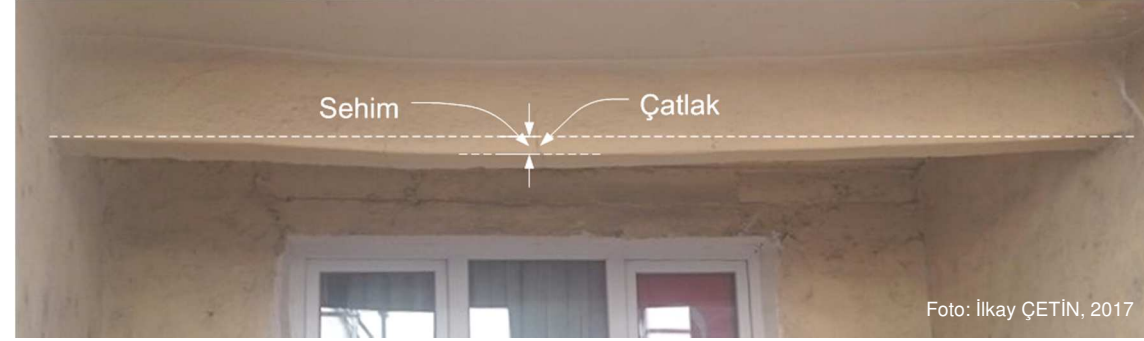


Kullanılabilirlik:

Yer değiştirme(sehim) ve çatlak kontrolü (TS500-2000)



Tanımlar:

Kullanım yükü=servis yükü=işletme yükü: Yapının kullanım amacı gereği etkiyen g sabit ve q hareketli yükleridir. Deprem ve rüzgar yükleri kullanım yükü değildir. Çünkü deprem ve rüzgar yükü yapının kullanım amacı dışındadır, deprem sırasında yapı zaten kullanılmaz.

Kullanılabilirlik: Kullanım yükü etkisindeki yapıda aşırı yer değiştirme=sarkma=sehim ve aşırı çatlak olmamalıdır. Aşırı sehim olursa yapıdaki taşıyıcı olmayan duvarlarda, kaplamalarda hasar olur, kapı ve pencereler-açılıp kapanamaz, camlar kırılır, hassas makineler işlevini yerine getiremez. Aşırı çatlak çeliğin hızlı paslanmasına neden olur. Aşırı sehim ve çatlak yapıyı kullananlarda güvensizlik yaratır. Kısacası yapı, deprem ve rüzgâr gibi afet durumu hariç, kullanılabilir olmalıdır. Deprem ve rüzgâr durumunda zaten aşırı sehim ve geniş çatlaklar olabileceğini kabul ediyoruz. Bu nedenle sehim ve çatlak kontrolü deprem ve rüzgâr dikkate alınmadan yapılır.

Taşıma gücü ilkelerine göre donatılmış bir eleman, örneğin kiriş veya döşeme, tüm yük etkilerine karşı, deprem ve rüzgâr dahil, dayanım açısından güvenlidir varsayıyoruz. Güvenliği sağlamak için, bilindiği gibi, yük katsayıları yük birleşimleri ve malzeme katsayıları kullanılır. Dayanım açısından güvenli donatılmış bir kirişin veya döşemenin ne kadar sehim yapacağı, çatlak genişliğinin ne kadar olacağını, yaklaşık da olsa, belirlenmesi, izin verilen sınırı aşp aşmadığının kontrol edilmesi gerekir. Son yıllarda, yüksek dayanımlı beton(C30/37, C40/50 gibi) kullanımı sonucu mühendisler kiriş, döşeme ve kolonların kesitlerini küçültme, bir gün içinde kalıp-iskele sökme eğilimindedirler. Bunun sonucu olarak aşırı sehim ve çatlaklar oluşmaktadır. Sehim ve çatlak genişliği hesabı yaklaşık, kesin değeri hesaplamak imkansızdır. Gerçek sehim hesaplanandan 2-3 kat büyük olabilir.

Yük katsayılar ve birleşimleri: Kullanılabilirlik kontrolünde(sehim ve çatlak genişliği kontrolü) amaç güvenliği sağlamak olmadığında tüm yük katsayıları ve malzeme katsayıları 1(bir) alınır. Yük birleşimleri

$$F_k = G + Q$$

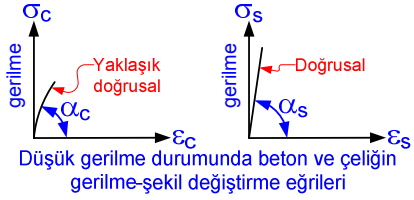
1

dir. Bu şu anlama gelmektedir: $1.4G + 1.6Q$ için donatılmış bir kesitteki gerilmeler büyük, $G + Q$ yükü için küçüktür. Kullanım yükü altında gerilmeler yaklaşık olarak $(G + Q) / (1.4G + 1.6Q) \approx (G + Q) / 1.5(G + Q) = 0.67 \approx 0.7$ katıdır. Taşıma gücünde çelik gerilmesi $\sigma_s = f_{yd}$ olduğundan kullanım yükü altında

$$\sigma_s \approx 0.7 f_{yd}$$

2

civarında olur. Yük katsayıları 1 alındığından, deprem ve rüzgar yükleri de hesaba katılmadığından, kullanım yükleri altında beton ve çelik gerilmelerinin düşük kalacağı sonucuna varılır.

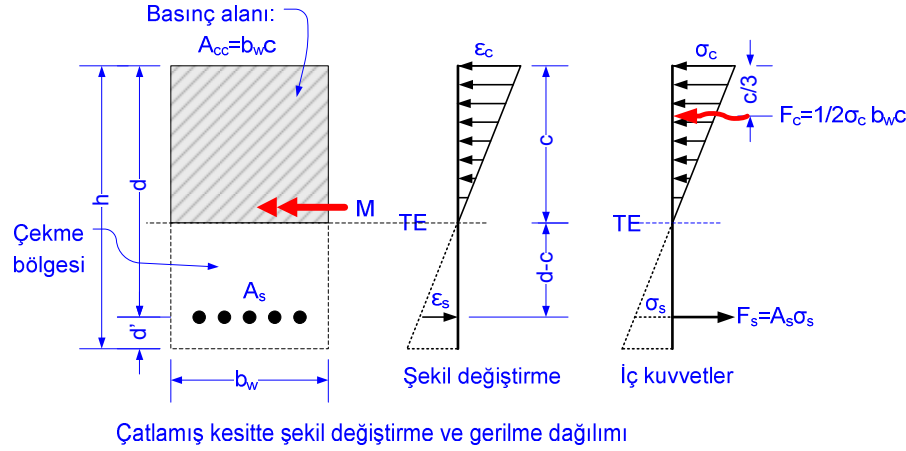


$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c \quad (\text{Hooke geçerli}) \quad (3)$$

$$E_c \approx \tan \alpha_c$$

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad (\text{Hooke geçerli}) \quad (4)$$

$$E_s = \tan \alpha_s = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$



Kullanım yükleri altında malzeme davranış varsayımları:

Düşük gerilme altında beton ve çeliğin gerilme-şekil değiştirme bağıntısının doğrusal olduğu, yani Hooke kanununa uyduğu varsayılır. Bu varsayım çelik için doğru, beton için yaklaşık doğrudur. Çünkü betonun elastisite modülü gerilme düzeyine ve zamana bağlı olarak değişir. Ancak, sehim ve çatlak hesapları için daha doğru ve daha basit bir hesap yolu yoktur. Bu varsayımlara dayalı teoriye **elastik teori=doğrusal teori=elastik hesap=emniyet gerilmeleri yöntemi** denir.

Kullanım yükü altında kesitte şekil değiştirme ve iç kuvvetler:

Soldaki çizimde $M = M_g + M_q$ momenti etkisinde olan tek donatılı dikdörtgen kesitin şekil değiştirme ve iç kuvvet durumu gösterilmiştir. c tarafsız eksenin derinliğidir. Beton için $\sigma_c = E_c \varepsilon_c$ olduğu, yani betonun Hooke kanununa uyduğu varsayıldığı için basmaç bloğu üçgen prizmadır.

Şekil değiştirme diyagramından: $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} = \frac{c}{d-c} \quad (5)$

İç kuvvet dengesinden:

$$F_c = F_s \rightarrow 1/2 \sigma_c b_w c = A_s \sigma_s \rightarrow 1/2 b_w c = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} A_s \rightarrow 1/2 b_w c = \frac{E_s \varepsilon_s}{E_c \varepsilon_c} A_s$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (6)$$

sabit alınarak ve 5 bağıntısı ile

$$1/2 b_w c^2 = (d-c)nA_s \quad (7)$$

Basmaç alanının tarafsız eksene göre statik momenti = donatı alanının n katının aynı eksene göre statik momenti

bulunur.

