdot 250 \cdot 560 = 1204 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{sek}} = 1204 - 339 = 865 \text{ mm}^2$$

Seçilen ek: 3φ20 (942 mm²) üst

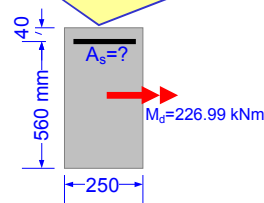
Kontrol: Tablodan alınan ω Min ρ -Max ρ arasında olduğundan donatı oranlarını kontrole gerek yoktur.

$$A_{s \text{ Mesnet}} = 942 + 339 = 1281 \text{ mm}^2$$

Orta mesnet altta: $770 \text{ mm}^2 > 1281/2 = 641 \text{ mm}^2$ ✓

Açıklıklarda üstte: $339 \text{ mm}^2 > 1281/4 = 320 \text{ mm}^2$ ✓

Tabla çekme bölgesinde olduğundan çalışmaz, hesap için kesit dikdörtgen modellendi



Gövde donatısı:

$h > 60$ cm olmadığı için gövde donatısı gerekmez

Sargı donatısı(etriye):

Etriye hesabı henüz bilinmediğinden yönetmeliklerin koşullarına göre konacaktır.

$$\rho_w = A_{sw} / s / b_w \geq \text{Min } \rho_w = 0.3 \cdot f_{ctd} / f_{yd}$$

$$A_{sw} / s / 250 \geq 0.3 \cdot 1.07 / 365.22 = 0.0009$$

φ8 çift kollu etriye kullanılırsa, $A_{sw} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ mm}^2$

$100 / s / 250 = 0.0009 \rightarrow s = 444 \text{ cm} > 60 / 2 = 30 \text{ cm}$

$s = 20 \text{ cm}$ seçilecek:

20 cm den daha seyrek etriye kullanmayız

Etriye aralığı yüksekliğin yarısından fazla olamaz

Etr. φ8/200 orta bölgede

φ8/100 sarılma bölgelerinde

Karar

Çizim:

1/20 ölçekli boyuna ve en az bir enine kesit çizilir. Kenetlemeyi sağlamak için boyuna donatılar kenar mesnetlerde aşağı-yukarı bükülür, kesilen çubuklar komşu açıklığın ¼ üne kadar uzatılır. Boyuna donatıların ve etriyenin açılımı, üst-üste düşmeyecek şekilde, gösterilir.

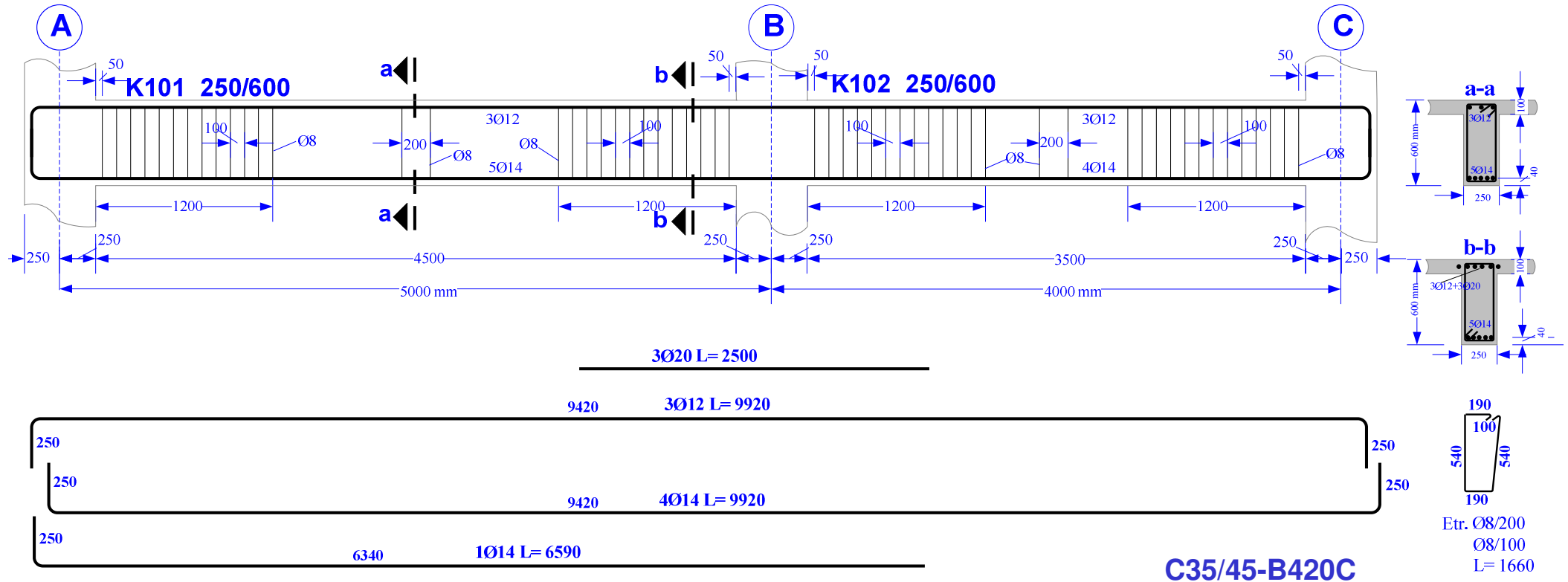
Şantiyeye gidecek çizimin hazırlanması - Kiriş açılımı :

