

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 : Etriyelerin komşu iki düşey kolu arasındaki mesafe

k : etriye kanca boyu

$\phi_{gövde}$: gövde donatısı çapı

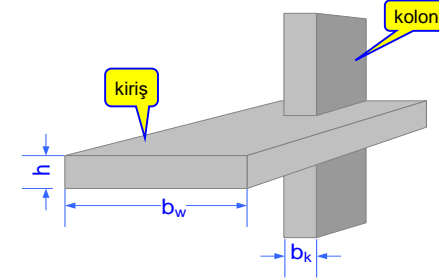
$\rho_{gövde}$: gövde donatısı oranı

KİRİŞLERDE SINIR DEĞERLER

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 $(\rho-\rho')$	$0.85 \rho_b$	-	$\rho \leq \rho_{3/6}$ veya ρ_1	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

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 $\rho_{3/6}$ veya $\rho_1 \leq 0.235f_{ctd}/f_{yd}$ ile verilen sınırı aşmamalıdır.

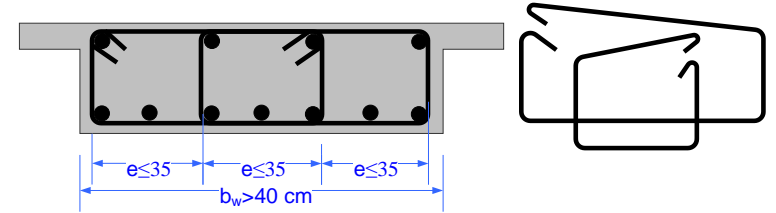
Bak:

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 tasarlanırlar ve donatılırlar, 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)

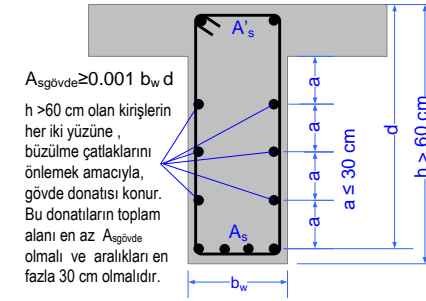
Tanım	Zorunlu koşullar		Ek öneri	Açıklama
	TS 500:2000	TBDY-2018		
min a	-	$0.4 l_b$	-	6
min b	-	12ϕ	-	
min (a+b)	-	l_b	50ϕ	l_b Kenetlenme boyu
min c	-	-	$L_n/4$	Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı için kenetlenme boyu
min (h_k+c)	-	$l_b, 50\phi$	-	Komşu açıklıktan gelen veya mesnet ek donatısı 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	$0.22 f_{cd} A_c$	Madde 7.4.5.	-	
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

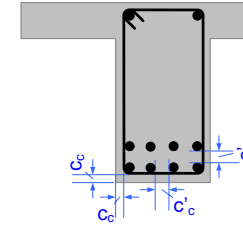
$c'_c \geq 2.5\text{ cm}$ ve $c'_c \geq \phi$

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 yapılarında: $c_c \geq 5\text{ cm}$



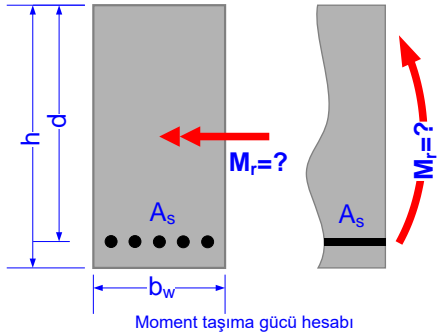
Yetersiz beton örtüsü düşük kenetlenmeye ve paslanmaya neden olur !

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 bilinir. 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

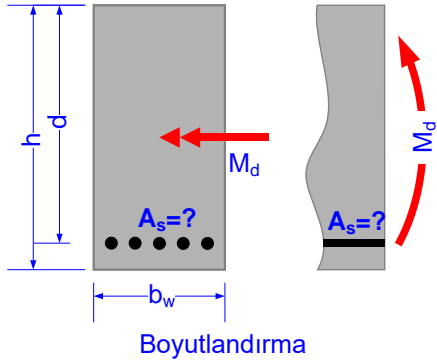
Yeni bir yapı projelendirilirken karşılaşılan problem türüdür. Mühendisin elinde sadece mimari proje vardır. Bu problem türünde kesit boyutları, malzeme, iç kuvvetler (moment, kesme, normal kuvvet, burulma), donatının yeri ve donatı alanı bilinmemektedir. Statik hesapların yapılabilmesi (=iç kuvvetlerin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

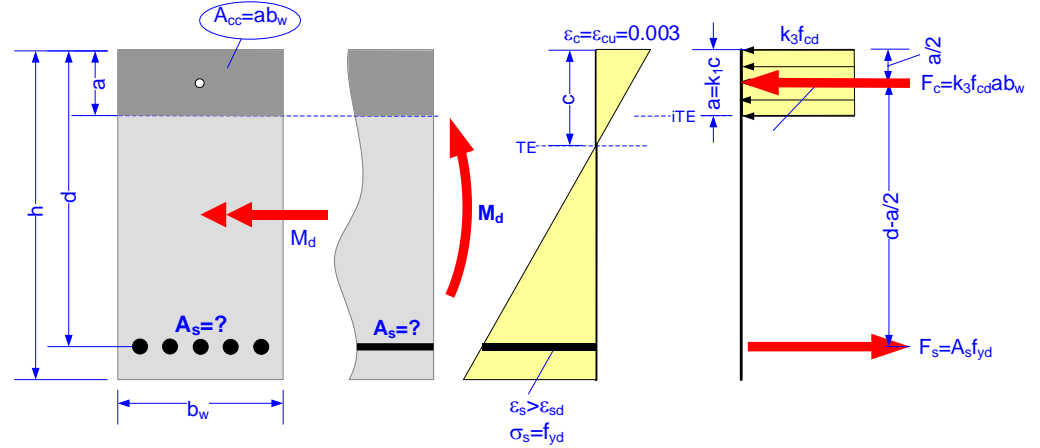
Momentin güvenle taşınabilmesi için A_s ne olmalıdır?

ÇÖZÜM:

Yapılacak çözüm şu koşulları sağlamalı:

1. Giriş denge altı donatılmalı: $\varepsilon_s > \varepsilon_{sd}$, $\sigma_s = f_{yd}$, $\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b$
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: $k_3 f_{cd} ab_w - A_s f_{yd} = 0$

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

Moment denge denkleminde $A_s f_{yd}$ yerine $k_3 f_{cd} ab_w$ yazılır. Yatay denge denkleminde çekilen a ile A_s de $(\rho b_w d)$ biçiminde moment denkleminde yerine konur ve sadeleştirilirse,

$$\left. \begin{array}{l} \frac{f_{yd}^2}{2k_3 f_{cd}} \rho^2 - f_{yd} \rho + \frac{M_d}{b_w d^2} = 0 \end{array} \right\}$$

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

$$\frac{a^2}{2d^2} - \frac{a}{d} + \frac{M_d}{k_3 f_{cd} b_w d^2} = 0$$

Hesap sırası:

1. K sabiti hesaplanır, N/mm^2 birimindedir. Alternatif hesap şeklinde ise birimsizdir.
2. Donatı oranı ρ (alternatif hesap şeklinde 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.

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

Sağ taraftaki büyüklükler bilindiği için K sabit bir değerdir.

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

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

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

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

Denklemin çözümünde ara işlemler burada gösterilmemiştir

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

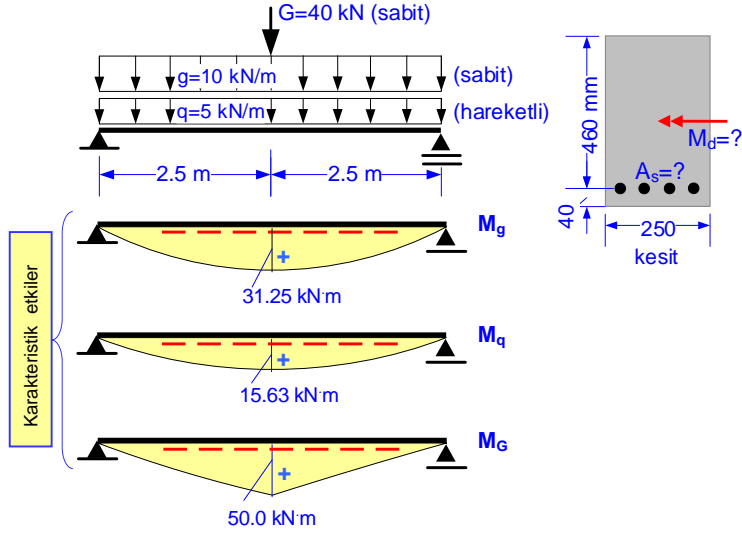
$$\rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_s = \rho b_w d$$

$$a = \frac{\rho f_{yd} d}{k_3 f_{cd}} \quad \text{veya} \quad a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b_w}$$

olarak bulunur.

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:

$$f_{cd}=30/1.5=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, k_3=0.85, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

Bak: EK1, EK2

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

Bak: EK3

$$\min \rho = 0.8 \cdot 1.28 / 365.22 = 0.0028$$

$$\min \rho = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

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

Tasarım momenti:

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

ÇÖZÜM:

Alternatif hesap şekli:

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

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

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

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

Basınç bloğunun derinliği

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

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

$$K = \frac{138.8 \cdot 10^6}{250 \cdot 460^2} = 2.6238$$

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

$$\rho = 0.85 \frac{20}{365.22} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2.6238}{0.85 \cdot 20}}\right) = 0.007845$$

$$\rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}}\right)$$

$$A_s = 0.007845 \cdot 250 \cdot 460 = 902 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho b_w d$$

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

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

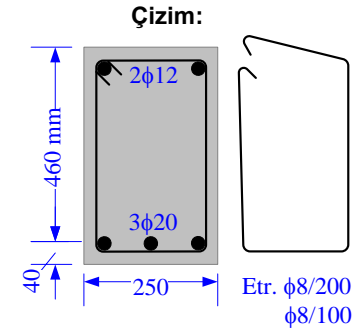
$$\rho' = 226 / (250 \cdot 460) = 0.0020$$

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

Kontrol:

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

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



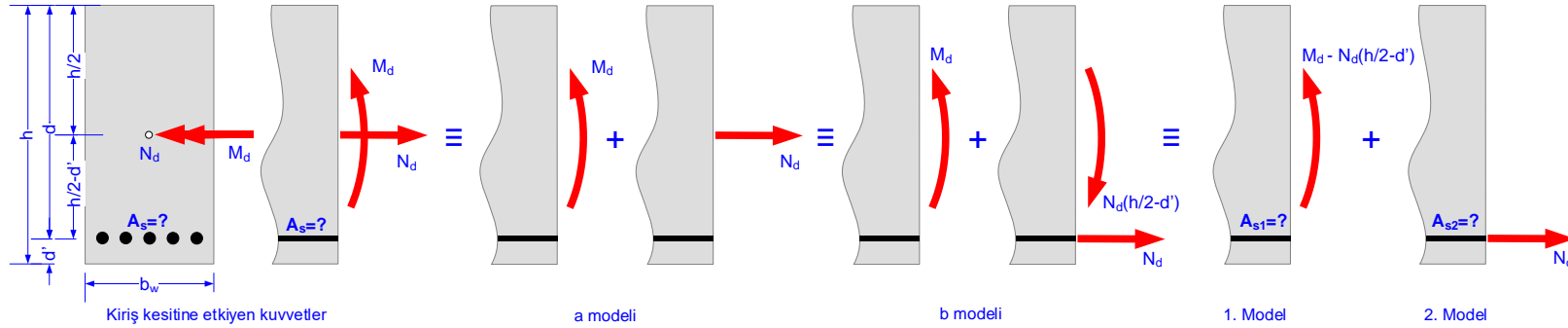
Etr. ϕ 8/200
 ϕ 8/100

Tek donatılı kirişte moment ve aksel kuvvet için donatı hesabı - Analitik çözüm

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 düşülmür).