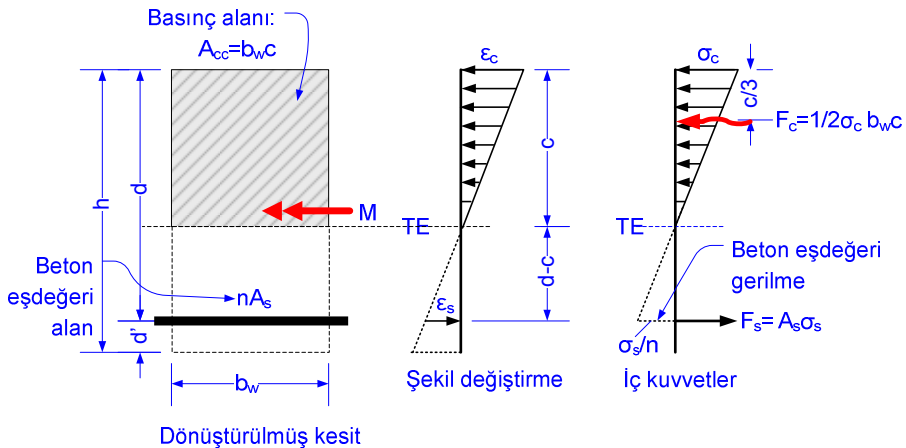
Dönüştürülmüş kesit:

7 bağıntısı; basmaç alanının tarafsız eksene göre statik momentinin A_s donatı alanının n katına eşit olduğu anlamındadır. nA_s değeri betona dönüştürülmüş çelik alanı olmaktadır. Bu bilgi ışığında kesit soldaki gibi modellenilebilir. Kesitte sadece beton varmış gibi düşünülür. Dikkat edilirse, çelik çubukların bulunduğu düzeyde beton gerilmesi σ_s/n alınmıştır. Netice olarak şekil değiştirme diyagramı ve iç kuvvetler aynıdır: $F_s = nA_s \sigma_s/n = A_s \sigma_s$. Bu kesite **dönüştürülmüş kesit** denir.

Kullanım yükleri altında tarafsız eksenin derinliği c :

Basmaç alanının ve basmaç bölgesindeki beton eşdeğeri çelik alanının tarafsız eksene göre statik momenti = çekme bölgesindeki beton eşdeğeri çelik alanının aynı eksene göre statik momenti

bağıntısı yazılarak bulunur.



Kesiti çatlatan moment M_{cr} :

Mukavemetten bilindiği üzere herhangi bir M momenti etkisindeki kesitte gerilme $\sigma=M y/I$ dır. Betonun aksel çekme karakteristik dayanımı f_{ctk} dır. Eğilme çekme dayanımı ise bunun yaklaşık 2 katıdır. Betondaki çekme gerilmesi $\sigma=\sigma_{ct}=2.5f_{ctk}$ yı aşınca beton çatlayacaktır. Çatladığı andaki momenti M_{cr} ile, kesitin ağırlık merkezinden geçen yatay eksene göre atalet momentini I_c ile gösterelim. Buna göre $2f_{ctk} = M_{cr} y/I_c$ olur. Buradan kesiti çatlatan moment

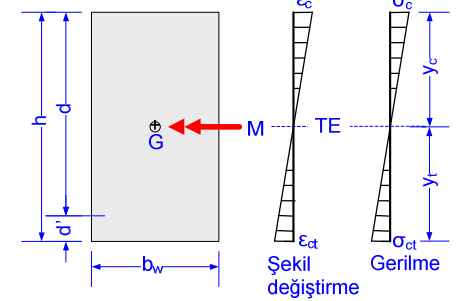
$$M_{cr} = 2f_{ctk} I_c / y$$

olur. TS500-2000 de

$$M_{cr} = 2.5f_{ctd} I_c / y \quad \text{8} \quad \text{Kesiti çatlatan moment}$$

olarak verilmektedir. **Burada y ağırlık merkezinden geçen yatay eksenin çekme yüzüne olan mesafesidir.** Çekme altta ise $y=y_t$, üstte ise $y=y_c$ alınır. Dikdörtgen kesitte $y_c=y_t=h/2$ dir. Diğer; örneğin tablalı kesitte, $y_c \neq y_t \neq h/2$ dir. Kullanım yükünden kesitte oluşan moment $M \leq M_{cr}$ ise kesit çatlamamış, $M > M_{cr}$ ise çatlamış varsayılacaktır. I_c ye çatlamamış kesit atalet momentini denir. I_c nin hesabında sadece brüt beton dikkate alınır, donatı dikkate alınmaz. Örneğin, dikdörtgen kesitte $I_c = b_w h^3 / 12$ dir. Donatının I_c ye katkısının alınmayışının nedeni a) kesiti zorlayan moment hesaplanırken donatı bilinmemektedir b) güvenli tarafta kalınmak istenmektedir.

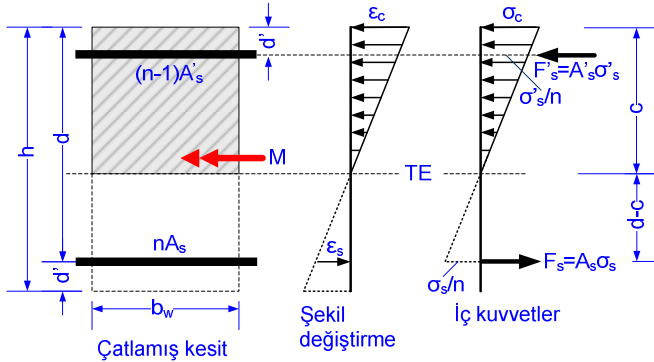
Taslak Derste anlatılmayacak



Çatlamamış kesitte şekil değiştirme ve gerilme dağılımı

Tarafsız eksen derinliğinin ve çatlamış kesit atalet momentinin bağıntıları:

Kullanım yükü altında kesit çatlamamış ($M \leq M_{cr}$) veya çatlamış ($M > M_{cr}$) olabilir. Kesit çatlayınca atalet momentini I_{cr} ile gösterelim. I_{cr} nin hesabında basınç ve beton eşdeğeri donatı alanları dikkate alınır, çekme alanı dikkate alınmaz. $I_{cr} < I_c$ dir. Bu tanımlar dikkate alınarak I_{cr} mukavemetten bilinen yolla hesaplanır. Tarafsız eksen derinliği c ve çatlamış kesit atalet momentini I_{cr} için bağıntılar aşağıda verilmiştir. I_{cr} nin hesabında donatının kendi eksenini etrafındaki atalet momentini ihmal edilir.



Dikdörtgen kesit:

$$b_w c^2 / 2 + (n-1) A_s' (c-d') - n A_s (d-c) = 0$$

$$I_{cr} = b_w c^3 / 3 + (n-1) A_s' (c-d')^2 + n A_s (d-c)^2$$

$$\sigma_s = n \frac{M}{I_{cr}} (d-c)$$

9 Tarafsız eksenin yerini veren 2^o denklem. Bu denklemden c_1 ve c_2 gibi iki değer bulunur. $0 < c < d$ koşulunu sağlayan c olarak alınır.

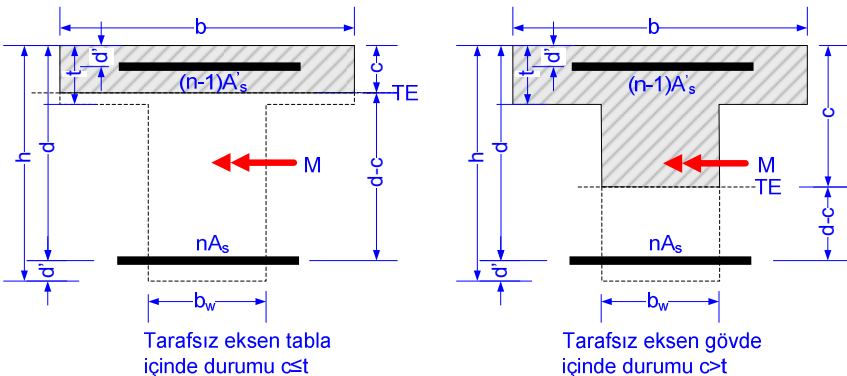
10 Çatlamış kesit atalet momentini. 9 bağıntısından bulunan c burada yerine konarak I_{cr} hesaplanır.

10a Çatlamış kesitte çelikteki çekme gerilmesi

Tablalı kesit:

Tablalı kesitte iki durum vardır. Kullanım yükü altında tarafsız eksen tabla içinde veya gövde içinde olabilir. Hangi durumun olduğunu belirlemek için aşağıdaki şu yol izlenir:

$c \leq t$ olduğu varsayılır. Varsayılan tarafsız eksene göre basınç tarafındaki alanların statik momenti = çekme tarafındaki alanların statik momenti bağıntısı yazılır. Bu bağıntıdan c nin sayısal değeri hesaplanır. c nin sayısal değeri $c \leq t$ koşulunu sağlarsa, varsayım ve hesaplanan c doğrudur. Aksi durumda tarafsız eksen gövde içindedir, c yeniden hesaplanır.



c<t durumu(tarafsız eksen tabla içinde):

$$bc^2/2 + (n-1)A_s'(c-d') - nA_s(d-c) = 0$$

11

Tarafsız eksenin yerini veren 2^o denklem. Bu denklemden c₁ ve c₂ gibi iki değer bulunur. 0<c<d koşulunu sağlayan c olarak alınır.

$$I_{cr} = bc^3/3 + (n-1)A_s'(c-d')^2 + nA_s(d-c)^2$$

12

Çatlamış kesit atalet momenti. 11 bağıntısından bulunan c burada yerine konarak I_{cr} hesaplanır.

$$\sigma_s = n \frac{M}{I_{cr}} (d-c)$$

12a

Çatlamış kesitte çelikteki çekme gerilmesi

c>t durumu(tarafsız eksen gövde içinde):

$$bc^2/2 - (b-b_w)(c-t)^2/2 + (n-1)A_s'(c-d') - nA_s(d-c) = 0$$

13

Tarafsız eksenin yerini veren 2^o denklem. Bu denklemden c₁ ve c₂ gibi iki değer bulunur. 0<c<d koşulunu sağlayan c olarak alınır.

$$I_{cr} = bc^3/3 - (b-b_w)(c-t)^3/3 + (n-1)A_s'(c-d')^2 + nA_s(d-c)^2$$

14

Çatlamış kesit atalet momenti. 13 bağıntısından bulunan c burada yerine konarak I_{cr} hesaplanır.

$$\sigma_s = n \frac{M}{I_{cr}} (d-c)$$

14a

Çatlamış kesitte çelikteki çekme gerilmesi

Efektif(etkin) atalet momenti:

Teorik ve deneysel araştırmalar betonarme elemanlarda rijitliğin moment ile değiştiğini ortaya koymuştur. Rijitlik E_cI_{ef} ile ifade edilir. I_{ef} değerine efektif=etkin atalet momenti denilmektedir. TS500-2000 efektif atalet momentini

$$I_{ef} = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3\right] I_{cr} \quad \text{veya} \quad I_{ef} = I_{cr} + \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3 (I_c - I_{cr})$$

15

Çatlamış kesit etkili atalet momenti

ile vermektedir. M_{cr} 8 bağıntısından, I_{cr} 10 veya 12 veya 14 bağıntısından hesaplanır. Burada M_{max} kullanım yükünden kesitte oluşmuş momenttir. Basit kiriş, sürekli kiriş ve döşeme açıklığında M_{max} = açıklıktaki en büyük moment, sürekli kiriş, konsol kiriş ve döşeme mesnetlerinde M_{max} = mesnet momentidir. 15 bağıntısı hem açıklık hem de mesnet kesitlerinde etkili atalet momentinin hesabında kullanılır. Kesit çatlamış ise I_{ef} ≥ I_{cr} < I_c, çatlamamış ise I_{ef} = I_{cr} = I_c dir.