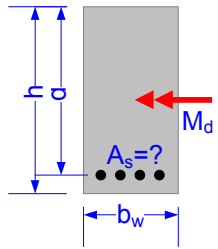
Hesaplar özetlenirse; K101 kirişinin alt tarafına 5φ14, üst tarafına 3φ12, K102 kirişinin alt tarafına 4φ14, üst tarafına 3φ12 ve orta mesnedin üstüne 3φ20 ek donatı konulacaktır. 4φ14 her iki açıklıkta ortak olduğundan ve toplam çubuk boyu 12 m yi aşmayacağı için kesilmeden boydan boya uzatılacaktır. 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 boya uzatılacaktır. 3φ20 mesnet ek donatısı da açıklıkların üstünde gerekli değildir, kesilecektir. A ve C kenar mesnetlerinde donatılar 90° bükülerek kiriş derinliğince uzatılacak, kenetlenme iyileştirilecektir. Kesilen donatılar net açıklıkların dörtte birine kadar uzatılacaktır. Boyuna donatılar kalın ve nervürlü (gevrek) olduğundan 135° kıvrımlı kanca yapılmayacaktır.

Nasıl hesaplanacağı henüz bilinmediğinden, konstrüktif olarak φ8 çift kollu etriye kullanılmıştır. Etriye adımı (aralığı) açıklıklarda 200 mm, sarılma bölgelerinde sıklaştırılarak 100 mm alınacaktır. Etriye 135° bükülerek kancalı yapılacaktır.

Kirişin 1/20 ölçekli boyuna ve en az bir enine kesiti çizilir. Her bir donatı çubuğunun açılımı kirişin altına çizilir. Çubukların kanca, yatay boyları, toplam boyları, adet ve çapları üzerine yazılır. Çubukların açılım sırası, yukarıdan aşağı, şöyledir: Mesnet üst ek donatıları, açıklık üst donatıları, gövde donatıları, 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 250 mm gövde genişliğine sığmadığı için 3 adet ek donatı çubuğunun 2 tanesi tablaya yerleştirilmiştir. Çizimde ölçüler mm cinsindedir.



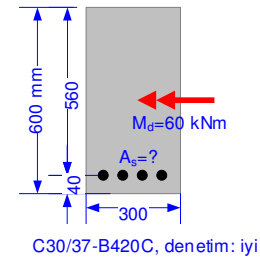


Bir kirişin soldaki kesitinin boyutları(b_w , h , d), malzemesi(beton ve çelik sınıfı), denetim koşulları(γ_{mc}) ve kesiti zorlayan momenti(M_d) biliniyor.

Gerekli donatı alanı(A_s) hesaplanmak isteniyor.