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 etkiyen 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:

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

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

$$\rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s1} = \rho b_w d$$

2. Modelde:

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

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

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

Sonuç:

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

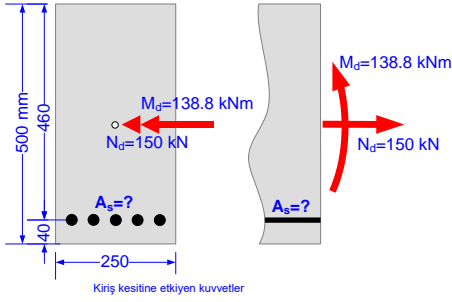
$$A_s = \rho b_w d + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

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

ÖRNEK: Tek donatılı kirişte moment ve aksenal kuvvet için donatı hesabı - Analitik çözüm



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:

$$f_{cd}=30/1.5=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\min \rho=0.8 \cdot 1.28/365.22=0.0028$$

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

Çözüm:

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

$$M'_d = 138.8 - 150 \cdot (0.25 - 0.04) = 107.3 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{107.3 \cdot 10^6}{250 \cdot 460^2} = 2.0284$$

$$\rho = 0.85 \frac{20}{365.22} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2.0284}{0.85 \cdot 20}} \right) = 0.005932$$

$$A_s = 0.005982 \cdot 250 \cdot 460 + \frac{150000}{365.22} = 1093 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_s = \rho b_w d + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

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

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

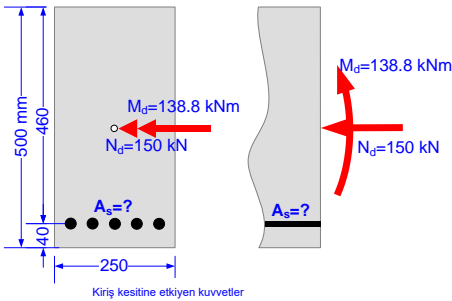
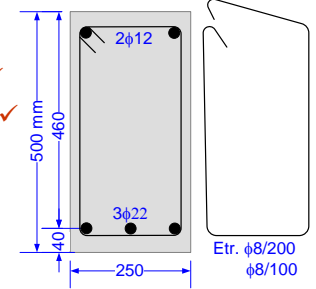
$$\rho' = 226/(250 \cdot 460) = 0.0020$$

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

Kontrol:

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

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



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:

$$f_{cd}=30/1.5=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.28 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\min \rho=0.8 \cdot 1.28/365.22=0.0028$$

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

Çözüm:

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

$$M'_d = 138.8 - (-150) \cdot (0.25 - 0.04) = 170.3 \text{ kNm}$$

$$K = \frac{170.3 \cdot 10^6}{250 \cdot 460^2} = 3.2193$$

$$\rho = 0.85 \frac{20}{365.22} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3.2193}{0.85 \cdot 20}} \right) = 0.009859$$

$$A_s = 0.009859 \cdot 250 \cdot 460 + \frac{-150000}{365.22} = 723 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_s = \rho b_w d + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

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

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

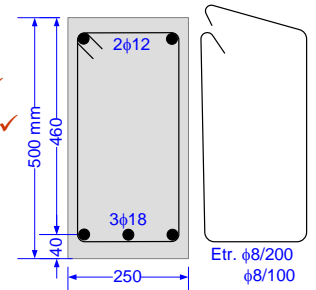
$$\rho' = 226/(250 \cdot 460) = 0.0020$$

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

Kontrol:

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

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



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, aksenal kuvvetin basınç olması durumunda donatı alanı azalmıştır. Güvenli tarafta kalmak için basınç durumunda aksenal kuvveti ihmal etmek, yani $N_d=0$ almak uygun olur.

Tek donatılı dikdörtgen kiriş -deformasyon tanımlı- moment kapasitesi ve donatı hesabı –Analitik çözüm

Bilindiği 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, beton ve çelik birim deformasyonlarının 0.003 ve 0.006 alınması halindeki donatı oranı $\rho_{3/6}$ (veya $\rho_l \leq 0.235f_{cd}/f_{yd}$) kullanılmalıdır. 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 yapılsa dahi gerçek sehim, hesapların 3-4 katı daha fazla olabilir. Bu nedenle Donatı oranını $\rho_{3/6}$ (veya $\rho_l \leq 0.235f_{cd}/f_{yd}$) ile sınırlayarak ve TS 500:2000 Madde 13.2 deki kiriş yükseklik/açıklık oranlarına uyarak sehim hesabı yapılmayabilir.

BİLİNENLER:

Kesit boyutları (b_w , d , h), malzeme (beton ve çelik sınıfı), denetim koşulları, Beton ve donatı birim deformasyonları $\epsilon_c=0.003$ $\epsilon_s=0.006$

ARANAN:

Donatı alanı A_s ve kesitin moment kapasitesi nedir?

ÇÖZÜM:

Uygunluk (süreklilik) koşulu (şekil değiştirme diyagramından orantı ile):

$$\frac{0.003}{0.006} = \frac{c}{d-c} \quad c = \frac{d}{3}$$

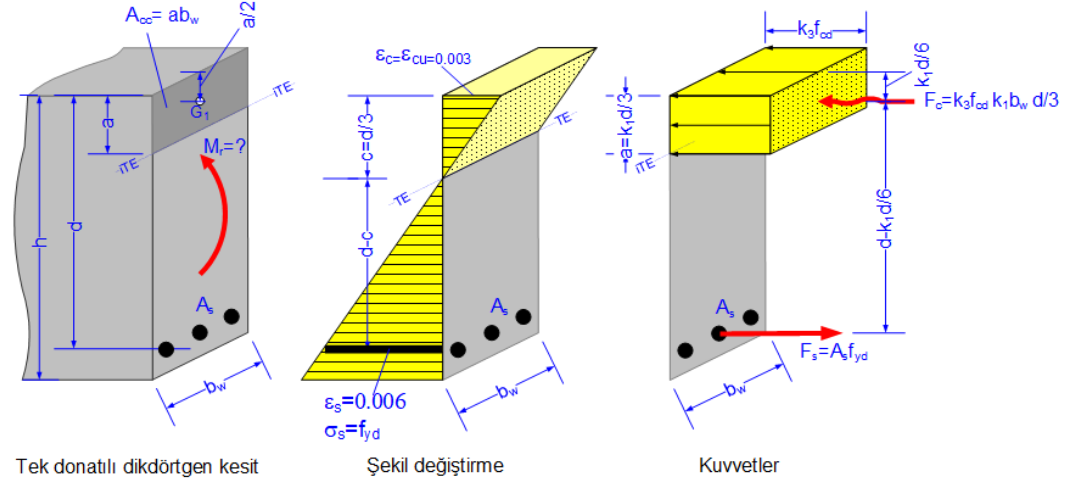
Yatay denge denklemi $k_3 f_{cd} a b_w = A_s f_{yd}$

$$k_3 f_{cd} k_1 \frac{d}{3} b_w = A_s f_{yd}$$

$$\rho_{3/6} = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1}{3} k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Moment denge denklemi $M_{3/6} = A_s f_{yd} (d-a/2)$

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 f_{cd} b_w d \left(d - \frac{k_1 d}{6} \right) = \frac{1}{3} k_1 k_3 \left(1 - \frac{1}{6} k_1 \right) f_{cd} b_w d^2$$



420 çeliklerinde dengeli donatı oranı

$$\rho_b = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{0.003}{0.003 + 0.001826} \right) = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{3}{4.826} \right) = 0.6216 k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\rho_{3/6} = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1}{3} k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\rho_{3/6} = 0.536 \rho_b$$

500 çeliklerinde dengeli donatı oranı

$$\rho_b = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{0.003}{0.003 + 0.0021739} \right) = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{3}{5.1739} \right) = 0.5798 k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\rho_{3/6} = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1}{3} k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\rho_{3/6} = 0.575 \rho_b$$

Not: 0.003/0.006 birim deformasyon değerleri dikdörtgen kesitli bir kirişin, tek donatılı olarak taşıyabileceği eğilme momenti kapasitesinin belirlenmesinde en uygun değerlerdir.

Çift donatılı dikdörtgen kiriş donatı hesabı - Analitik çözüm 0.003/0.006 deformasyon kabulü ile

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**.

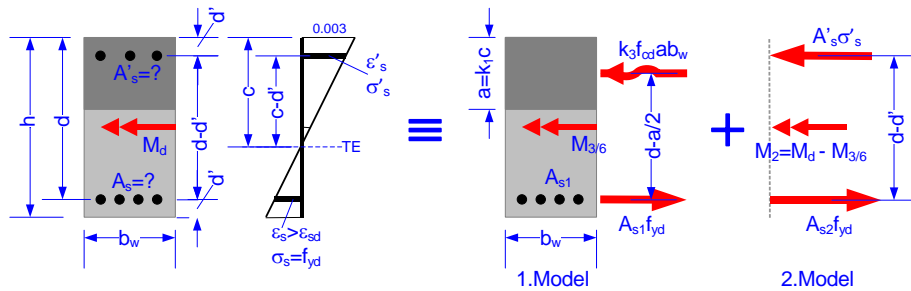
Momenti karşılayacak donatı alanını, bu donatılar yokmuş gibi hesaplarız. Donatı alanını belirledikten sonra mevcut donatı ile karşılaştırırız. Eğer mevcut donatı belirlenenden az ise ek donatı koyarak momenti karşılamasını sağlarız. Bu yolla tasarlanan kesitlere **tek donatılı kesit** denir.

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

1.Kesiti büyötmek(yükseklğini ve/veya genişliğini) . Mimari nedenlerle kesiti büyötmek 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(depemde) durumunda çekme alır. Çift donatılı kesitin olumsuz yönü: 1.Maliyeti artırır, çünkü basınca çalıştırılmaktadır. Betonarmede basıncı almak betonun görevidir ve daha ekonomiktir. 2.Yükseklği azaltmak amacıyla çift donatılı kesit yapılması aşırı sehim oluşmasına neden olur.



Çift donatılı kesiti solda gösterilen 1. ve 2. modelin toplamı olarak düşünebiliriz, $M_d = M_{3/6} + M_2$ 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 durumunda beton ve çeliğin birim deformasyonlarının 0.003 ve 0.006 alınması ya da $\rho_1 = \rho_l = 0.235f_{cd}/f_{yd}$ değeri uygun olmaktadır. Aşağıda bu iki yaklaşımın her biri sırayla tek donatılı kesitten çift donatılı kesite geçiş sınırı olarak kullanılmıştır.