Ortalama atalet momenti:

Sürekli kiriş ve döşemelerde hem açıklık momenti hem de mesnet momenti vardır. Açıklık ve mesnet kesitlerinin hepsi çatlamış, hiç biri çatlamamış veya bazıları çatlamamış bazıları çatlamış olabilir. Bu durumda açıklık boyunca atalet momentinin ne alınacağı sorusu gündeme gelir. TS500-2000 açıklık boyunca açıklık ve mesnet atalet momentlerinin ortalamasının alınmasına izin vermektedir. Efektif atalet momentini açıklıkta I_{ef açıklık}, 1. mesnette I_{ef mesnet1}, 2. mesnette I_{ef mesnet2} ile gösterelim. Açıklık boyunca geçerli ortalama atalet momenti

$$I_{ef} = 0.5I_{ef açıklık} + 0.25(I_{ef mesnet1} + I_{ef mesnet2})$$

16

Açıklık boyunca geçerli varsayılan atalet momenti. Örneğin: Sürekli kirişlerin ara açıklıkları veya karşılıklı kenarları sürekli plak

olur. Mesnetlerden biri sürekli diğeri süreksiz ise araştırmalarda

$$I_{ef} = 0.85I_{ef açıklık} + 0.15(I_{ef mesnet1})$$

17

Açıklık boyunca geçerli varsayılan atalet momenti. Örneğin: Sürekli kirişlerin ilk ve son açıklıkları veya karşılıklı kenarlarından biri sürekli diğeri süreksiz plak

alınması önerilmektedir. 17 bağıntısı T500-2000 de yoktur.

Sağdaki grafikte sehim-zaman grafiği verilmiştir. İskele-kalıp alınır alınmaz kiriş veya döşeme yüklenmiş olur, brüt beton yükünden ani sehim oluşur. İnşaat ilerledikçe(duvarların örülmesi, sıva-tesviye-kaplama yapılması, ...) sabit yük, dolayısıyla sehim artar. Bu süreçte sünme ve büzülme de sehimi artırır. Yapı kullanıma açılınca hareketli yük de devreye girer, sehim daha da artar. Tüm bu süreçleri dikkate alarak sehim hesabı yapmak karmaşık olur. Bu nedenle sehim hesaplarında nihai sabit yük=g ve hareketli yük=q ani olarak yüklenmiş ve bu iki yükten oluşan **ani sehimin** δ_i olduğu varsayılır.

Kullanım yükü altında sehim zamanla, sünme ve büzülme etkisiyle, $\delta_{\text{sünme+büzülme}}$ kadar artar. Bu artış betonun yükleme yaşına, çevre koşullarına, kür yapılıp-yapılmadığına bağlı olarak az veya çok olur. Genellikle $\delta_{\text{sünme+büzülme}}$ sehimi ani sehim δ_i den büyük olur. Artış yaklaşık 4-5 yıl kadar sürer. Toplam sehim δ_t nin yaklaşık değeri TS500-2000 de

$$\delta_t = \delta_i + \delta_{ig} \lambda \quad (18)$$

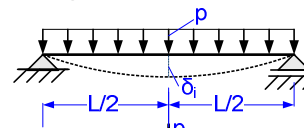
$$\lambda = \frac{\gamma_t}{1 + 50\rho'} \quad (19)$$

δ_t : Toplam sehim
 δ_i : Tüm kullanım yüklerinden oluşan ani sehim
 δ_{ig} : Kalıcı yüklerden oluşan ani sehim
 λ : Kalıcı sehim katsayısı
 γ_t : Kalıcı yük süre katsayısı. TS500-2000 çizelge 13.2 den süreye bağlı olarak alınır
 ρ' : basınç donatısı oranı

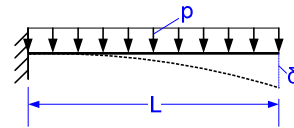
ile verilmektedir. 19 bağıntısında ρ' büyüdükçe λ , dolayısıyla δ_t küçülür. Bundan basınç donatısının zamana bağlı sehimi azalttığı anlaşılır. Kirişin açıklık ve mesnetlerinde ρ' oranı genelde farklı olur. Bu durumda ortalama alınabilir:

$$\rho' = 0.5\rho'_{\text{açıklık}} + 0.25(\rho'_{\text{mesnet1}} + \rho'_{\text{mesnet2}}) \quad (20)$$

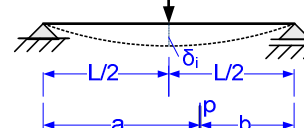
Tüm kullanım yüklerinden (sabit ve hareketli) oluşan δ_i ani sehimi mukavemetten bilinen aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanabilir:



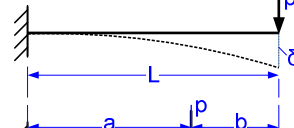
$$\delta_i = \frac{5 pL^4}{384 E_c I_{ef}} \quad (21)$$



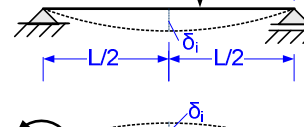
$$\delta_i = \frac{1 pL^4}{8 E_c I_{ef}} \quad (25)$$



$$\delta_i = \frac{1 pL^3}{48 E_c I_{ef}} \quad (22)$$

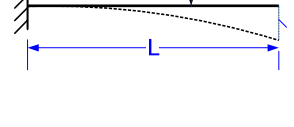


$$\delta_i = \frac{1 pL^3}{3 E_c I_{ef}} \quad (26)$$




$$\delta_i = \frac{1 pb}{48 E_c I_{ef}} (3L^2 - 4b^2) \quad (23)$$

a ≥ b

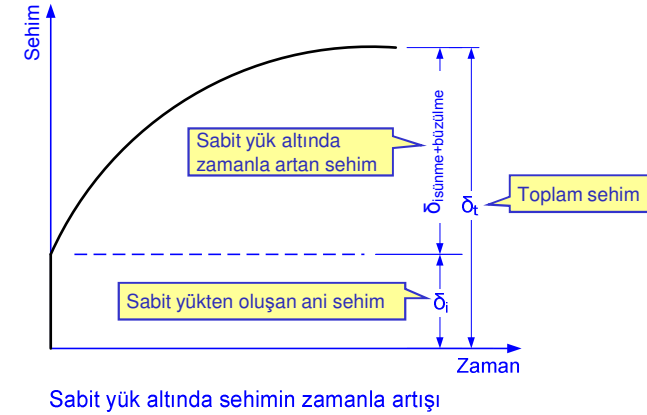


$$\delta_i = \frac{1 pa^2}{6 E_c I_{ef}} (2a + 3b) \quad (27)$$



$$\delta_i = \frac{1 ML^2}{16 E_c I_{ef}} \quad (24)$$

Bu bağıntılarda p kullanım yükü, M kullanım yükünden oluşan mesnet momenti, E_c betonun elastisite modülü, I_{ef} açıklık boyunca geçerli olan ortalama atalet momentidir. E_c değeri TS500-2000 çizelge 3.2 den alınmalıdır. Açıklıkta farklı tipten kalıcı yük varsa süperpozisyon yapılır.

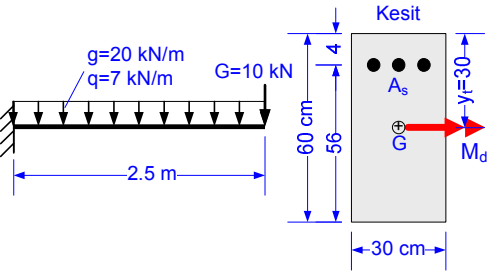


TS500-2000 çizelge 13.2	
Yükleme süresi	Süre katsayısı γ_t
3 ay	1.0
6 ay	1.2
1 yıl	1.4
5 yıl	2

Kalıcı yüklerden oluşan δ_{ig} ani sehim de 21-27 bağıntılarından veya, daha basit olarak, δ_i den orantı ile bulunabilir:

$$\delta_{ig} = \delta_i \frac{\text{Kalıcı yüklerin toplamı}}{\text{Tüm kullanım yüklerinin toplamı}} \quad (28)$$

Kalıcı yüklerin toplamı sadece sabit yüklerden oluşmaz. Genelde hareketli yükün bir kısmı da uzun süre kalıcı yüküdür. Açıklayalım: Bir konutta insan ve eşya yükleri hareketli yüküdür. İnsanlar gelirler giderler, fakat eşyalar çoğu kez konuldukları yerde sabit dururlar. Örneğin, buz dolabı, fırın, çamaşır makinesi, koltuklar, dolaplar ... Bir fabrikada da çalışanlar gelir-gider, ama makinelerin çoğu uzun süre yerinde kalır. Bu nedenle hareketli yükün bir kısmını da kalıcı yük olarak almak sünme ve büzülmeden oluşan ek sehimin daha gerçekçi tahmin edilmesini sağlar. Hareketli yükün ne kadarı kalıcıdır? Bunu net belirlemek zordur. Duruma göre bir tahmin yapmak gerekir. Konut örneği için hareketli yükün %40-%50 sini kalıcı yük alabiliriz.