Kirişlerde sadece $f_{yk}=420$ N/mm² çeliği kullanılabilir. Bu çelik ve her tür beton için tek ve çift donatılı dikdörtgen kesit tabloları **EK7B** ve **EK7C** de verilmiştir. Bu tablolardaki uygun K , k ve ω değerleri kullanılarak ρ ve A_s hesaplanır. Min $\rho \leq \rho \leq$ Max ρ olmalıdır. Önceki konulardan bilindiği gibi, Min $\rho = 0.8f_{ctd}/f_{yd}$, Max $\rho = 0.02$ ve Max $(\rho - \rho') = 0.85 \rho_b$ dir. Sehim hesabı istenmezse $\rho \leq \rho_l = 0.235f_{ctd}/f_{yd}$ ile sınırlanır. Tablolarda bu sınırlar vardır, ayrıca hesaplanması gerekmez.

Tablolarda A_s yani oranı ρ hesaplanırken, momentin değerine bağlı olarak, farklı durumlarla karşılaşabiliriz. Aranılan ρ sınırlar arasında olabilir, veya sınırlar dışında kalabilir. Her bir durumda ne yapabileceğimiz örnekler ile açıklanacaktır. Bu örneklerde montaj donatısı ve etriye, hesaplanmadan, konstrüktif yerleştirilmiştir.



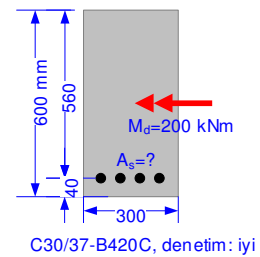
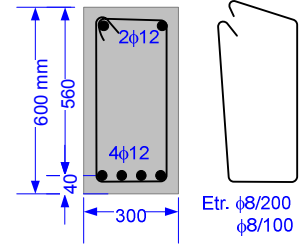
ÖRNEK: Soldaki kesitte $A_s = ?$

EK7B C30/37 tablosunda $K=10M_d/b_w/d^2=10 \cdot 60 \cdot 10^6/300/560^2=6.4$ N/mm² değeri yok, tablonun üstten dışında kalıyor. Kesit bu moment için büyüktür anlamındadır. Ne yapalım? Ya kesit küçültülür yada Min donatı konur. Uygulamada hemen her zaman ikinci yol tercih edilir. Biz de öyle yapalım. Tabloda koyu-sürekli çizginin altındaki satırından $\omega=28$ okunur. $\rho = \text{Min } \rho \approx 0.0028$, $A_s = 0.0028 \cdot 300 \cdot 560 = 470$ mm².

Seç.: 4 ϕ 12 (452 mm²) alt-çekme donatısı

2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrol gerek yoktur, zaten Min donatı kondu



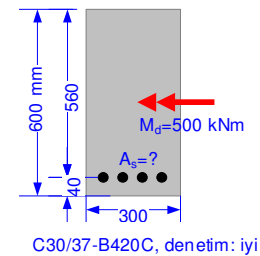
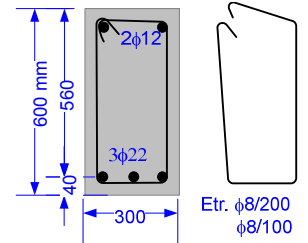
ÖRNEK: Soldaki kesitte $A_s = ?$

EK7B C30/37 tablosunda $K=10M_d/b_w/d^2=10 \cdot 200 \cdot 10^6/300/560^2=21.3$ N/mm² değeri var, Min ρ -Max ρ sınırları arasındadır. $K=21.3$ için $\omega = 63$ okunur. $\rho = 0.0063$, $A_s = 0.0063 \cdot 300 \cdot 560 = 1058$ mm².