$\rho_{3/6} = 0.333k_1k_3f_{cd}/f_{yd}$ **1. model için seçilen donatı oranı=çift donatılı kesite geçiş sınırı**

$A_{s1} = \rho_{3/6} b_w d$ **1. modelde çekme donatısı**

$k_3f_{cd}ab_w = A_{s1}f_{yd} = \rho_{3/6} b_w d f_{yd} = 0.333k_1k_3f_{cd}$ **1. modelde yatay denge**

$a = k_1d/3$ **basınç alanı derinliği**

$c = d/3$ **tarafsız eksen derinliği** **1. modelde moment**

$M_{3/6} = A_{s1}f_{yd}(d-a/2) = \rho_{3/6} b_w d f_{yd}(d-k_1d/6)$

$M_{3/6} = k_1k_3f_{cd}b_w d^2(1-k_1/6)/3$ **1. modelin taşıma gücü**

$M_{3/6} \geq M_d$ ise tek donatılı:

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

$\rho = \frac{k_3f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3f_{cd}}}\right)$

Sonuç:

$A_s = \rho b_w d$

$A'_s = 0$

$M_{3/6} < M_d$ ise çift donatılı:

$M_2 = M_d - M_{3/6}$ **2. modelin taşıması gereken moment**

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

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

$\epsilon'_s = 0.003 \frac{c - d'}{c} = 0.003(1 - 3 \frac{d'}{d})$

$\sigma'_s = 600(1 - 3 \frac{d'}{d})$ **Basınç donatısı birim kısalması**

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

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

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

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

Sonuç:

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$ **Kesit çekme donatısı**

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

ÖRNEK: Çift donatılı dikdörtgen kiriş donatı hesabı - Analitik çözüm 0.003/0.006 deformasyon kabulü ile

Hesap sırası: 1.

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 f_{cd} b_w d^2 (1 - \frac{k_1}{6})$$

2. $M_d < M_{3/6}$ ise, tek donatılı:

$$K = \frac{M_d}{b_w d^2}; \rho = \frac{k_3 f_{cd}}{f_{yd}} (1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}})$$

Sonuç:

$$A_s = \rho b_w d; A'_s = 0$$

3. $M_d \geq M_{3/6}$ ise, çift donatılı:

$$A_{s1} = \frac{1}{3} k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d$$

$$M_2 = M_d - M_{3/6}$$

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

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

$$\epsilon'_s = 0.003 (1 - \frac{3d'}{d})$$

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

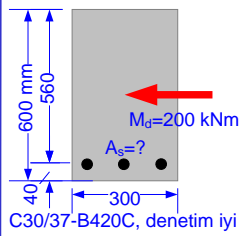
$$\sigma'_s \geq f_{yd} \text{ ise akmış, } \sigma'_s = f_{yd} \text{ al}$$

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

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

Sonuç:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}; A'_s = A_{s2} \frac{f_{yd}}{\sigma'_s}$$



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanını hesaplayınız.

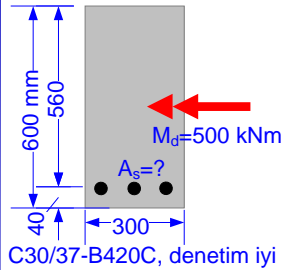
HAZIRLIK:

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

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

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

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



ÖRNEK:

Soldaki kesitin A_s donatı alanı hesaplayınız.

HAZIRLIK: yukarıdaki örnekteki gibi

ÇÖZÜM:

$$M_{3/6}=0.2323 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 560^2 (1-0.82/6)=377.41 \text{ kNm}$$

$M_{3/6} < M_d$ olduğundan kesit $M_d=500 \text{ kNm}$ momenti tek donatılı olarak taşımaz,

kesit büyütülmeli veya çift donatılı yapılmalı.

Çift donatılı çözüm:

$$A_{s1}=0.333 \cdot 0.82 \cdot 0.85 \cdot 300 \cdot 560 \cdot 20/365.22=2137 \text{ mm}^2$$

$$M_2=500-377.41=122.6 \text{ kNm}$$

$$A_{s2}=122.6 \cdot 10^6/365.22/(560-40)=646 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon'_s=0.003(1-3 \cdot 40/560)=0.00236$$

$$\sigma'_s=2 \cdot 10^5 \cdot 0.00236=471 \text{ N/mm}^2 > f_{yd}, \text{ Akmış} \rightarrow \sigma'_s=365.22 \text{ N/mm}^2 \text{ alınacak.}$$

$$A_s=2137+646=2783 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=646 \cdot 365.22/365.22=646 \text{ mm}^2$$

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

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

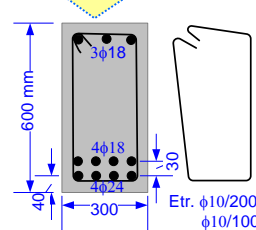
$$\rho'=763/300/560=0.0070$$

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

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

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

Çubuklar 300 mm ye sığmıyor, çift sıra donatılı yapıldı



ÇÖZÜM:

$$M_{3/6}=0.82 \cdot 0.85 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 560^2 (1-0.82/6)/3=377.41 \text{ kNm}$$

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

$$K=200 \cdot 10^6/300/560^2=2.12585$$

$$\rho=0.85 \cdot 20/365.22 (1 - \sqrt{(1 - 2 \cdot 2.12585 \cdot 2/0.85 \cdot 20)})=0.006239$$

$$A_s=0.006239 \cdot 300 \cdot 560=1048 \text{ mm}^2$$

Seç.: 3 ϕ 22 (1140 mm²) alt
2 ϕ 12 (226 mm²) üst

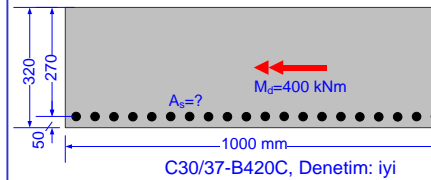
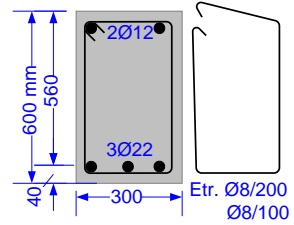
$$\rho=1140/300/560=0.0068$$

$$\rho'=226/300/560=0.0013$$

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

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

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



ÖRNEK:

Soldaki kesitin sehim hesabı gerektirmeyecek A_s donatı alanı hesaplayınız.

HAZIRLIK: yukarıdaki örnekteki gibi

ÇÖZÜM:

$$M_{3/6}=0.82 \cdot 0.85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 270^2 (1-0.82/6)/3=292.45 \text{ kNm}$$

$M_{3/6} < M_d$ olduğundan kesit $M_d=400 \text{ kNm}$ momenti tek donatılı olarak taşımaz, kesit büyütülmeli veya çift donatılı yapılmalı.

Çift donatılı çözüm:

$$A_{s1}=0.82 \cdot 0.85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 270/365.22/3=3435 \text{ mm}^2$$

$$M_2=400-292.45=107.55 \text{ kNm}$$

$$A_{s2}=107.55 \cdot 10^6/365.22/(270-50)=1339 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon'_s=0.003(1-3 \cdot 50/270)=0.00133$$

$$\sigma'_s=2 \cdot 10^5 \cdot 0.00133=267 \text{ N/mm}^2 < f_{yd}, \text{ Akmamış, } \sigma'_s=267 \text{ N/mm}^2 \text{ alınacak}$$

$$A_s=3435+1339=4774 \text{ mm}^2$$

$$A'_s=1339 \cdot 365.22/267=1831 \text{ mm}^2$$

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

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

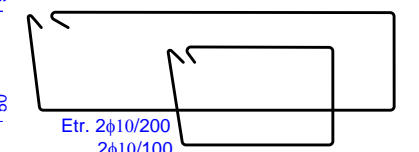
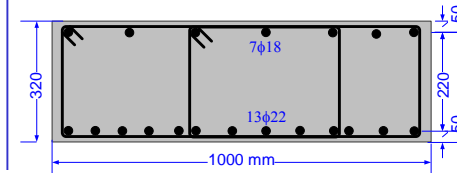
$$7\phi 18 (1781 \text{ mm}^2) \text{ üst}$$

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

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

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

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



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

Beton ve çelik için birim deformasyonlarını binde 3 ve 6 aldığımızda kesitin moment kapasitesi $M_d = \frac{1}{3} k_1 k_3 (1 - \frac{k_1}{6}) f_{cd} b_w d^2 = 0.85 \cdot 0.82 \cdot 20 (1 - 0.82/6) 300 \cdot 560^2 / 3 \approx 377.41$ kNm bulunur. Kesit $M_d = 500$ kNm momentini taşıyamaz. 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 artıralım,

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 (1 - \frac{1}{6} k_1) f_{cd} b_w d^2$$

$$500 \cdot 10^6 = \frac{1}{3} \cdot 0.82 \cdot 0.85 \cdot (1 - 0.82/6) \cdot 20 \cdot 300 \cdot d^2$$

$$d = 645 \text{ mm} \quad h = 700 \text{ mm} \text{ seçildi}$$

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

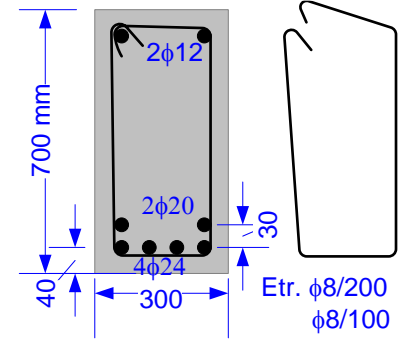
$d = 645$ mm, $h = 645 + 40 = 685$ mm. Uygulamada kesit boyutları 50 mm nin katları olarak seçilir. Biz de öyle yapalım, $h = 700$ mm seçelim. Artık hesabın devamını $b_w = 300$ mm, $h = 700$ mm, $d = 700 - 40 = 660$ mm için yapmalıyız.

$$K = \frac{500 \cdot 10^6}{300 \cdot 660^2} = 3.8261$$

$$\rho = 0.85 \frac{20}{365.22} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3.8261}{0.85 \cdot 20}} \right) = 0.0120$$

$$A_s = 0.0120 \cdot 300 \cdot 660 = 2382 \text{ mm}^2$$

Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.