ÖRNEK 1: soldaki konsol kirişin donatısı taşıma gücüne göre belirlendikten sonra sehim hesabı yapılacaktır. g ve G sabit, q hareketli yüküdür. $q=7$ kN/m hareketli yükünün $q_{kalıcı}=2$ kN/m lik kısmı sürekli kalıcıdır. Malzeme: C30/37, B420C, iyi denetimli.

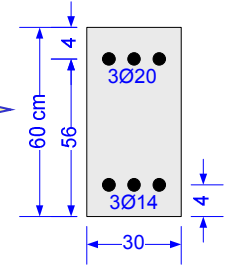
$$f_{cd}=20, f_{ctd}=1.3, f_{yd}=365, E_c=32000, E_s=2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2, n=2 \cdot 10^5/32000=6.25$$

Donatı hesabı(EK7B tablosu):

$$M_g=20 \cdot 2.5^2/2 + 10 \cdot 2.5 = 87.5, M_q=7 \cdot 2.5^2/2 = 21.9, M_d = 1.4 \cdot 87.5 + 1.6 \cdot 21.9 = 157.5 \text{ kNm}$$

$$K=10 \cdot 157.5 \cdot 10^6 / 300 \cdot 560^2 = 16.7 \rightarrow \omega=51 \rightarrow A_s=51 \cdot 300 \cdot 560 / 10^4 = 857 \text{ mm}^2$$

Seç.: 3Ø20(942 mm²) üstte, 3Ø14(462 mm²) altta-montaj. Donatı oranı alt üst sınırları sağlıyor. ✓



Sehim hesabı:

Brüt beton atalet momenti

Çatlama momenti, 8 bağıntısından

Kullanım yükü momenti, üstte çekme

$$I_c=300 \cdot 600^3/12=5.4 \cdot 10^9 \text{ mm}^4, y_t=h/2=300 \text{ mm}, M_{cr}=2.5 \cdot 1.3 \cdot 5.4 \cdot 10^9/300=58.5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}=58.5 \text{ kNm}, M=M_g+M_q=87.5+21.9=109.4 \text{ kNm}, M > M_{cr}, \text{ kesit çatlamış.}$$

$$nA_s=6 \cdot 25 \cdot 942=5888 \text{ mm}^2, (n-1)A'_s=5 \cdot 25 \cdot 462=2426 \text{ mm}^2$$

$$300c^2/2 + 2426(c-40) - 5888(560-c) = 0 \rightarrow c^2 + 54.43c - 22628.8 = 0 \rightarrow c=125.6 \text{ mm}$$

$$I_{cr}=300 \cdot 125.6^3/3 + 2426(125.6-40)^2 + 5888(560-125.6)^2 = 1.33 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef}=1.33 \cdot 10^9 + (58.5/109.4)^3(5.4 \cdot 10^9 - 1.33 \cdot 10^9) = 1.95 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$P_{g+q}=20+7=27 \text{ kN/m}, G=10 \text{ kN}, E_c I_{ef}=32000 \cdot 1.95 \cdot 10^9 \text{ N/mm}^2=62400 \text{ kNm}^2 \text{ olmak üzere:}$$

$$\delta_i = \frac{P_{g+q} L^4}{8 E_c I_{ef}} + \frac{GL^3}{3 E_c I_{ef}} = \frac{L^3}{E_c I_{ef}} \left(\frac{P_{g+q} L}{8} + \frac{G}{3} \right) = \frac{2.5^3}{62400} (27 \cdot 2.5/8 + 10/3) = 0.0029 \text{ m}$$

$$\delta_i = 2.9 \text{ mm}$$

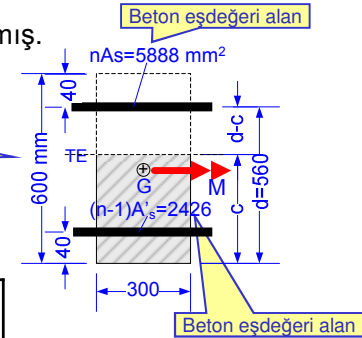
$$\delta_{ig} = \delta_i \frac{g + q_{kalıcı} + G}{g + q + G} = 2.9 \frac{20 + 2 + 10}{20 + 7 + 10} = 2.5 \text{ mm}$$

$$\rho' = A'_s / (b_w d) = 462 / 300 / 560 = 0.0027$$

Zamana bağlı toplam sehimin hesabı sağdaki tabloda verilmiştir.

Zamana bağlı toplam sehim

	3 ay sonra	6 ay sonra	1 yıl sonra	5 yıl sonra
δ_i (mm)	2.9	2.9	2.9	2.9
δ_{ig} (mm)	2.5	2.5	2.5	2.5
γ_t	1	1.2	1.4	2
$\lambda = \gamma_t / (1 + 50\rho') = \gamma_t / 1.135$	0.88	1.06	1.23	1.76
$\delta_{ig} \lambda$ (mm)	2.20	2.65	3.08	4.40
$\delta_t = \delta_i + \delta_{ig} \lambda$ (mm)	5.10	5.55	5.98	7.30



Beton eşdeğeri alan
Dönüştürülmüş kesit
TS500-2000 çizelge 13.2 den
19 bağıntısından
18 bağıntısından

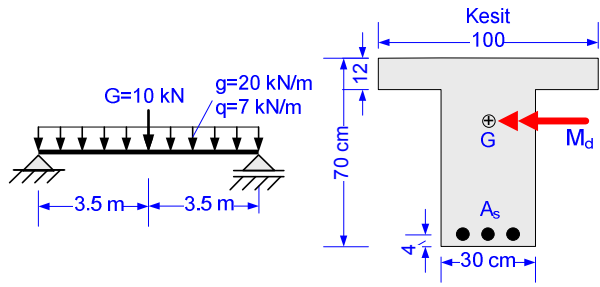
ÖRNEK 2: soldaki basit kirişin donatısı taşıma gücüne göre belirlendikten sonra sehim hesabı yapılacaktır. g ve G sabit, q hareketli karakteristik yüküdür. $q=7$ kN/m hareketli yükünün $q_{kalıcı}=2$ kN/m lik kısmı sürekli kalıcıdır. Malzeme: C30/37, B420C, iyi denetimli.

$f_{cd}=20$, $f_{ctd}=1.3$, $f_{yd}=365$, $E_c=32000$, $E_s=2 \cdot 10^5$ N/mm², $n=2 \cdot 10^5/32000=6.25$
 $\rho_b=0.0237$, $\max \rho=0.02$, $\min \rho=0.8 \cdot 1.3/365=0.0028$

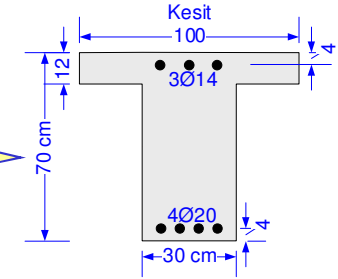
Donatı hesabı(EK8A tablosu):

$M_g=20 \cdot 7^2/8 + 10 \cdot 7/4=140$, $M_q=7 \cdot 7^2/8=42.9$, $M_d=1.4 \cdot 140 + 1.6 \cdot 42.9=264.6$ kNm
 $K=10^3 \cdot 246.6 \cdot 10^6/20/1000/660^2=30.4$, $t/d=12/66=0.18$, $b/b_w=100/30=3.3 \rightarrow \omega=307$
 $A_s=307 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 660/20/365=1110$ mm²
 Seç.: 4Ø20(1257 mm²) altta, 3Ø14(462 mm²) üstte-montaj.

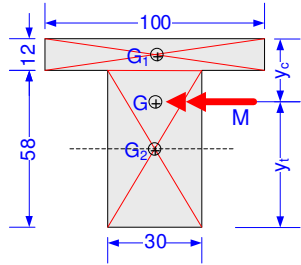
Kontrol: $\rho=1257/300/660=0.0063 > \min \rho$, $\rho < 0.02$, $\rho'=462/300/660=0.0023$, $\rho - \rho'=0.0063-0.0023=0.0040 < 0.85\rho_b$ ✓



Taşıma gücüne göre donatılmış kesit



Sehim hesabı:



$100 \cdot 12(58+6) + 30 \cdot 58 \cdot 58/2 = (100 \cdot 12 + 30 \cdot 58)y_t$ **Ağırlık merkezi hesabı**
 $y_t=43.29$ cm, $y_c=70-43.29=26.71$ cm

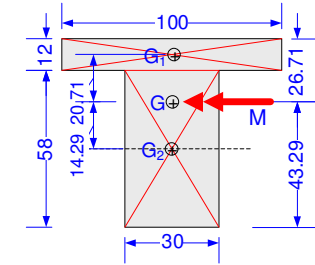
$I_c=100 \cdot 12^3/12 + 100 \cdot 12 \cdot 20.71^2 + 30 \cdot 58^3/12 + 30 \cdot 58 \cdot 14.29^2 = 1372200$ cm⁴ = $13.722 \cdot 10^9$ mm⁴ **Brüt beton atalet momenti**

$M_{cr}=2.5 \cdot 1.3 \cdot 13.72 \cdot 10^9/432.9=103 \cdot 10^6$ Nmm = 103.0 kNm **Çatlama momenti, 8 bağıntısından**

$M=M_g+M_q=140+42.9=182.9$ kNm **Kullanım yükü momenti**

$M > M_{cr}$, kesit çatlamış.