Seç.: 3 ϕ 22 (1140 mm²) alt-çekme donatısı

2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrol gerek yoktur, zaten Min-Max arasındadır



ÖRNEK: Soldaki kesitte sehim hesabı gerektirmeyecek $A_s = ?$

EK7B C30/37 tablosunda $K=10M_d/b_w/d^2=10 \cdot 500 \cdot 10^6/300/560^2 \approx 53$ N/mm² değeri var, $\omega=180$, $\rho = 0.0180$ dir. Fakat bu değer kesik çizginin altında kalıyor. Eğer bu değeri kullanırsak $\rho > \rho_l$ olacaktır. Sehim hesabı gerektirmeyecek A_s istendiğinden $\rho \leq \rho_l$ olmak zorundadır. ω yi ρ_l nin sınırı olan değer seçelim: $K=40$, $\omega=127$, $\rho = \rho_l = 0.0127$ olur. Seçtiğimiz ρ gerekli olan $\rho = 0.0180$ den küçüktür. Bu ise, $\rho = 0.0127$ ile kesitin $M_d=500$ kNm momenti taşıyamayacağı anlamındadır. Ne yapalım? Üç yol var 1) Kesit yüksekliğini artırmak 2) Kesit genişliğini artırmak 3) Basınç bölgesine de donatı koymak(çift donatılı kesit). Kesit boyutlarını artırmak, mimari bir sorun yaratmıyorsa, tercih edilir. Her üç durum aşağıda örneklenmiştir.

1) Kesit yüksekliğini $K=40$ N/mm², yani $\rho = \rho_l = 0.0127$ olacak kadar artıralım, gerekli d: $K=10 \cdot 500 \cdot 10^6/300/d^2=40 \Rightarrow d=645.5$ mm, $h=645.5+40=685.5$ mm. Uygulamada kesit boyutları 50 mm nin katları olarak seçilir. Biz de öyle yapalım, $h=700$ mm seçelim. Artık hesabın devamını $b_w=300$ mm, $h=700$ mm, $d=700-40=660$ mm için yapmalıyız.

$K=10 \cdot 500 \cdot 10^6/300/660^2=38.3$ N/mm², C30/37 tablosunda bu değer var ve kesik çizginin üstündedir: $\omega=120$, $\rho=0.0120$ olur.

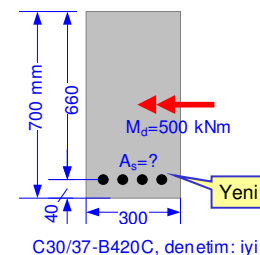
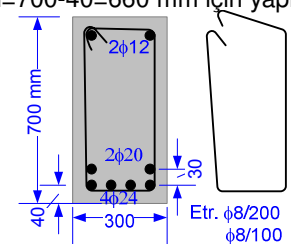
$A_s = 0.0120 \cdot 300 \cdot 660 = 2376$ mm² Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.

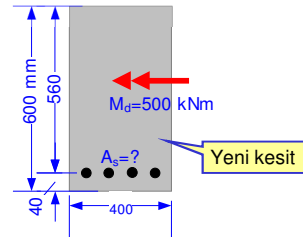
Seç.: 4 ϕ 24 (1810 mm²) alt-1.sıra çekme donatısı

2 ϕ 20 (628 mm²) alt-2.sıra çekme donatısı

2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrol gerek yoktur, otomatik olarak $\rho - \rho' \leq \rho_l$ dir.





C30/37-B420C, denetim: iyi

2) Kesit genişliğini $K=40$, yani $\rho = \rho_l = 0.0127$ olacak kadar artıralım, gerekli b_w : $K=10 \cdot 500 \cdot 10^6 / b_w / 560^2 = 40 \rightarrow b_w = 398.6$ mm, $b_w = 400$ mm alalım. Artık hesabın devamını $b_w = 400$ mm, $h = 600$ mm, $d = 600 - 40 = 560$ mm için yapmalıyız.

$K = 10 \cdot 500 \cdot 10^6 / 400 / 560^2 = 39.9$, C30/37 tablosunda bu değer var ve kesik çizginin üstündedir: $\omega = 126$, $\rho = 0.0126$ okunur.