2) Kesit genişliğini artıralım, gerekli b_w :

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 (1 - \frac{1}{6} k_1) f_{cd} b_w d^2$$

$$500 \cdot 10^6 = \frac{1}{3} \cdot 0.82 \cdot 0.85 \cdot (1 - 0.82/6) \cdot 20 \cdot b_w \cdot 560^2$$

$$b_w = 397.4 \text{ mm} \rightarrow b_w = 400 \text{ mm} \text{ seçildi}$$

Seç.: 6 ϕ 22 (2281 mm²) alt-1.sıra
2 ϕ 20 (628 mm²) alt-2.sıra
2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

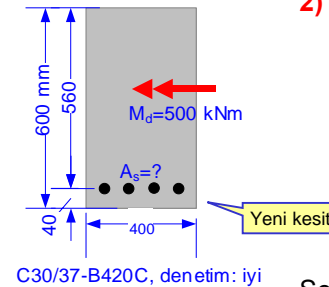
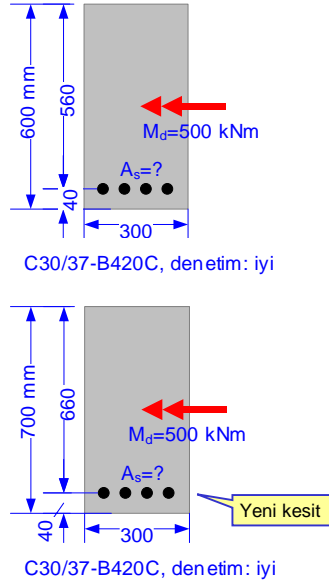
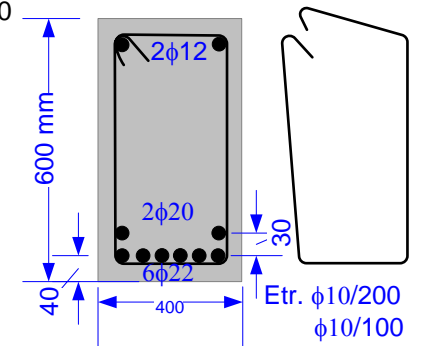
Artık hesabın devamını $b_w = 400$ mm, $h = 600$ mm, $d = 600 - 40 = 560$ mm için yapmalıyız.

$$K = \frac{500 \cdot 10^6}{400 \cdot 560^2} = 3.986$$

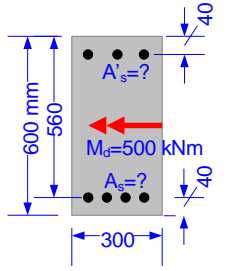
$$\rho = 0.85 \frac{20}{365.22} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3.986}{0.85 \cdot 20}} \right) = 0.01263$$

$$A_s = 0.01263 \cdot 400 \cdot 560 = 2828 \text{ mm}^2$$

Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.



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



C30/37-B420C, denetim: iyi

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 (1 - \frac{1}{6} k_1) f_{cd} b_w d^2 = \frac{0.82 \cdot 0.85}{3} \cdot (1 - \frac{0.82}{6}) 20 \cdot 300 \cdot 560^2 = 377.4 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \rho_{3/6} b_w d = \frac{1}{3} k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{1}{3} \cdot 0.82 \cdot 0.85 \cdot \frac{20}{365.22} 300 \cdot 560 = 2137.5 \text{ mm}^2$$

$$M'_{3/6} = 500 - 377.4 = 122.6 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{d}{3} = 560/3 = 186.7 \text{ mm} \rightarrow \sigma'_s = 600 \frac{186.7 - 40}{186.7} = 471 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma'_s = f_{yd}$$

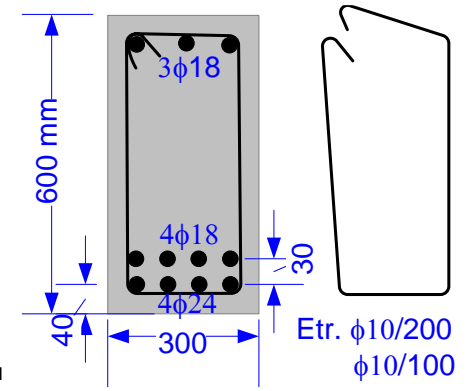
$$A_{s2} = \frac{122.6 \cdot 10^6}{365.22(560 - 40)} = 646 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2138 + 646 = 2784 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 646 \text{ mm}^2$$

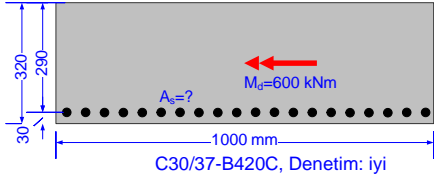
Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.

Seç.: 4φ24 (1810 mm²) alt-1.sıra çekme donatısı
4φ18 (1018 mm²) alt-2.sıra çekme donatısı
3φ18(763 mm²) üst-basınç donatısı



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

Bu tür, geniş fakat yüksekliği az, kirişlere(yatık yada yastık kiriş) dışı 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 dış yüksekliği ile aynı olmak zorundadır. Kesit mevcut haliyle 600 kNm lik momenti taşıyamamaktadır.



Kesitin 0.003/0.006 birim deformasyon değerleriyle taşıyabileceği moment

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 (1 - \frac{1}{6} k_1) f_{cd} b_w d^2 = \frac{0.82 \cdot 0.85}{3} \cdot (1 - \frac{0.82}{6}) 20 \cdot 1000 \cdot 290^2 = 337.4 \text{ kNm}$$

Birinci çözüm yolu: Çift donatılı yapmayı deneyelim

$$A_{s1} = \rho_{3/6} b_w d = \frac{1}{3} k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{1}{3} \cdot 0.82 \cdot 0.85 \cdot \frac{20}{365.22} 1000 \cdot 290 = 3690 \text{ mm}^2$$

$$M'_{3/6} = 600 - 337.4 = 262.6 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{d}{3} = 290/3 = 97 \text{ mm} \rightarrow \sigma'_s = 600 \frac{96.7 - 30}{96.7} = 414 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma'_s = f_{yd}$$

$$A_{s2} = \frac{262.6 \cdot 10^6}{365.22(290 - 30)} = 2765 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 3690 + 2765 = 6455 \text{ mm}^2 \quad \rho = 0.0223 > 0.02 \times \text{ Sınır aşıldı}$$

$$A'_s = 2765 \text{ mm}^2$$

Kesit genişliğini bir miktar arttırıp çift donatılı tasarıma geçilebilir. Bu tür bir çözüm ileride verilmiştir.

İkinci yol: Kesit genişliğini arttıralım

$$M_{3/6} = \frac{1}{3} k_1 k_3 (1 - \frac{1}{6} k_1) f_{cd} b_w d^2$$

$$600 \cdot 10^6 = \frac{1}{3} \cdot 0.82 \cdot 0.85 \cdot (1 - \frac{0.82}{6}) \cdot 20 \cdot b_w \cdot 290^2$$

$$b_w = 1778 \text{ mm} \rightarrow b_w = 1800 \text{ mm} \text{ seçilebilir}$$

$$K = \frac{600 \cdot 10^6}{1800 \cdot 290^2} = 3.9635$$

$$\rho = 0.85 \frac{20}{365.22} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3.9635}{0.85 \cdot 20}} \right) = 0.01254$$

$$A_s = 0.01254 \cdot 1800 \cdot 290 = 6547 \text{ mm}^2 \quad \checkmark$$

Tek donatılı tablalı kiriş donatı hesabı - Analitik çözüm

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?

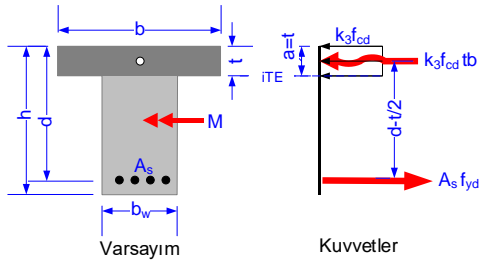
ÇÖZÜM:

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

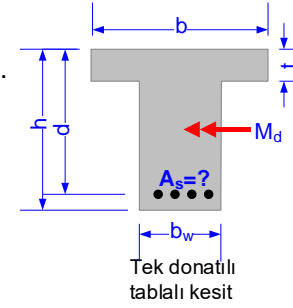
$$M^T = k_3 f_{cd} t b (d - t/2)$$

Tabla betonunun taşıyabileceği moment

olur.

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

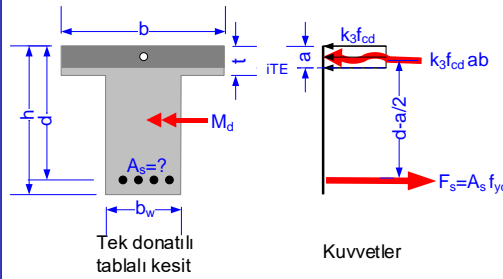
$M^T < M_d$ ise basınç alanı gövdeye sarkıyor, yani $a > t$ dir.



Uygulamada çoğunlukla bu durum ile karşılaşılır

Uygulamada bu durum ile nadiren (küçük tablalı kesitlerde) karşılaşılır

$M^T \geq M_d$ durumunda A_s nin hesabı:



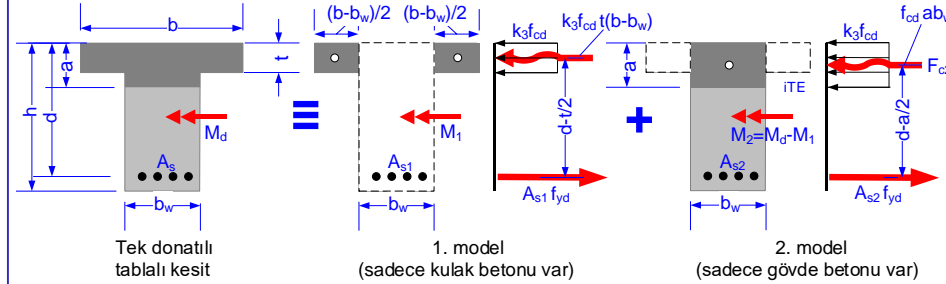
Basınç alanı dikdörtgen olduğu için, genişliği b , faydalı yüksekliği d olan tek donatılı dikdörtgen kesit formülleri geçerlidir:

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

$$\rho = \frac{k_3 f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_s = \rho b d$$

$M^T < M_d$ 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:

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

$$\rho = \frac{k_3 f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s2} = \rho b_w d$$

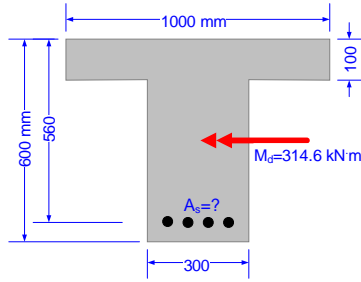
$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

ÖRNEK: Tek donatılı tablalı kiriş donatı hesabı - Analitik çözüm

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:

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

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

$$K=314.6 \cdot 10^6 / 1000 / 560^2 = 1.0032 \quad K = \frac{M_d}{bd^2}$$

$$\rho = 0.85 \cdot 20 / 365.22 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1.0032}{0.85 \cdot 20}} \right) = 0.002833 \quad \rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$

$$A_s = 0.002833 \cdot 1000 \cdot 560 = 1587 \text{ mm}^2 \quad A_s = \rho ab$$

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

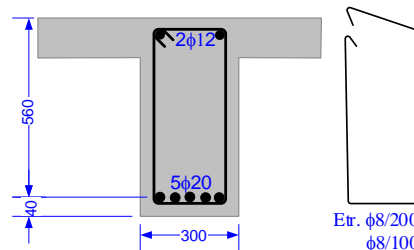
Montaj: $2\phi 12 (226 \text{ mm}^2)$ üst konstrüktif

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

Kontrol:

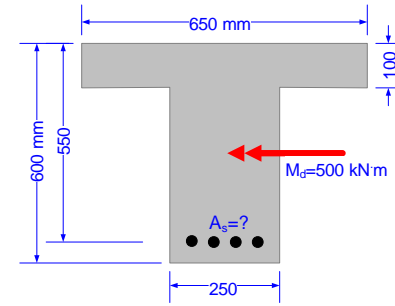
$$\rho = 1571 / (300 \cdot 560) = 0.0094$$

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



Aşağıda kesiti verilen kirişin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi için A_s ne olmalıdır? Donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz. Malzeme: C25/30-B420C, denetim: iyi.