$nA_s=6.25 \cdot 1257=7856$ mm², $(n-1)A'_s=5.25 \cdot 462=2426$ mm² **Beton eşdeğerin alanlar**



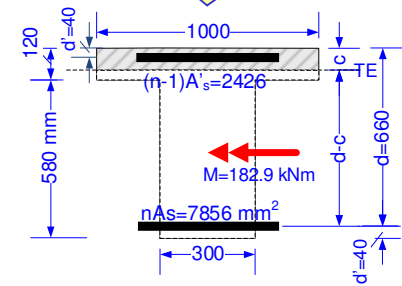
$1000c^2/2 + 2426(c-40) - 7856(660-c)=0$ **Çatlamış kesitte tarafsız eksenin derinliği, 11 bağıntısından**

$c^2 + 20.56c - 10564=0 \rightarrow c=93$ mm < $t=120$ mm, TE tabla içinde ✓

$I_{cr}=1000 \cdot 93^3/3 + 2426(93-40)^2 + 7856(660-93)^2=2.8 \cdot 10^9$ mm⁴ **Çatlamış kesit atalet momenti, 12 bağıntısından**

$I_{ef}=2.8 \cdot 10^9 + (103/182.9)^3 (13.72 \cdot 10^9 - 2.8 \cdot 10^9)=4.75 \cdot 10^9$ mm⁴ **Çatlamış kesit etkin atalet momenti, 15 bağıntısından**

Dönüştürülmüş kesit. TE tabla içinde varsayıldı



$P_{g+q}=20+7=27$ kN/m, $G=10$ kN, $E_c I_{ef}=32000 \cdot 4.75 \cdot 10^9$ N/mm²=152000 kNm² olmak üzere:

25 bağıntısından 26 bağıntısından

$$\delta_i = \frac{5}{384} \frac{P_{g+q} L^4}{E_c I_{ef}} + \frac{G L^3}{48 E_c I_{ef}} = \frac{L^3}{48 E_c I_{ef}} \left(\frac{5 P_{g+q} L}{8} + G \right) = \frac{7^3}{48 \cdot 152000} \left(\frac{5}{8} 27 \cdot 7 + 10 \right) = 0.006 \text{ m}$$

$$\delta_i = 6.0 \text{ mm} \quad \text{Tüm kullanım yüklerinden oluşan ani sehim}$$

28 bağıntısından

$$\delta_{ig} = \delta_i \frac{g + q_{kalıcı} + G}{g + q + G} = 6.0 \frac{20 + 2 + 10}{20 + 7 + 10} = 5.19 \text{ mm} \quad \text{Kalıcı yüklerden oluşan ani sehim}$$

$$\rho' = A_s' / (b_w d) = 462 / 300 / 660 = 0.0023 \quad \text{Basınç donatısı oranı}$$

Zamana bağlı toplam sehim hesabı sağdaki tabloda verilmiştir.

Zamana bağlı toplam sehim

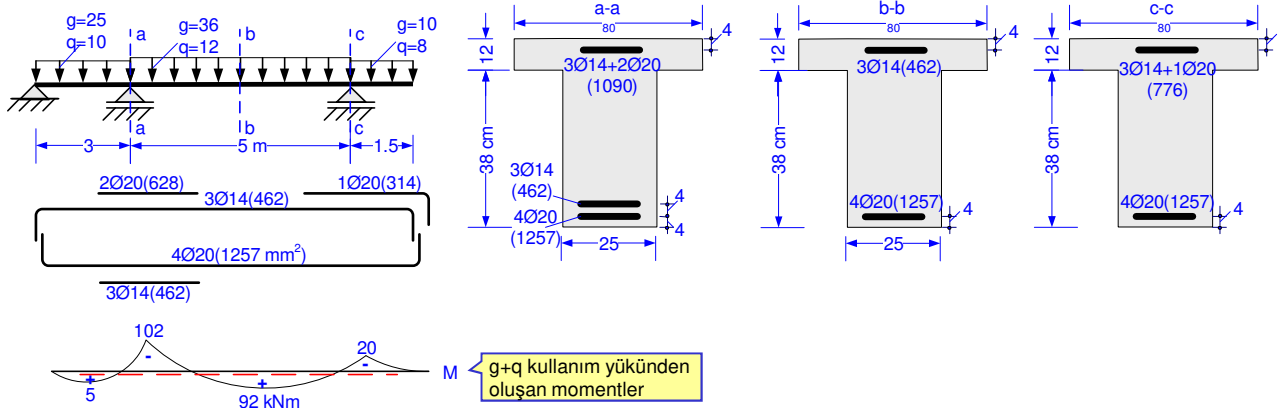
	3 ay sonra	6 ay sonra	1 yıl sonra	5 yıl sonra
δ_i (mm)	6	6	6	6
δ_{ig} (mm)	5.19	5.19	5.19	5.19
γ_t	1	1.2	1.4	2
$\lambda = \gamma_t / (1 + 50 \rho') = \gamma_t / 1.115$	0.90	1.08	1.26	1.79
$\delta_{ig} \lambda$ (mm)	4.67	5.61	6.54	10.38
$\delta_t = \delta_i + \delta_{ig} \lambda$ (mm)	10.67	11.61	12.54	16.38

TS500-2000 çizelge 13.2 den

19 bağıntısından

18 bağıntısından

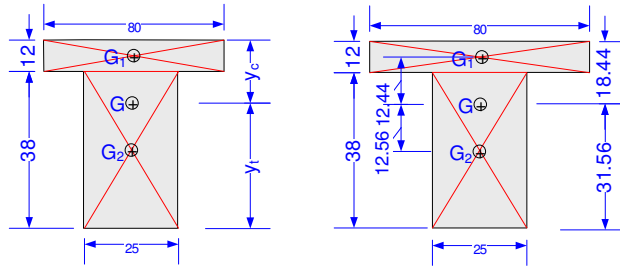
ÖRNEK 3: Taşıma gücüne göre donatıları belirlenmiş olan aşağıdaki sürekli kirişin 2. açıklığında sehim hesabı yapılacaktır. Donatı açılımı ve donatıların kesitteki yerleri şekilde görülmektedir. g sabit, q hareketli yüküdür. $q=12$ kN/m hareketli yükünün $q_{kalıcı}=5$ kN/m lik kısmı sürekli kalıcıdır. Malzeme: C30/37, B420C.



$$f_{cd}=20, f_{ctd}=1.3, f_{yd}=365, E_c=32000, E_s=2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$n=2 \cdot 10^5 / 32000=6.25$$

$g+q$ kullanım yükünden oluşan momentler



$$80 \cdot 12(38+6) + 25 \cdot 38 \cdot 38 / 2 = (80 \cdot 12 + 25 \cdot 38) y_t$$

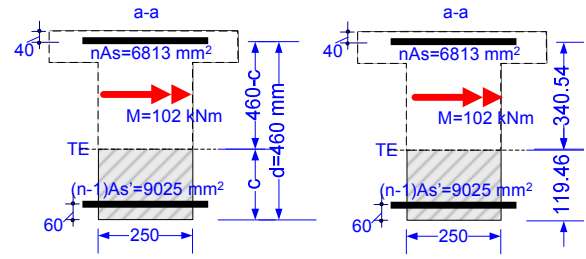
$$y_t = 31.56 \text{ cm}, y_c = 50 - 31.56 = 18.44 \text{ cm}$$

Ağırlık merkezi: her kesitte geçerli

$$I_c = 80 \cdot 12^3 / 12 + 80 \cdot 12 \cdot 12.44^2 + 25 \cdot 38^3 / 12 + 25 \cdot 38 \cdot 12.56^2 = 424266 \text{ cm}^4$$

Brüt beton atalet momenti: her kesitte geçerli

a-a kesitinde M=102 kNm (üstte çekme):



$$M_{cr} = 2.5 \cdot 1.3 \cdot 424266 \cdot 10^4 / 184.4 = 74.78 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 74.78 \text{ kNm}$$

Çatlama momenti, 8 bağıntısından

$$M = 102 > M_{cr} = 74.78, \text{ kesit çatlamış.}$$

$$nA_s = 6 \cdot 25 \cdot 1090 = 6813 \text{ mm}^2, (n-1)A'_s = 5.25(462 + 1257) = 9025 \text{ mm}^2$$

Beton eşdeğeri alanlar

$$250c \cdot c^2 / 2 + 9025(c - 60) = 6813(460 - c)$$

Alanların TE ye göre statik momenti

$$c^2 + 126.7c - 29403.84 = 0 \rightarrow c = 119.46 \text{ mm}$$

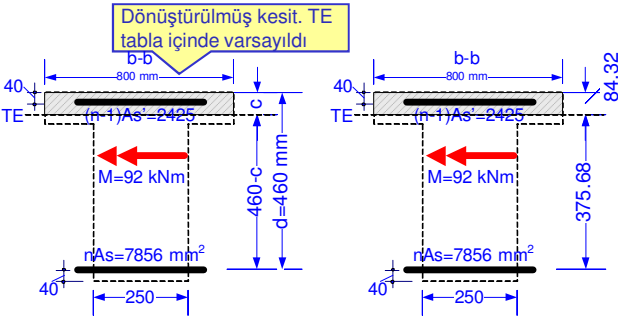
$$I_{cr} = 250 \cdot 119.46^3 / 12 + 250 \cdot 119.46(119.46/2)^2 + 9025(119.46 - 60)^2 + 6813 \cdot 340.54^2 = 85840.24 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 85840.24 \text{ cm}^4$$

Çatlamış kesit atalet momenti

$$I_{ef} = 85840 + (74.78/102)^3 (424266 - 85840) = 219198 \text{ cm}^4$$

Çatlamış kesit etkin atalet momenti, 15 bağıntısından

b-b kesitinde M=92 kNm (altta çekme):



$$M_{cr} = 2.5 \cdot 1.3 \cdot 424266 \cdot 10^4 / 315.6 = 43.69 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 43.69 \text{ kNm}$$