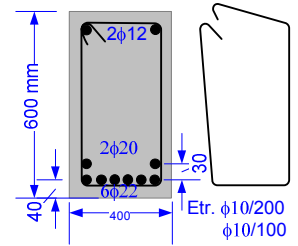
$A_s = 0.0126 \cdot 400 \cdot 560 = 2822$ mm² Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.

Seç.: 6φ22 (2281 mm²) alt-1.sıra

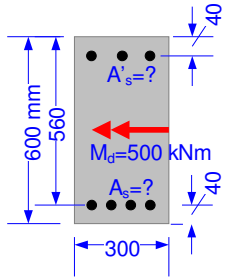
2φ20 (628 mm²) alt-2.sıra

2φ12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, otomatik olarak $\min \rho < \rho \leq \rho_l$ dir.



3) Basınç bölgesine de donatı koyalım (çift donatılı kesit): Bunun için EK7C çift donatılı kesit tablosunu kullanarak A_s ve A'_s donatı alanlarını hesaplamalıyız.



C30/37-B420C, denetim: iyi

EK7C C30/37 tablosunda $K = 10 \cdot M_d / b_w / d^2 = 10 \cdot 500 \cdot 10^6 / 300 / 560^2 \approx 53$ N/mm² değeri var. Bunun anlamı, kesit $M_d = 500$ kNm momenti çift donatılı olarak taşır.

Bu tablodan $K = 53$, $d'/d = 40 / 560 = 0.07 \approx 0.06$ için $\omega = 165$, $\omega' = 38$ okunur.

$A_s = 0.0165 \cdot 300 \cdot 560 = 2772$ mm² Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.

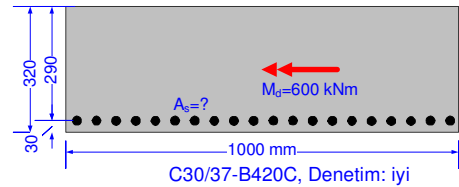
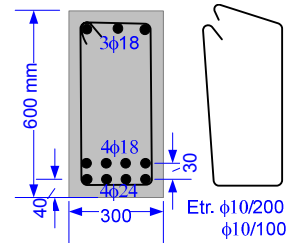
$A'_s = 0.0038 \cdot 300 \cdot 560 = 638$ mm²

Seç.: 4φ24 (1810 mm²) alt-1.sıra çekme donatısı

4φ18 (1018 mm²) alt-2.sıra çekme donatısı

3φ18 (763 mm²) üst-basınç donatısı

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, otomatik olarak $\rho - \rho' \leq \rho_l$ ve $\rho \leq 0.02$ dir.



C30/37-B420C, Denetim: iyi

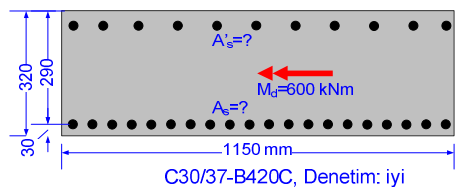
ÖRNEK: Soldaki kesitin yüksekliğini artırmak mümkün değildir. Sehim hesabı gerektirmeyecek $A_s = ?$

Bu tür, geniş fakat yüksekliği az, kirişlere (yatık yada yastık kiriş) dişli veya asmolen döşemelerde rastlanır. Rijitlikleri düşüktür. Aşırı zorlanırlar, aşırı sehim yaparlar. Bu nedenle sehim hesabı gerektirmeyecek şekilde donatılmaları gerekir. Kesit yüksekliğini değiştirmek genelde mümkün mümkün olmaz, çünkü diş yüksekliği ile aynı olmak zorundadır.

EK7B C30/37 tablosundan A_s yi hesaplamaya çalışalım. $K = 10 \cdot 600 \cdot 10^6 / 1000 / 290^2 = 71.3$ N/mm² değeri tabloda yok, alttan tablo dışında kalıyor. Bu, kesitin tek donatılı olarak yetersiz olduğu anlamına gelir. Büyütülmeli veya çift donatılı yapılmalıdır.

Çift donatılı yapmayı deneyelim: EK7C C30/37 tablosunda da 71.3 değeri yok, alttan tablo dışında kalıyor. Bu, kesitin çift donatılı olarak da yetersiz olduğu anlamına gelir. Bu durumda tek çare kalıyor: kesiti büyötmek.