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



HAZIRLIK:

$$f_{cd}=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.17 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_3=0.85$$

$$\text{Min } \rho=0.8 \cdot 1.17/365.22=0.0026, \text{ Max } \rho=0.02$$

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:

$$M^T=0.85 \cdot 16.67 \cdot 100 \cdot 650(550-100/2)=460508750 \text{ Nmm}=460.5 \text{ kNm}$$

$M^T=460.5 \text{ kNm} < M_d=500 \text{ kNm}$ 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:

$$M_1 = 0.85 \cdot 16.67 \cdot 100(650-250)(550-100/2) = 283390000 \text{ Nmm} = 283.4 \text{ kNm}$$

Tabla kulaklarının karşıladığı moment

$$A_{s1} = 0.85 \cdot 16.67 \cdot 100(650-250)/365.22 = 1552 \text{ mm}^2$$

2. modelde:

$$M_2 = 500 - 283.4 = 216.6 \text{ kNm}$$

Gövdenin karşılaması gereken moment

$$K = 216.6 \cdot 10^6 / 250 / 550^2 = 2.8641$$

$$\rho = 0.85 \cdot 16.67 / 365.22 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2.8641}{0.85 \cdot 16.67}} \right) = 0.008852$$

Donatı oranı

$$A_{s2} = 0.008852 \cdot 250 \cdot 550 = 1216 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 1552 + 1216 = 2768 \text{ mm}^2$$

$M_d=500$ kNm momenti karşılamak için gerekli toplam donatı

6 çubuk 250 mm ye sığmıyor, çift sıra donatılı yapıldı

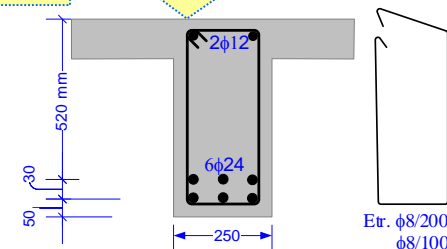
Seçilen: $6\phi 24 (2714 \text{ mm}^2)$ alt

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

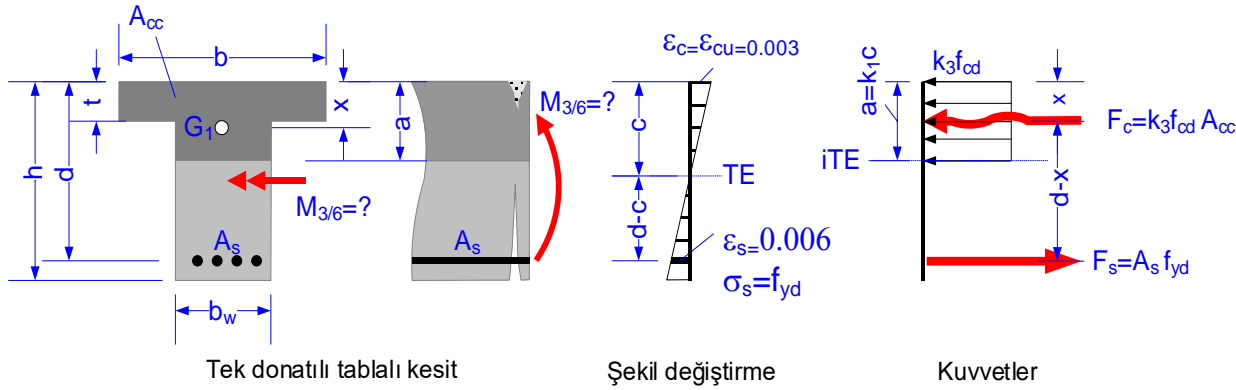
Etr.: $\phi 8/200$ ve $\phi 8/100$ konstrüktif

$$\rho = 2714 / (250 \cdot 550) = 0.0197$$

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



Tablalı bir kesitin 0.003/0.006 deformasyonla moment taşıma kapasitesi



a > t durumu için: Yatay denge denklemi

$$\left[(b-b_w)t + b_w \frac{k_1 d}{3} \right] k_3 f_{cd} = A_{s,3/6} f_{yd}$$

$$\rho_{3/6} = \frac{A_{s,3/6}}{b_w d} = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left[\frac{k_1}{3} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \frac{t}{d} \right]$$

$$A_{s,3/6} = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left[\frac{k_1}{3} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \frac{t}{d} \right] b_w d$$

Moment denge denklemi $M_{3/6} = A_{s,3/6} f_{yd} (d-x)$

$$x = \frac{1}{2} \left(\frac{(b-b_w)t^2 + b_w \left(\frac{k_1 d}{3} \right)^2}{(b-b_w)t + b_w \frac{k_1 d}{3}} \right)$$

$$M_{3/6} = k_3 f_{cd} \left[\frac{k_1}{3} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \frac{t}{d} \right] b_w d (d-x)$$

BİLİNENLER:

Kesit boyutları (b, b_w, t, d, h), malzeme (beton ve çelik sınıfı), denetim koşulları, Beton ve donatı birim deformasyonları $\epsilon_c = 0.003$ $\epsilon_s = 0.006$

ARANAN:

Donatı alanı A_{s,3/6} ve kesitin moment kapasitesi nedir?

ÇÖZÜM:

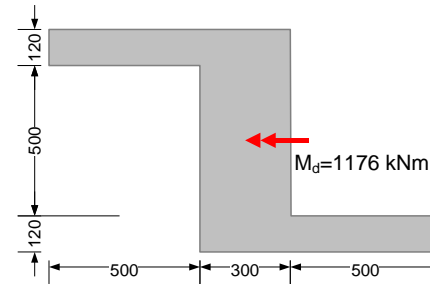
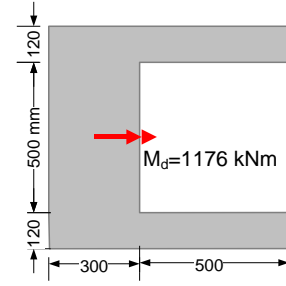
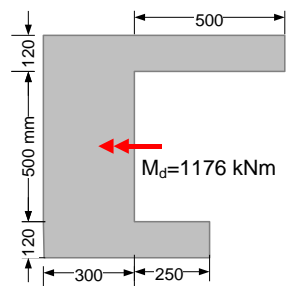
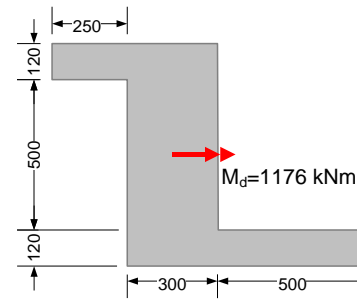
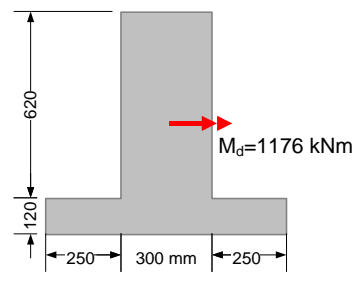
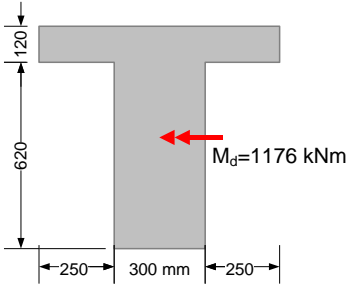
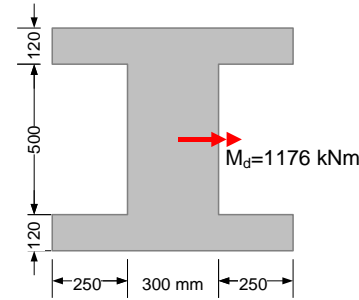
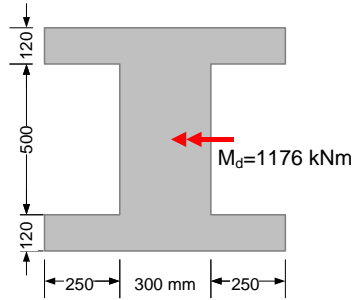
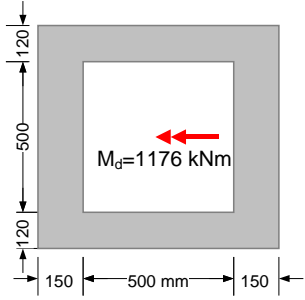
Uygunluk (süreklilik) koşulu (şekil değiştirme diyagramından orantı ile):

$$\frac{0.003}{0.006} = \frac{c}{d-c} \quad c = \frac{d}{3} \quad a = k_1 \frac{d}{3}$$

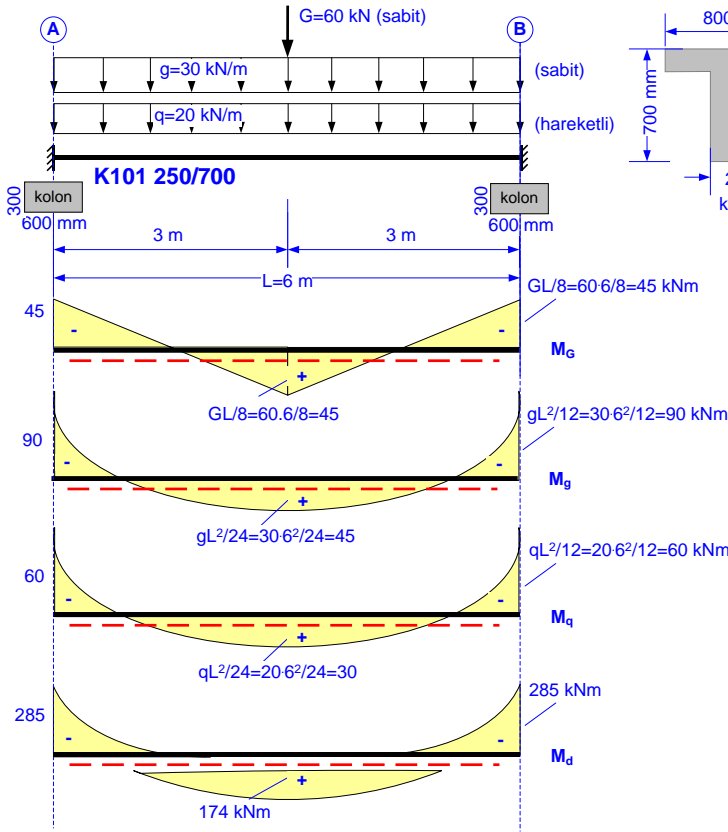
Not: 0.003/0.006 birim deformasyon değerleri Tablalı kesitin tek donatılı olarak taşıyabileceği eğilme momenti kapasitesinin üst sınır olarak alınmalıdır. Daha büyük moment etkimesi durumunda kesit büyütülmelidir.

Aşağıda verilen kesitlerin M_d momentini güvenle taşıyabilmesi gerekli olan donatı çap ve sayısını belirleyiniz, kesiti çiziniz. 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 yapınız.