Çatlama momenti, 8 bağıntısından

$$M = 92 > M_{cr} = 43.69, \text{ kesit çatlamış.}$$

$$nA_s = 6 \cdot 25 \cdot 1257 = 7856 \text{ mm}^2, (n-1)A'_s = 5.25 \cdot 462 = 2425 \text{ mm}^2$$

Beton eşdeğeri alanlar

$$800c \cdot c^2 / 2 + 2425(c - 40) = 7856(460 - c)$$

Alanların TE ye göre statik momenti

$$c^2 + 25.70c - 9276.9 = 0 \rightarrow c = 84.32 \text{ mm} < t = 120, \text{ TE tabla içinde } \checkmark$$

$$I_{cr} = 800 \cdot 84.32^3 / 12 + 800 \cdot 84.32(84.32/2)^2 + 2425(84.32 - 40)^2 + 7856 \cdot 375.68^2 = 127339.12 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 127339 \text{ cm}^4$$

Çatlamış kesit atalet momenti

$$I_{ef} = 127339 + (43.69/92)^3 (424266 - 127339) = 159139 \text{ cm}^4$$

Çatlamış kesit etkin atalet momenti, 15 bağıntısından

c-c kesitinde M=20 kNm (üstte çekme):

$$M_{cr} = 2.5 \cdot 1.3 \cdot 424266 \cdot 10^4 / 184.4 = 74.78 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 74.78 \text{ kNm}$$

Çatlama momenti, 8 bağıntısından

$$M = 20 < M_{cr} = 74.78, \text{ kesit çatlamamış.}$$

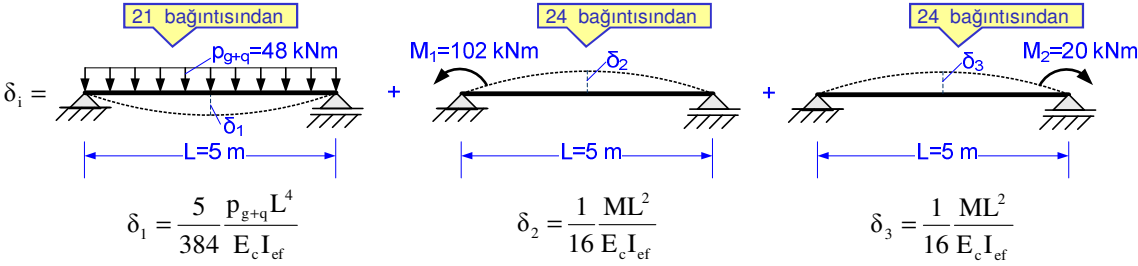
$$I_{ef} = I_{cr} = I_c = 424266 \text{ cm}^4$$

2. Açıklıkta ortalama atalet momenti:

$$I_{ef} = 0.5 \cdot 159139 + 0.25(219198 + 424266) = 240436 \text{ cm}^4$$

16 bağıntısından

Sehim hesabı:



$P_{g+q}=36+12=48$ kN/m, $E_c I_{ef}=32000 \cdot 240436 \cdot 10^4$ Nmm²=76940 kNm² olmak üzere:

$$\delta_i = \frac{5P_{g+q}L^4}{384E_cI_{ef}} - \frac{M_1L^2}{16E_cI_{ef}} - \frac{M_2L^2}{16E_cI_{ef}} = \frac{L^2}{16E_cI_{ef}} \left(\frac{5P_{g+q}L^2}{24} - M_1 - M_2 \right)$$

$$\delta_i = \frac{5^2}{16 \cdot 76940} \left(\frac{5 \cdot 48 \cdot 5^2}{24} - 120 - 20 \right) = 0.00223 \text{ m}$$

$$\delta_i = 2.23 \text{ mm}$$

$$\delta_{ig} = \delta_i \frac{g + q_{kalıcı}}{g + q} = 2.23 \frac{36 + 5}{36 + 12} = 1.90 \text{ mm}$$

$$\rho' = 0.5 \cdot 462 / 250 / 460 + 0.25(1719 + 1257) / 250 / 460 = 0.0085$$

Zamana bağlı toplam sehim

	3 ay sonra	6 ay sonra	1 yıl sonra	5 yıl sonra
δ_i (mm)	2.23	2.23	2.23	2.23
δ_{ig} (mm)	1.90	1.90	1.90	1.90
γ_t	1	1.2	1.4	2
$\lambda = \gamma_t / (1 + 50\rho') = \gamma_t / 1.425$	0.70	0.84	0.98	1.4
$\delta_{ig} \lambda$ (mm)	1.33	1.60	1.86	2.66
$\delta_i + \delta_{ig} \lambda$ (mm)	3.56	3.83	4.09	4.89

TS500-2000 çizelge 13.2 den

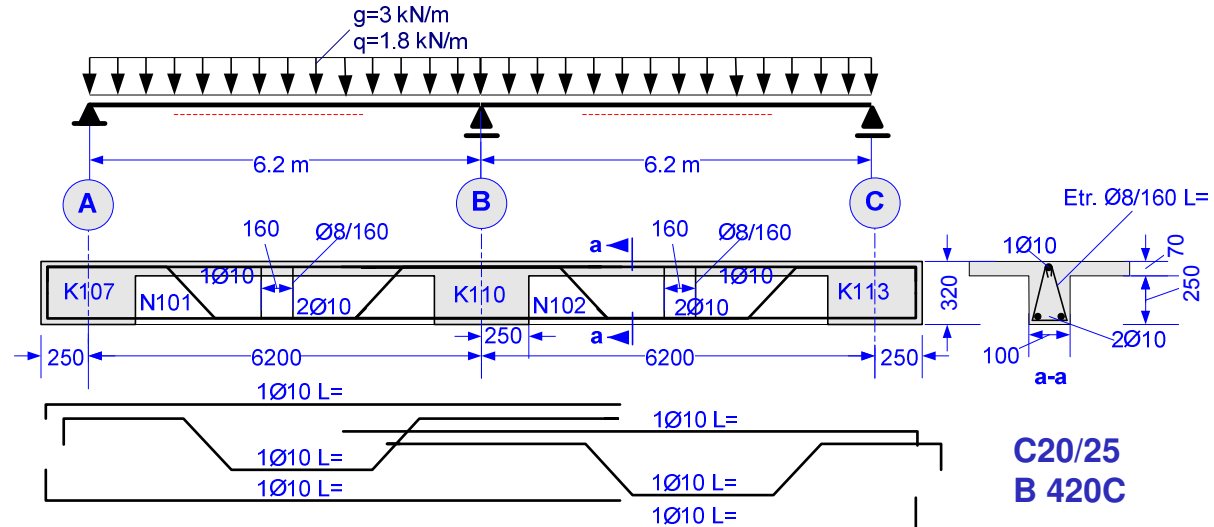
19 bağıntısından

18 bağıntısından

Zamana bağlı toplam sehimin hesabı sağdaki tabloda verilmiştir.

Soru: Sağda bilgileri verilen asmolen döşeme dişinin:

- Birinci açıklığında 1 yıl sonra oluşması beklenen sehimini hesaplayınız. Hareketli yükün yarısını kalıcı varsayınız. Beton örtüsünü 2 cm alınız.
- Çatlak genişliğini hesaplayınız.



Döşemelerde toplam sehim hesabı kirişlerdeki gibi

$$\delta_t = \delta_i + \delta_{ig} \lambda, \quad \lambda = \frac{\gamma_t}{1 + 50\rho'}$$

bağıntısından hesaplanır. Sadece δ_i ani sehiminin hesabı farklıdır, hesabın geri kalan kısmı aynen kirişlerdeki gibidir. δ_i bağıntısı, örnek olarak, bazı plak tipleri için aşağıda verilmiştir.

Dört tarafından kirişlere oturan bazı plaklarda ani sehim (birimler: kN ve m) : $\delta_i = \frac{pL_k^4}{12kE_c I_{ef}}$

29

$\varepsilon=L_u/L_k \rightarrow$	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.0
	20.53	17.12	14.75	13.04	11.76	10.79	10.03	9.43	8.94	8.55	8.23
	65.79	55.25	48.31	43.48	40.32	37.88	36.10	34.84	34.01	33.33	32.89
	39.68	33.11	28.74	25.71	23.47	21.79	20.66	19.69	18.90	18.28	17.79
	43.48	39.84	37.45	35.71	34.60	33.67	33.11	32.57	32.36	32.15	31.95
	43.48	33.00	26.11	21.41	18.08	15.65	13.85	12.47	11.40	10.54	9.87
	29.94	23.70	19.53	16.61	14.51	12.94	11.74	10.80	10.06	9.47	8.99
	29.94	26.31	23.81	21.98	20.62	19.61	18.83	18.21	17.79	17.39	17.09
	53.19	42.37	35.21	30.40	26.95	24.45	22.62	21.23	20.20	19.31	18.55
	53.19	46.73	42.37	39.53	37.31	35.71	34.60	33.56	33.00	32.57	32.36

Koyu çizgi: süreklî kenar
İnce çizgi: süreksiz kenar

$p=g+q$: toplam yük

L_u : uzun kenar

L_k : kısa kenar

E_c : betonun elastisite modülü

I_{ef} : genişliği 1 m, yüksekliği h olan plak şeridinin etkin atalet momenti.

k : sabit bir sayı, soldaki tablodan alınır. Bu sayılar BETON-KALENDER, 1974 den alınmıştır.

k sayıları

ÖRNEK 4: Taşıma gücüne göre donatıları belirlenmiş olan aşağıdaki dört kenarı süreksiz döşemenin 1 yıl sonraki sehimini hesaplanacaktır. Kısa doğrultudaki donatı açılımı şekilde görülmektedir. g sabit, q hareketli yükür. $q=2 \text{ kN/m}^2$ hareketli yükünün $q_{kalıcı}=1 \text{ kN/m}^2$ lik kısmı süreklî kalıcıdır. Malzeme: C30/37, B420C.