Kesiti büyötelim: Yüksekliği artırmak mümkün olmadığından sadece genişliği artırabiliriz. EK7C C30/37 tablosunda ve $d'/d = 30 / 290 \approx 0.10$ sütununda ω , ω' değeri olan en büyük K değeri 64 var. O halde $K \leq 64$ olacak şekilde kiriş genişliğini artırmalıyız. $K = 10 \cdot 600 \cdot 10^6 / b_w / 290^2 \leq 64 \rightarrow b_w \geq 1115$ mm = 111.5 cm olmalı. $b_w = 115$ cm = 1150 mm seçelim. Bu yeni kesit için A_s ve A'_s yi hesaplayalım.



C30/37-B420C, Denetim: iyi

Yeni kesit

$K = 10 \cdot 600 \cdot 10^6 / 1150 / 290^2 = 62$

$K = 62$ ve $d'/d \approx 0.10$ için $\omega = 194$, $\omega' = 67$ okunur.

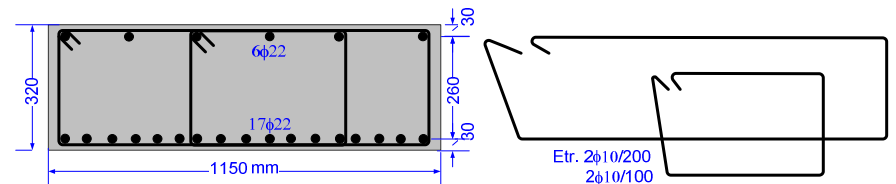
$A_s = 0.0194 \cdot 1150 \cdot 290 = 6470$ mm²

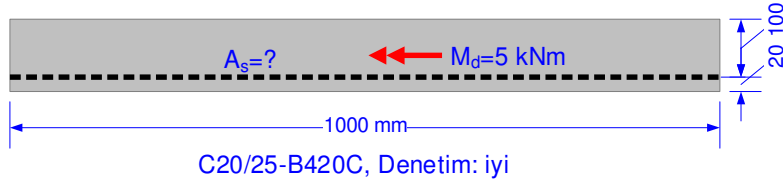
$A'_s = 0.0067 \cdot 1150 \cdot 290 = 2234$ mm²

Seç.: 17φ22 (6460 mm²) alt-çekme donatısı

9φ20 (2826 mm²) üst-basınç donatısı

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, otomatik olarak $\rho - \rho' \leq \rho_l$ ve $\rho \leq 0.02$ dir.

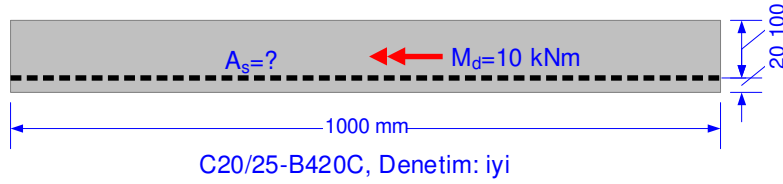
Etr. 2φ10/200
2φ10/100



ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döşeme şeridi solda verilmiştir, $A_s = ?$

EK7B C20/25 tablosunda $K = 10M_d/b_w d^2 = 10 \cdot 5 \cdot 10^6 / 1000 / 100^2 = 5$ yok, üstten tablo dışında kalıyor, $\rho = \text{Min } \rho = 0.0015$, $A_s = 0.0015 \cdot 1000 \cdot 100 = 150 \text{ mm}^2$

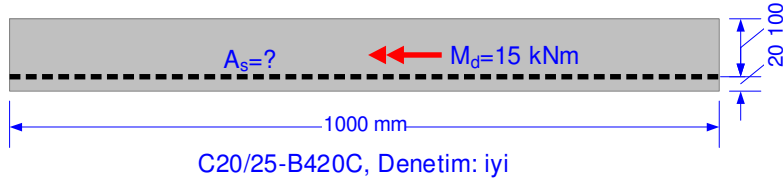
Seç.: $\phi 8 / 180 (279 \text{ mm}^2)$ 1.5 h koşulu



ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döşeme şeridi solda verilmiştir, $A_s = ?$

C20/25 tablosunda $K = 10M_d/b_w d^2 = 10 \cdot 10 \cdot 10^6 / 1000 / 100^2 = 10$ değeri var, $\omega = 29$ dir, $\rho = 0.0029$, $A_s = 0.0029 \cdot 1000 \cdot 100 = 290 \text{ mm}^2$

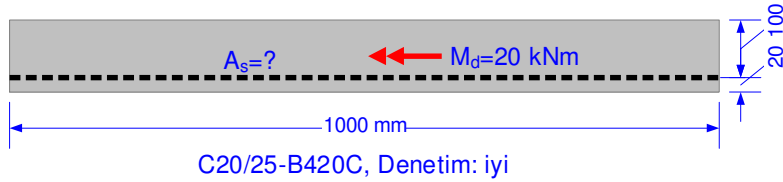
Seç.: $\phi 8 / 170 (296 \text{ mm}^2)$



ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döşeme şeridi solda verilmiştir, $A_s = ?$

C20/25 tablosunda $K = 10M_d/b_w d^2 = 10 \cdot 15 \cdot 10^6 / 1000 / 100^2 = 15$ değeri var, $\omega = 44$ dir, $\rho = 0.0044$, $A_s = 0.0044 \cdot 1000 \cdot 100 = 440 \text{ mm}^2$

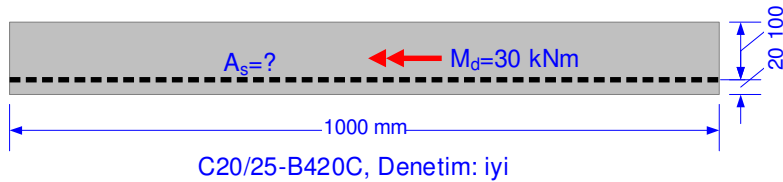
Seç.: $\phi 10 / 175 (449 \text{ mm}^2)$



ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döşeme şeridi solda verilmiştir, $A_s = ?$

C20/25 tablosunda $K = 10M_d/b_w d^2 = 10 \cdot 20 \cdot 10^6 / 1000 / 100^2 = 20$ değeri var, $\omega = 61$ dir, $\rho = 0.0061$, $A_s = 0.0061 \cdot 1000 \cdot 100 = 610 \text{ mm}^2$

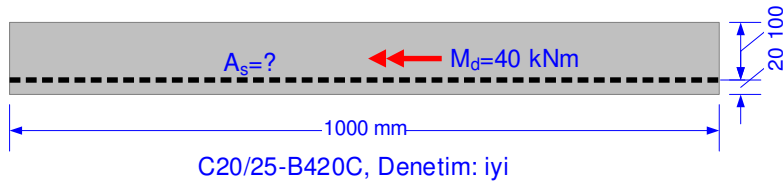
Seç.: $\phi 12 / 180 (628 \text{ mm}^2)$ 1.5 h koşulu



ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döşeme şeridi solda verilmiştir, $A_s = ?$

C20/25 tablosunda $K = 10M_d/b_w d^2 = 10 \cdot 30 \cdot 10^6 / 1000 / 100^2 = 30$ değeri var, $\omega = 97$ dir, $\rho = 0.0097$, $A_s = 0.0097 \cdot 1000 \cdot 100 = 970 \text{ mm}^2$

Seç.: $\phi 14 / 155 (993 \text{ mm}^2)$ Çubuk çapı fazla! Döşeme kalınlığını artırmak daha uygun olur



ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döşeme şeridi solda verilmiştir, $A_s = ?$

C20/25 tablosunda $K = 10M_d/b_w d^2 = 10 \cdot 40 \cdot 10^6 / 1000 / 100^2 = 40$ değeri yok, alttan tablo dışında kalıyor. Döşeme çift donatılı yapılamaz, kalınlık yetersizdir, artırılması gerekir.