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: $M_d=1.4(45+45)+1.6\cdot30=174\text{ kNm}$

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

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 $b=800\text{ mm}$ olarak verilmiştir. Ancak tamamı çalışır mı? kontrol edilmesi gerekir.

$b_1=b_2=0.1(0+0.7\cdot5400)=378\text{ mm}<0.2l_0=756\text{ mm}$, $b\leq250+378+378=1006\text{ mm}>b=800\text{ mm}$ olduğundan tablanın tamamı çalışır, $b=800\text{ mm}$ alınacaktır.

C25/30-B420C malzemesi için:

$f_{cd}=16.67\text{ N/mm}^2$, $f_{ctd}=1.17\text{ N/mm}^2$, $f_{yd}=365.22\text{ N/mm}^2$, $\rho_b=0.0205$

Min $\rho=0.8\cdot1.17/365.22=0.0026$, Max $\rho=0.02$

Max $(\rho-\rho')=0.85\rho_b=0.85\cdot0.0205=0.0174$

$$b \leq b_w + b_1 + b_2$$

Bu iki koşul hem mesnette hem de açıklıklarda sağlanmalı

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

Açıklık donatısı, Formülle hesap:

$$M^T = k_3 f_{cd} t b (d - t/2) = 0.85 \cdot 16.67 \cdot 800 \cdot 100 \cdot (650 - 100/2) =$$

$$M^T = 680.1 \text{ kNm} > 174 \text{ kNm}$$

$$K = 174 \cdot 10^6 / 800 / 650^2 = 0.515$$

$$K = M_d / b / d^2$$
$$\rho = 0.00144$$

$$A_s = 0.00144 \cdot 800 \cdot 650 = 749 \text{ mm}^2$$

Seçilen: 3φ18 (763 mm²) **alt**

Montaj : 3φ12 (339 mm²) **üst**

Kontrol:

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

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

A ve B mesnedi donatısı, Formülle hesap:

$$K = 285 \cdot 10^6 / 250 / 650^2 = 2.7 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \rho = 0.0083$$

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

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

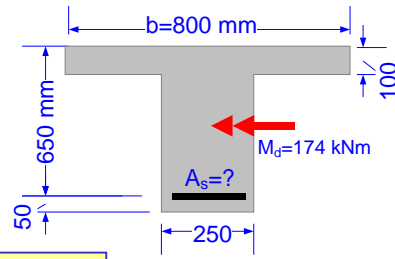
Seçilen ek: 4φ18 (1018 mm²) **üst**

Kontrol:

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

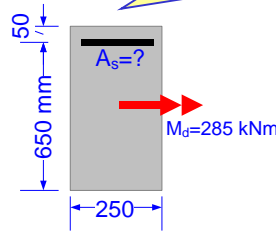
Mesnetler altta: 763 mm² > 1357/2 = 679 mm² ✓

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



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

Tabla çekme bölgesinde olduğundan çalışmaz, hesap için kesit dikdörtgen modelleneyecektir



Gövde donatısı:

$h > 60 \text{ cm}$ 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. $\rho_w = A_{sw} / s / b_w \geq \text{Min } \rho_w = 0.3 \cdot f_{ctd} / f_{yd}$

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

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: 20 cm den daha seyrek sargı kullanmayız

Etriye aralığı yüksekliğin yarısından fazla olamaz

Etr. φ8/200 orta bölgede

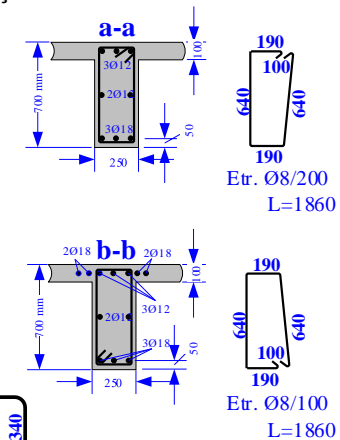
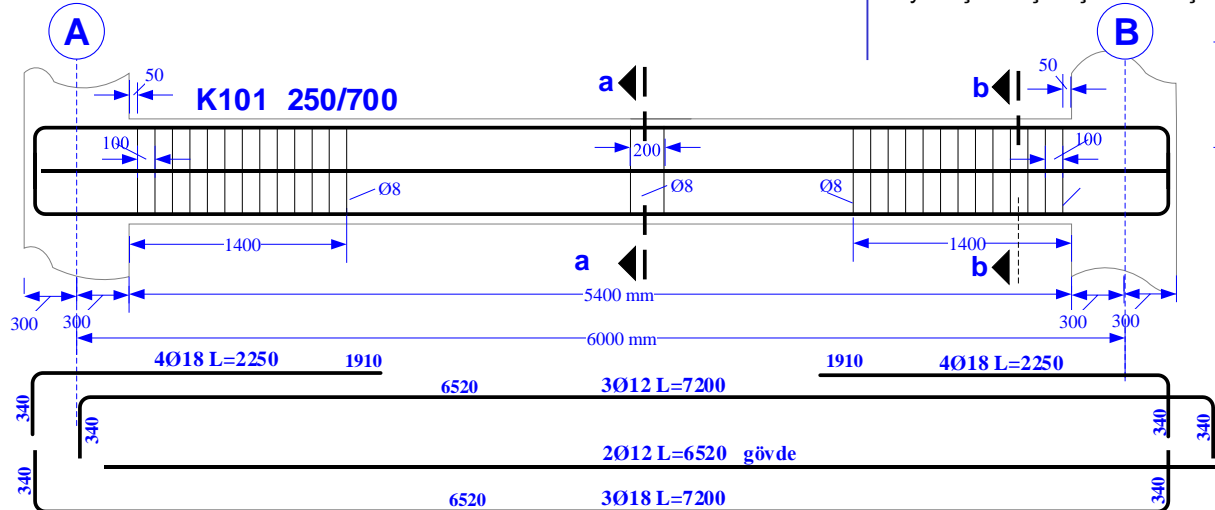
φ8/100 sarılma bölgelerinde **Karar**

Çizim:

1/20 ölçekli boyuna ve en az bir enine kesit çizilir. Kenetlemeyi sağlamak için boyuna donatılar kenar mesnetlerde aşağı-yukarı bükülür. 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.

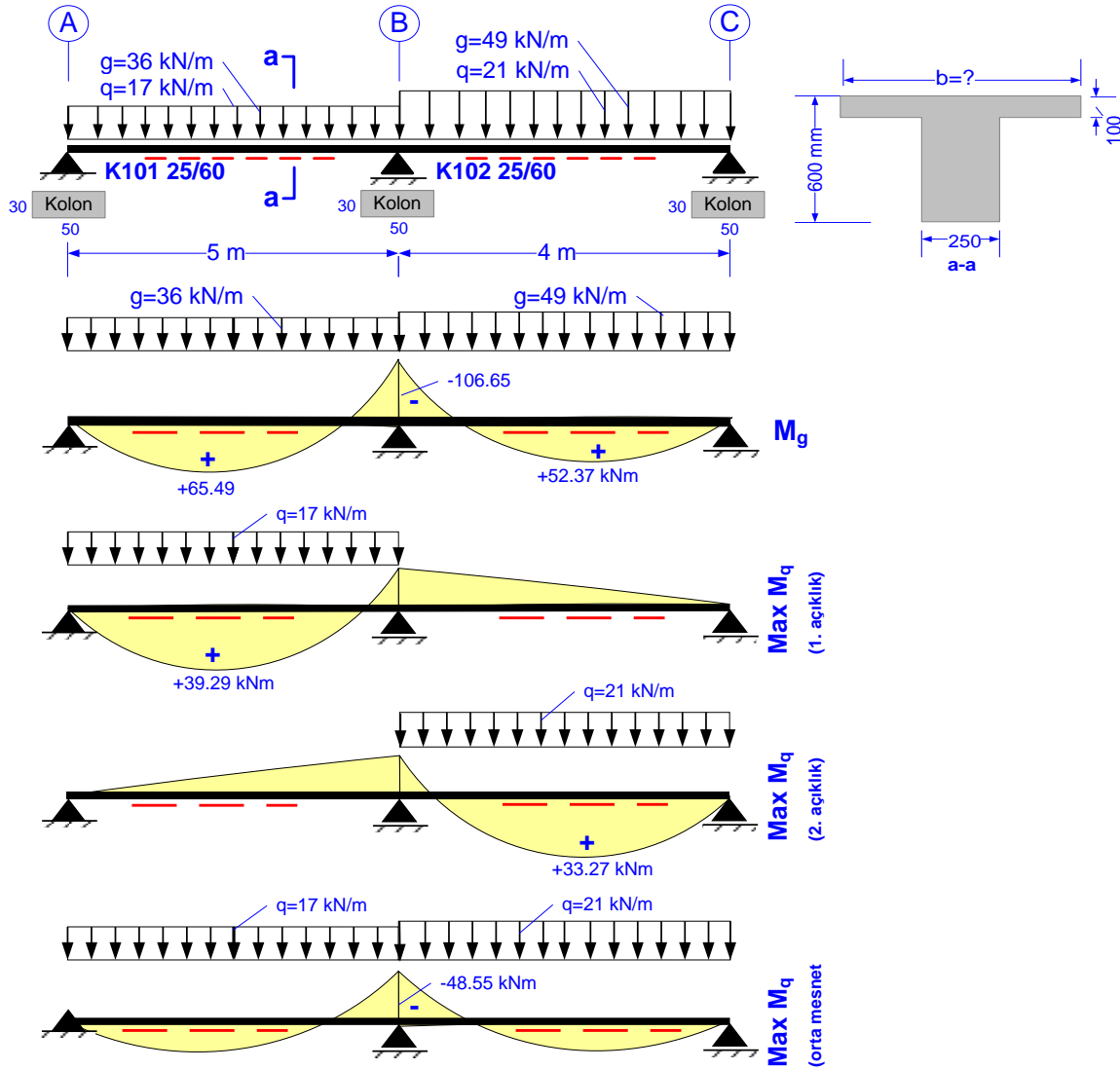
$$K = \frac{M_d}{b_w d^2}$$
$$\rho = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{k_3 f_{cd}}} \right)$$
$$A_s = \rho b_w d$$
$$a = \frac{\rho f_{yd} d}{k_3 f_{cd}} \text{ veya } a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b_w}$$



C25/30-B420C

1AÇIKLAMA: TBDY-2018 e göre montaj donatısı mesnet donatısının en az ¼ ü olmalıdır (Bak: Giriş sınır değerleri). Mesnette hesap henüz yapılmadığından donatısı belli değildir. Ancak iyi bir tahmin yapılabilir.: Açıklıkta 174 kNm moment için 750 mm² donatı hesaplandı. Mesnette 285 kNm 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.

ÖRNEK: Kiriş donatı hesabı ve çizimi



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.