$$M=0.075 \cdot 7 \cdot 4^2 = 8.4 \text{ kNm/m (TS500-2000, çizelge 11.1)}$$

$$y_t = y_c = h/2 = 12/2 = 6 \text{ cm}$$

$$I_c = 100 \cdot 12^3 / 12 = 14400 \text{ cm}^4$$

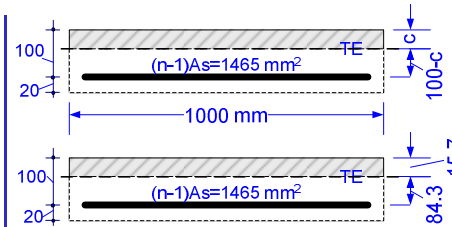
$$M_{cr} = 2.5 \cdot 1.3 \cdot 14400 \cdot 10^4 / 60 = 7.8 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 7.8 \text{ kNm}$$

$$M = 8.4 > M_{cr} = 7.8, \text{ çatlamış.}$$

$$\text{Ø}8/180 \rightarrow A_s = 279 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{EK15 den}$$

$$E_c = 32000, E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2, n = 2 \cdot 10^5 / 32000 = 6.25$$

$$(n-1)A_s = 5.25 \cdot 279 = 1465 \text{ mm}^2$$



$$1000 \cdot c \cdot c / 2 = 1465(100-c) \rightarrow c^2 + 2.93c - 293 = 0 \rightarrow c = 15.7 \text{ mm}$$

$$I_{cr} = 1000 \cdot 15.7^3 / 12 + 1000 \cdot 15.7 \cdot 15.7^2 + 1465 \cdot 84.3^2 = 1460.3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = 1460.3 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef} = 1460.3 + (7.8/8.4)^3 (14400 - 1460.3) = 11820.5 \text{ cm}^4$$

$p=g+q=7 \text{ kN/m}^2, L_k=4 \text{ m}, k=10.79, E_c=32 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2, h=0.12 \text{ m}$ olmak üzere:

Yukarıdaki tablodan

$$\delta_i = \frac{pL_k^4}{12kE_c I_{ef}} = \frac{7 \cdot 4^4}{12 \cdot 10.79 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot 1.18205 \cdot 10^{-4}} = 0.00365 \text{ m} = 3.65 \text{ mm} \quad \text{29 bağıntısından}$$

$$\delta_{ig} = \delta_i \frac{g + q_{kalıcı}}{g + q} = 3.65 \frac{5+1}{5+2} = 3.13 \text{ mm}, \quad \rho' = 0, \gamma_t = 1.4 \rightarrow \lambda = 1.4, \delta_t = 3.65 + 3.13 \cdot 1.4 = 8.03 \text{ mm}$$

TS500-2000 çizelge 13.2 den, 1 yıl sonra için

Kiriş ve döşemelerin tasarım öncesi boyutlarına karar verirken TS500-2000 çizelge 13.1 de verilen yükseklik/açıklık oranlarına uyulursa aşırı sehim ihtimali azalır, sehim hesabı ve kontrolü yapılmayabilir. Üzerinde duvar olan veya hassas makine olan büyük açıklıklı kiriş ve konsollarda sehim hesabı yapılması ve TS500-2000 çizelge 13.3 de verilen sınırları aşmadığının gösterilmesi uygun olur.

ÖRNEK 5: Örnek 2 de sehim hesabı yapılan basit kirişin hassas makineler taşıyan normal kat kirişi olduğu varsayılarak 5 yıl sonrası için sehim kontrolü yapılacaktır.

$h=70$ cm, $L_n=7$ m, $70/700=1/10$ olduğundan sehim hesabı ve kontrolü yapılmayabilirdi. Ancak, açıklık büyük olduğundan sehim kontrolü yapmak uygun olur.

Örnek 2 den bilgiler

$g=20$, $q=7$, $q_{kalıcı}=2$, $q_{gerikalan}=7-2=5$ kN/m, $G=10$ kN, $\delta_i=3.7$, $\delta_t=9.43$ mm

$$\delta_{i,gerikalan} = \delta_i \frac{q_{gerikalan}}{g+q+G} = 3.7 \frac{5}{20+7+10} = 0.5 \text{ mm}$$

Hareketli yüklerin geri kalan bölümünden oluşan ani sehim

$$\delta_t + \delta_{i,gerikalan} = 9.43 + 0.5 = 9.93 \text{ mm}$$

$$9.93 \text{ mm} < L_n/480 = 7000/480 = 14.6 \text{ mm}$$

olduğundan kiriş kesiti yeterlidir. Aksi durumda kiriş kesitini büyütmek zorunlu olacaktır.

Eleman				
	Basit mesnet	Kenar açıklık	İç açıklık	konsol
Bir doğrultuda çalışan döşeme	1/20	1/25	1/30	1/10
İki doğrultuda çalışan döşeme (kısa kenar açıklığı ile)	1/25	1/30	1/35	-
Dışli döşeme	1/15	1/18	1/20	1/8
Kiriş	1/10	1/12	1/15	1/5

Eğilme elemanı ve yeri	Sehim nedeni	Açıklık/sehim
Bölme duvarsız çatı elemanları	Hareketli yüklerden oluşan ani sehim	$L_n/180$
Bölme duvarsız normal kat elemanları		$L_n/360$
Bölme duvarlı veya büyük sehinden etkilenen eleman veya makine taşıyan çatı ve normal kat elemanları	Sürekli yüklerden oluşan toplam sehim ile hareketli yüklerin geri kalan bölümünden oluşan ani sehim	$L_n/480$
Bölme duvarlı çatı ve normal kat elemanları		$L_n/240$

Sehimi olumlu-olumsuz etkileyen faktörler

Sehim:

Açıklık arttıkça artar. Yük arttıkça artar. Mesnet sayısı azaldıkça artar. Kalıp erken alınırsa artar. Kür yapılmazsa artar. Çelik gerilmesi arttıkça artar. Beton sınıfı arttıkça azalır. Kesit büyüdükçe azalır. Basınç donatısı arttıkça azalır. İyi ve uzun süreli kür yapılırsa azalır. Kalıp-iskele erken sökülmezse azalır.

Beton, donatılı da olsa, çatlayacaktır. Çatlamayı tümüyle önlemek imkânsızdır, çatlaksız betonarme bina yoktur. Önemli olan çatlak sayısı ve genişliğinin sınırlı kalmasıdır. Sağdaki çizelge normal kabul edilen en büyük çatlak genişliğini özetlemektedir.

Çatlak genişliğini olabildiğince sınırlı tutmak için:

- Kenetlenme (aderans) sağlanmalı
- Nervürlü donatı kullanılmalı
- Yeterli donatı doğru yerleştirilmeli
- Kalın az sayıda çubuk yerine ince çok sayıda çubuk tercih edilmeli
- Kaliteli beton kullanılmalı, özenle sıkıştırılmalı ve kür yapılmalı
- Döşeme ve perdelerde çubuk aralıkları 15-20 cm yi geçmemeli
- Yönetmeliklerin öngördüğü minimum donatı kurallarına uyulmalı.
- Sargı donatısı özenli ve yönetmeliklere uygun düzenlenmeli
- Zararlı çevre koşullarından betonarme elemanlar korunmalı
- Kalıp-iskele erken sökülmemeli

Kullanım yükleri altında oluşan ω çatlak genişliği TS5000-2000 de

$$\omega = 13 \cdot 10^{-6} (A_t c')^{1/3} \sigma_s \quad (30)$$

olarak verilmektedir. Bu bağıntıdaki büyüklükler mm ve N biriminde olmalıdır. A_t ve c' büyüklükleri sağdaki şekillerde tanımlanmıştır. Çelik çekme gerilmesi 10a dan hesaplanır veya $\sigma_s \approx 0.7f_{yd}$ alınır¹.

ÖRNEK 6: Örnek 2 deki kirişin açıklığındaki çatlak genişliği hesaplanacaktır.

B420C $\rightarrow f_{yd} = 365 \text{ N/mm}^2$, $n = 6.25$

4Ø20 $\rightarrow m = 4$

$b_w = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $d = 660 \text{ mm}$, $c = 93 \text{ mm}$, $c' = 40 \text{ mm}$
 $M = 182.9 \text{ kNm}$, $I_{cr} = 2.8 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

$A_e = 2 \cdot (700 - 660) \cdot 300 = 24000 \text{ mm}^2$

$A_t = 24000 / 4 = 6000 \text{ mm}^2$

$\sigma_s = 6.25 \cdot 182.9 \cdot 10^6 / 2.8 \cdot 10^9 \cdot (660 - 93) = 231 \text{ N/mm}^2$ 10a bağıntısından

$\omega = 13 \cdot 10^{-6} (6000 \cdot 40)^{1/3} \cdot 231 = 0.19 \text{ mm}$ 30 bağıntısından

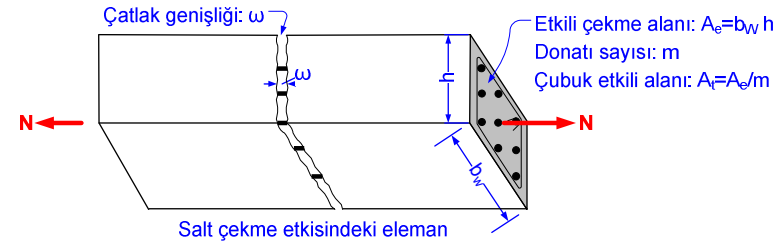
$\sigma_s \approx 0.7 \cdot 365 = 226 \text{ N/mm}^2$ yaklaşık değeri ile:

$\omega = 13 \cdot 10^{-6} (6000 \cdot 40)^{1/3} \cdot 226 = 0.18 \text{ mm}$

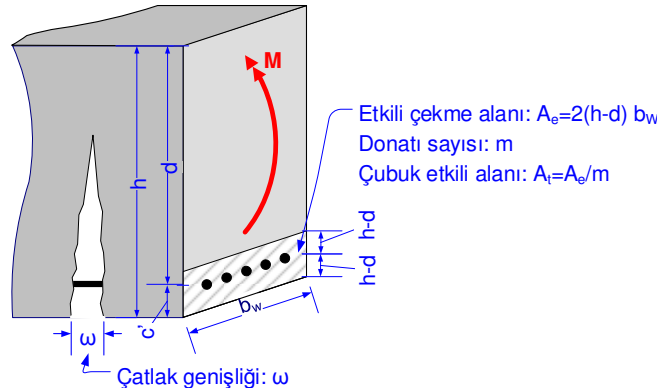
¹ Kullanım yüklerinin tasarım yüklerine oranı yaklaşık 0.7 dir

TS500 çizelge 13.4 çatlak genişliği sınırları	
Ortam	Normal kabul edilen en büyük çatlak genişliği ω_{max}
Yapı içi normal çevre koşulları (Örnek: Şehirlerdeki normal yapılar)	0.4 mm Çıplak gözle rahatça görülür
Yapı içi nemli ve yapı dışı normal çevre koşulları (Örnek: Hamamlar)	0.3 mm Çıplak gözle rahatça görülür
Yapı dışı nemli çevre koşulları (Örnek: Temiz ve tatlı su havzası kıyısındaki yapılar)	0.2 mm Çıplak gözle zor görülür
Yapı içi ve dışı agresif çevre koşulları (Örnek: Asit üreten fabrika, yoğun trafiği olan cadde üstündeki yapılar, deniz kıyısındaki yapılar, kirli akarsu çevresindeki yapılar)	0.1 mm Çıplak gözle hemen hiç görülemez

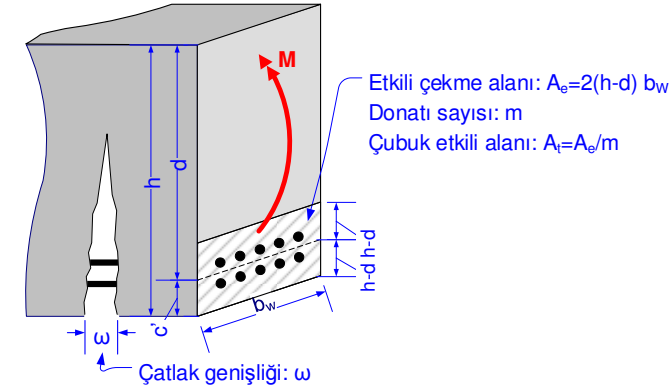
Çizelgedeki değerler normal yapılar içindir. Yapının kullanım amacına yönelik olarak daha küçük değerler gerekebilir. Örneğin bir su deposunda, sızdırmazlık ön plana çıktığından, en büyük çatlak genişliği 0.1 mm nin altında tutulmalıdır.



Örnek 2 den alınan bilgiler



Salt moment etkisindeki eleman, tek sıra donatılı



Salt moment etkisindeki eleman, çift sıra donatılı

Betonarme II SON

"Wenn ich einen Stahlbetonteil bewehre bin ich mir nicht ganz sicher, ob das nicht besser gemacht werden könnte. Und das beunruhigt mich."

"Betonarme bir elemanın donatısını yerleştirdikten sonra 'acaba daha iyi olabilir miydi?' diye hep huzursuz olmuşumdur."

Hubert RÜSCH

Hubert RÜSCH, 1904 – 1979, Münih Teknik Üniversitesi profesörü idi. Betonarme, öngerilmeli betonarme ve özellikle taşıma gücü teorisinin geliştirilmesi alanındaki çalışmaları ile dünyaca ünlü bir bilim adamıdır. RÜSCH'ün doktora öğrencisi Prof. Dr. **İhsan MÜNGAN** şöyle naklediyor: "Rüşch'ün bu sözleri 48 yıldır kulaklarımda. Bu sözlerle RÜSCH, donatı yerleştirmenin bir sanat olduğunu ve bugünkü bilgilerimizin bu sanatı en iyi şekilde yapabilmemiz için yeterli olduğundan şüphe ettiğini dile getirmek istiyordu. Gerçekten de haklı çıktı. Pilyelerin neredeyse artık kullanılmaması ve sarılma bölgelerinde etriye sıklaştırılması gibi uygulamalar 1960'lı yıllarda yoktu. Doktora hocam olan Rüşch hem bir insan olarak mükemmeldi, hem de bilim adamı olarak bir dehaydı. Onu hala hep rahmetle anırım. Bilim adamlığını ben ondan öğrendim."

Betonarme teorisi henüz "tam ve kusursuz" değildir. Hesap yöntemlerinin temelini oluşturan varsayımlar ne kadar gerçekçi olursa olsun, bu yöntemler, kesin değildir-yaklaşıktır. Çünkü bu yöntemlerde, betonarmenin koşullara göre değişen karmaşık davranışı idealleştirilerek ele alınır. Karmaşık davranışı çözümlenebilmek ve somut olarak anlayabilmek için benzeşimler yapılır. Davranış, soyut mekanik modellerden yararlanılarak açıklanmaya çalışılır. Ayrıca bazı durumlar, genellikle etkileri az olduğu için, hesaba katılmaz-ama bunlar vardır. Bu yüzden, betonarmenin gerçek davranışını yansıtan tablo, hiçbir zaman "tam ve kesin" olarak çizilemez.

"GÜNDÜZ, A., Betonarme, Taşıma Gücüne Göre Hesap, İstanbul, 1980" den alınmıştır.

Statik, Mukavemet, Yapı Statiği, Betonarme, v.b. konuları okuyan öğrenci, bütün bu bilgileri belirli bir amaca yönelik olarak biraraya getirme gayreti içindedir, bu gayreti doğru ve anlamlı yapabilme becerisini bir kitapta aramaktadır.

Öğrencinin gerçekte istediği "tecrübe" nin öğretilmesidir. Ancak, tecrübeyi öğretmek mümkün değildir, tecrübe ancak yaşanarak elde edilebilir.

Mühendislik faaliyetleri içinde yaşamak ve proje yapmak "hata" yapmak demektir. Hata yapmayan mühendis tecrübe de kazanamaz. Doğal olarak bu iddia, hata yapan ancak, hatasını gören ve bunu düzelterek doğrusunu bulan mühendis için geçerlidir. Oysa, çok az proje mühendisi dizayn ettiği yapıyı, işletmeye açıldıktan sonra ve zaman zaman, gidip ziyaret etmektedir.

Böylece proje mühendisi, proje esnasında yaptığı hataları hemen hiç görmemekte ve gerekli dersi de alamamaktadır.

"ATIMTAY, E., Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Cilt I, II, Ortadoğu Teknik Üniversitesi yayını, Ankara, 2001" den alınmıştır.

"Analizden sayısal sonuçlar elde edilir. Cahil mühendisler yapılan varsayımları unutarak çıkan sayıları gerçek sanıp bunların problemin çözümü olduğuna inanırlar.

Hardy CROSS

(Amerikalı Mühendis, yapı statikinden bilinen ünlü CROSS metodunun yaratıcısı)

Sanat "yapmaktır". Bilim "bilmek", fakat Mühendislik "ne yaptığını bilmektir". **Albert Einstein**



Bu PORECE ne denli güvenli bir PROJEDİR acaba?

Yanlış	Doğru
BURO	Büro
MÜTAHHİT	Müteahhit
MİMARİ	Mimari
PORECE	Proje
MINTIKA	Ada
PORSEL	Parsel
SİTATİK	Statik
ELEKTİRİK	Elektrik
SİHİ	Sıhhi

Mühendisin Yemini:

Bana verilen mühendislik unvanına daima layık olmaya, onun bana sağladığı yetki ve yüklediği sorumluluğu bilerek, hangi şartlar altında olursa olsun onları ancak iyiye kullanmaya, yurduma ve insanlığa yararlı olmaya, kendimi ve mesleğimi maddi ve manevi alanlarda yükseltmeye çalışacağıma namusum üzerine yemin ederim.

"www.imo.gov.tr" den alınmıştır.

- ◆ A philosopher is a person who knows less and less about more and more, until he knows nothing about everything
- ◆ A scientist is a person who knows more and more about less and less, until he knows everything about nothing

Schnell, gut, billig:

Wer **schnell** und **gut** baut, kann nicht **billig** bauen!
 Wer **schnell** und **billig** baut, kann nicht **gut** bauen!
 Wer **gut** und **billig** baut, kann nicht **schnell** bauen!

Hızlı, iyi, ucuz:

Hızlı ve **iyi** inşa eden **ucuz** inşa edemez!
Hızlı ve **ucuz** inşa eden **iyi** inşa edemez!
iyi ve **ucuz** inşa eden **hızlı** inşa edemez!

Matematikçi için:

$2 \times 2 = 4$ Doğru
 $2 \times 2 = 3$ Kesin yanlış
 $2 \times 2 = 5$ Kesin yanlış!
 $1/3 = 0.3333333333...$

Mühendis için:

$2 \times 2 = 4$ Doğru
 $2 \times 2 = 3$ Duruma göre doğru
 $2 \times 2 = 5$ Duruma göre doğru
 $1/3 = 0.33$ çoğu kez doğru

"It is not possible to maximize simultaneously generality, realism, and precision"

R. Levins, 1968

Evolution in Changing Environments

DOLU DOLU, doğruya yakın, YARINLAR DİLEĞİ İLE...