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

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

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

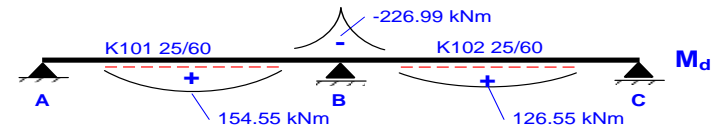


Tabla açıklıklarda çalışır(basınç bölgesinde)

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:

$$\begin{aligned} \text{K101 açıklığında } b_1 = b_2 = 0.1(4000 + 0.85 \cdot 4500) &= 782 \text{ mm} < 0.2 \cdot 3825 = 765 \text{ mm}, b \leq 250 + 765 + 765 = 1780 \text{ mm} \\ \text{K102 açıklığında } b_1 = b_2 = 0.1(4000 + 0.85 \cdot 3500) &= 697 \text{ mm} < 0.2 \cdot 2975 = 595 \text{ mm}, b \leq 250 + 595 + 595 = 1440 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b \leq b_w + b_1 + b_2$$

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

C35/45-B420C malzemesi için:

$$f_{cd} = 23.33 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.38 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 365.22 \text{ N/mm}^2, \rho_b = 0.0267$$

$$\text{Min } \rho = 0.8 \cdot 1.38 / 365.22 = 0.0031, \text{ Max } \rho = 0.02$$

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

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

K101 açıklık donatısı, Formülle hesap:

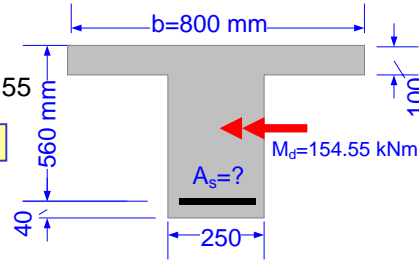
$$M^T = 0.85 \cdot 23.33 \cdot 800 \cdot 100 \cdot (560 - 100 / 2) = 809.2 \text{ kNm} > 154.55$$

$$K = 154.55 \cdot 10^6 / (800 \cdot 560^2) = 0.616$$

$$\rho = 0.001714$$

$$A_s = 0.001714 \cdot 800 \cdot 560 = 768 \text{ mm}^2$$

$$K = M_d / b \cdot d^2$$



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.
•Pilye yapılıp-yapılmayacağına, çubukların kesilip kesilmeyeceğine karar verilir.
KARAR: Pilye yapılmayacak, çubuklar elden geldiğince kesilmeyecek

Kontrol:

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

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

K102 açıklık donatısı, Formülle hesap:

$$M^T = 0.85 \cdot 23.33 \cdot 800 \cdot 100 \cdot (560 - 100 / 2) = 809.2 \text{ kNm} > 126.55$$

$$K = 126.55 \cdot 10^6 / (800 \cdot 560^2) = 0.504$$

$$\rho = 0.00140$$

$$A_s = 0.0014 \cdot 800 \cdot 560 = 627 \text{ mm}^2$$

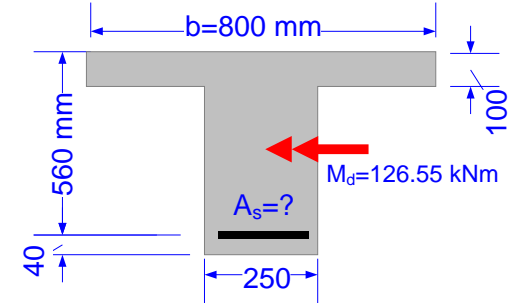
Seçilen 4 ϕ 14 (616 mm²) alt

Montaj 3 ϕ 12 (339 mm²) üst

Kontrol:

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

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



1AÇIKLAMA: TBDY-2018 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 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 yapıp 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, Formülle hesap:

$$K=226.99 \cdot 10^6 / 250 / 560^2 = 2.9 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \rho = 0.00861$$

$$A_s = 0.00861 \cdot 250 \cdot 560 = 1205 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ek}} = 1205 - 339 = 866 \text{ mm}^2$$

Seçilen ek: 3φ20 (942 mm²) üst

Kontrol:

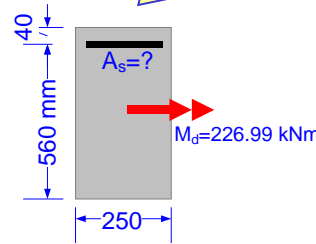
$$A_{s \text{ Mesnet}} = 942 + 339 = 1281 \text{ mm}^2$$

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

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

Donatı oranı, Min ρ-Max ρ arasında olduğundan donatı oranlarını kontrole gerek yoktur.

Tabla çekme bölgesinde olduğundan çalışmaz, hesap için kesit dikdörtgen modellendi



Mesnet momentinin gerektirdiği donatı alanı

Mevcut 3φ12(339 mm²) düşülüyor

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

Mesnetin üstündeki toplam donatı

Mesnet altındaki donatı üstündekinin yarısından az olamaz

Montaj donatısı mesnet tekinin ¼ ünden az olamaz

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 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.

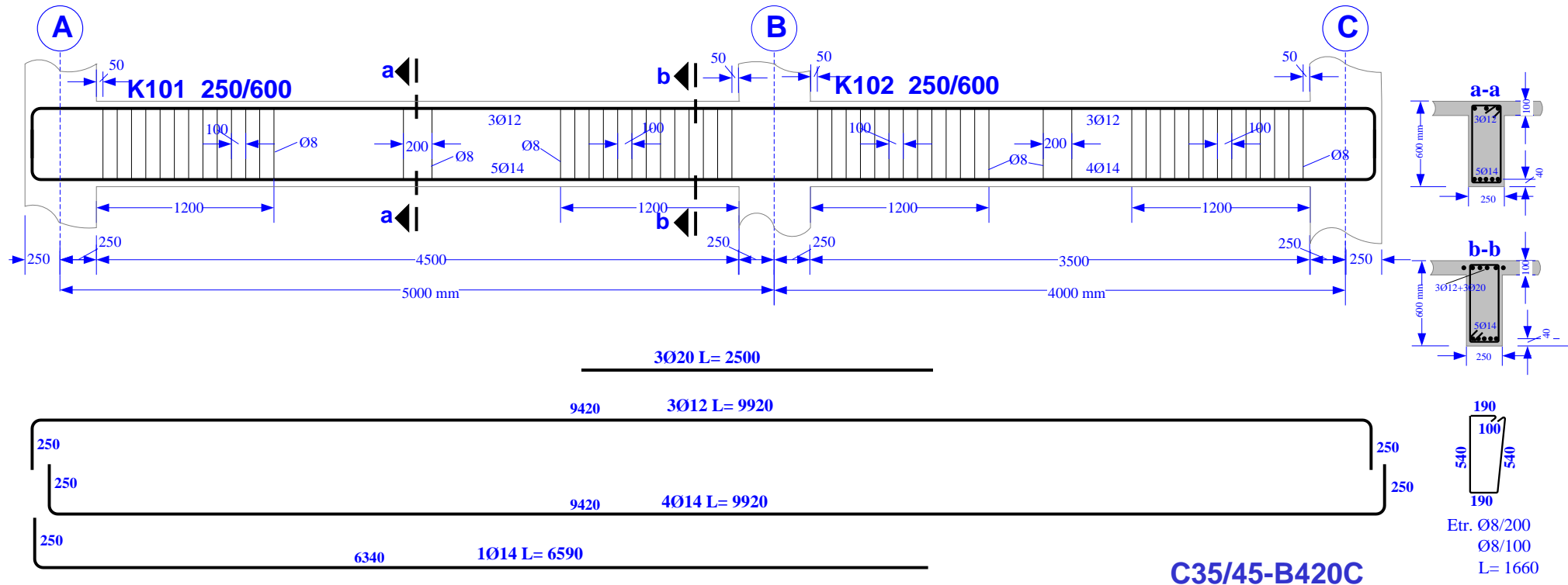
Şantiyeye gidecek çizimin hazırlanması - Kiriş açılımı :

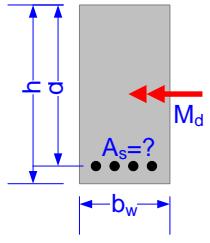
Hesaplar özetlenirse; K101 kirişinin alt tarafına 5φ14, üst tarafına 3φ12, K102 kirişinin alt tarafına 4φ14, üst tarafına 3φ12 ve orta mesnedin üstüne 3φ20 ek donatı konulacaktır. 4φ14 her iki açıklıkta ortak olduğundan ve toplam çubuk boyu 12 m yi aşmayacağı için kesilmeden boydan boya uzatılacaktır. 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.



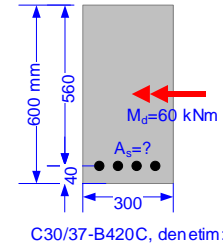


Bir kirişin soldaki kesitinin boyutları(b_w , h , d), malzemesi(beton ve çelik sınıfı), denetim koşulları(γ_{mc}) ve kesiti zorlayan momenti(M_d) biliniyor.

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 excel tablosu verilmiştir. Bu tablolardaki uygun K değeri 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 $\rho \leq \rho_{3/6}$ ile sınırlandırılır. Tabloda bütün sınır değerler otomatik olarak kontrol edilmekte ve gerekirse uyarı mesajı çıkmaktadır.

Tablolarla 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.



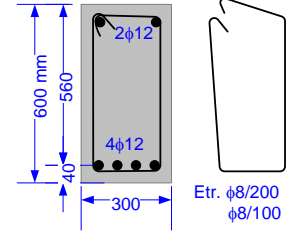
ÖRNEK: Soldaki kesitte $A_s = ?$

Excel tablosunda $M_{3/6}=377.41$ kNm dir. $K=M_d/b_w/d^2=10 \cdot 60 \cdot 10^6/300/560^2=0.6377$ N/mm², $\rho=0.00178 < \text{Min } \rho \approx 0.0028$. 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. $A_s=0.0028 \cdot 300 \cdot 560=470$ mm².

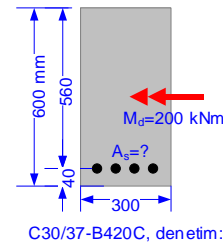
Seç.: 4 ϕ 12 (452 mm²) alt-çekme donatısı

2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, zaten Min donatı kondu



Etr. ϕ 8/200
 ϕ 8/100



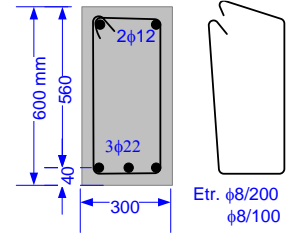
ÖRNEK: Soldaki kesitte $A_s = ?$

Excel tablosunda $M_{3/6}=377.41$ kNm dir. $K=M_d/b_w/d^2=10 \cdot 200 \cdot 10^6/300/560^2=2.1259$ N/mm², $\rho=0.00624$. Min ρ -Max ρ sınırları arasındadır. $A_s=0.00624 \cdot 300 \cdot 560=1048$ mm².

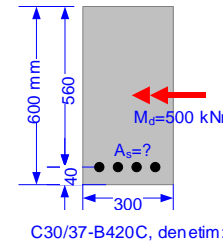
Seç.: 3 ϕ 22 (1140 mm²) alt-çekme donatısı

2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, zaten Min-Max arasındadır



Etr. ϕ 8/200
 ϕ 8/100



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

Excel tablosunda $M_{3/6}=377.41$ kNm dir. $K=M_d/b_w/d^2=500 \cdot 10^6/300/560^2 \approx 5.3146$ N/mm², $\rho = 0.0180$, Sehim hesabı gerektirmeyecek A_s istendiğinden $\rho \leq \rho_{3/6} = 0.0127$ 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 arttırmak, hedef ara fonksiyonu ile $M_{3/6}=500$ kNm, değerini alması için gerekli d aranırsa: $h=645.5+40=685.5$ 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.

$K=500 \cdot 10^6/300/660^2=3.8261$ N/mm², $\rho=0.0120$ olur.

$A_s=0.012031 \cdot 300 \cdot 660=2382$ mm²

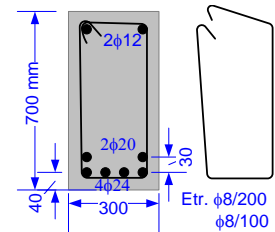
Kesite sığmaz, çift sıra yapılacaktır.

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

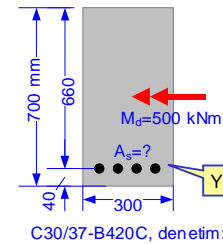
2 ϕ 20 (628 mm²) alt-2.sıra çekme donatısı

2 ϕ 12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, otomatik olarak $\rho - \rho' \leq \rho_{3/6}$ dir.

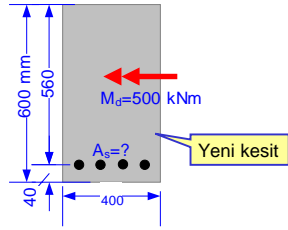


Etr. ϕ 8/200
 ϕ 8/100



Yeni kesit

C30/37-B420C, denetim: iyi



C30/37-B420C, denetim: iyi

2) Kesit genişliğini arttırmak, hedef ara fonksiyonu ile $M_{3/6}=500$ kNm, değerini alması için gerekli b_w aranırsa: $\rightarrow b_w=397.4$ mm, $b_w=400$ mm alalım. Artık hesabın devamını $b_w=400$ mm, $h=600$ mm, $d=600-40=560$ mm için yapmalıyız.

$K=500 \cdot 10^6 / 400 / 560^2 = 3.986$, $\rho = 0.01263$ okunur.

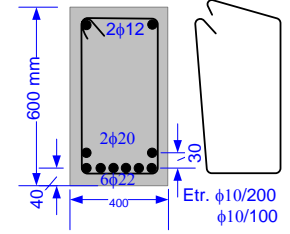
$A_s = 0.01263 \cdot 400 \cdot 560 = 2828$ mm² Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.

Seç.: 6φ22 (2281 mm²) alt-1.sıra

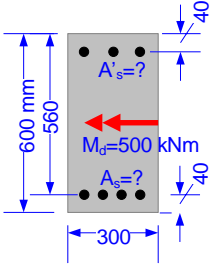
2φ20 (628 mm²) alt-2.sıra

2φ12 (226 mm²) üst-montaj

Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, otomatik olarak $\text{Min } \rho < \rho \leq \rho_{3/6}$ dir.



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



C30/37-B420C, denetim: iyi

Excel tablosundan

$A_s = 2137 + 645 = 2783$ mm² Kesite sığmaz, çift sıra yapılacak.

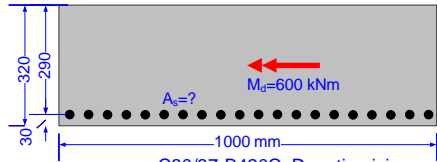
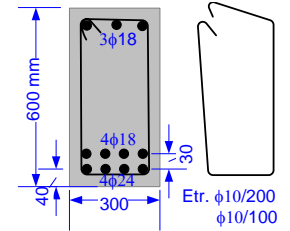
$A'_s = 645$ mm²

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 $\rho - \rho' \leq \rho_{3/6}$ ve $\rho \leq 0.02$ dir.



C30/37-B420C, Denetim: iyi

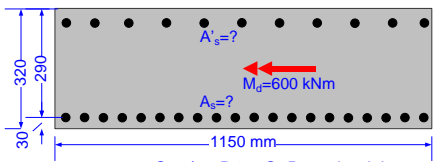
ÖRNEK: Soldaki kesitin yüksekliğini artırmak mümkün değildir. Sehim hesabı gerektirmeyecek $A_s = ?$

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 diğ yüksekliği ile aynı olmak zorundadır.

$M_d = 600 > M_{3/6} = 337.38$ kNm. Bu, kesitin tek donatılı olarak yetersiz olduğu anlamına gelir. Büyütülmeli veya çift donatılı yapılmalıdır.

Çift donatılı yapmayı deneyelim : $A_s = 3690 + 2766 = 6455$ mm². $\rho = 0.02226 > 0.02$ 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. olmalı. $b_w = 115$ cm = 1150 mm seçelim. Bu yeni kesit için A_s ve A'_s yi hesaplayalım.



C30/37-B420C, Denetim: iyi

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

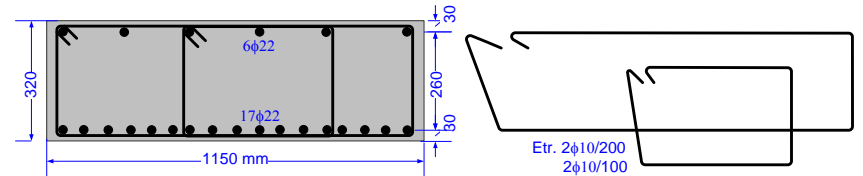
$K = 62$ ve $d'/d = 0.10$ için $\omega = 194$, $\omega' = 67$ okunur.

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

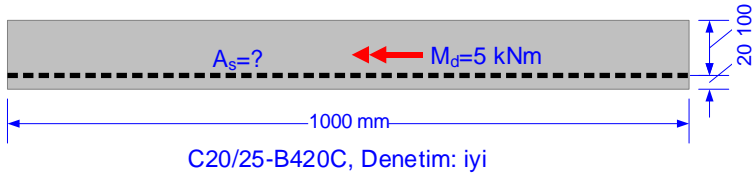
$A'_s = 0.0067 \cdot 1150 \cdot 290 = 2234$ mm²

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

9φ20 (2826 mm²) üst-basınç donatısı



Donatı oranlarını kontrole gerek yoktur, otomatik olarak $\rho - \rho' \leq \rho_{3/6}$ ve $\rho \leq 0.02$ dir.

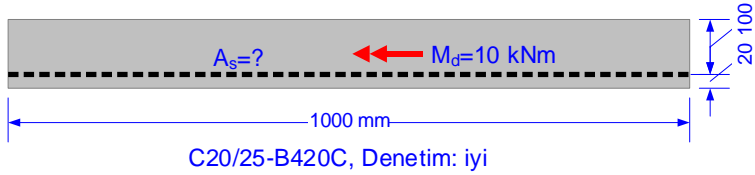


ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döseme şeridi solda verilmiştir, $A_s=?$

($M_d=5 \text{ kNm} < M_{3/6}=27.56 \text{ kNm}$) $K=M_d/b_w/d^2=5 \cdot 10^6/1000/100^2=0.5$, $\rho=0.0014 < \text{Min } \rho=0.0015$,
 $A_s=0.0015 \cdot 1000 \cdot 100=150 \text{ mm}^2$

Seç.: $\phi 8/180(279 \text{ mm}^2)$

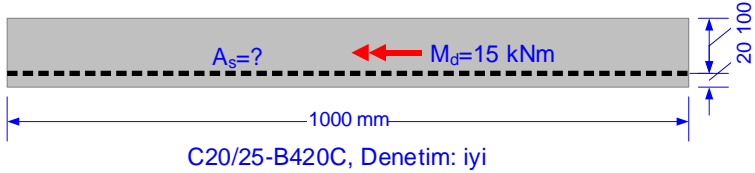
1.5 h koşulu



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

($M_d=10 \text{ kNm} < M_{3/6}=27.56 \text{ kNm}$) : $K=M_d/b_w/d^2=10 \cdot 10^6/1000/100^2=1.0$, $\rho=0.0029 > \text{Min } \rho=0.0015$,
 $A_s=0.0029 \cdot 1000 \cdot 100=290 \text{ mm}^2$

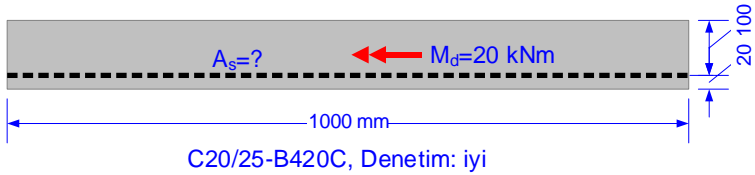
Seç.: $\phi 8/170(296 \text{ mm}^2)$



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

($M_d=15 \text{ kNm} < M_{3/6}=27.56 \text{ kNm}$) : $K=M_d/b_w/d^2=15 \cdot 10^6/1000/100^2=1.5$, $\rho=0.00442 > \text{Min } \rho=0.0015$,
 $A_s=0.00442 \cdot 1000 \cdot 100=442 \text{ mm}^2$

Seç.: $\phi 10/175(449 \text{ mm}^2)$

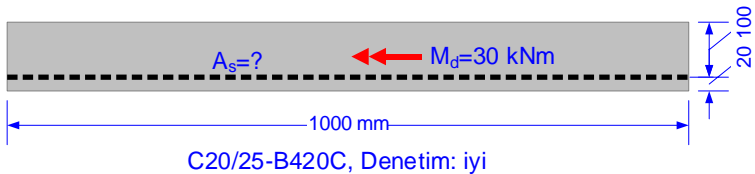


ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döseme şeridi solda verilmiştir, $A_s=?$

($M_d=20 \text{ kNm} < M_{3/6}=27.56 \text{ kNm}$) : $K=M_d/b_w/d^2=20 \cdot 10^6/1000/100^2=2.0$, $\rho=0.00607 > \text{Min } \rho=0.0015$,
 $\rho=0.0061$, $A_s=0.0061 \cdot 1000 \cdot 100=610 \text{ mm}^2$

Seç.: $\phi 12/180(628 \text{ mm}^2)$

1.5 h koşulu

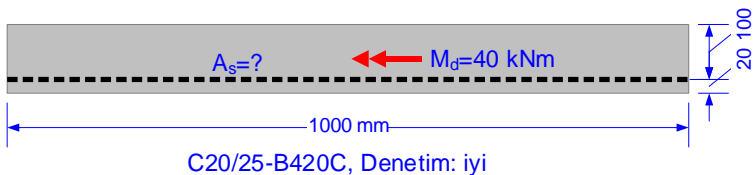


ÖRNEK: İki doğrultuda çalışan bir döseme şeridi solda verilmiştir, $A_s=?$

($M_d=30 \text{ kNm} > M_{3/6}=27.56 \text{ kNm}$) : $K=M_d/b_w/d^2=30 \cdot 10^6/1000/100^2=3.0$, $\rho=0.0097$
 $A_s=0.0097 \cdot 1000 \cdot 100=970 \text{ mm}^2$

Seç.: $\phi 14/155(993 \text{ mm}^2)$

Çubuk çapı fazla! Döseme kalınlığını artırmak daha uygun olur



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

($M_d=40 \text{ kNm} > M_{3/6}=27.56 \text{ kNm}$) Döseme çift donatılı yapılamaz, kalınlık yetersizdir, artırılması gerekir.