

GİRİŞ

Betonarmede donatı hesabı ve gerilme kontrolü uzun zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle hesaplarda zaman kaybını önlemek için yıllardan beri çeşitli tablolar geliştirilmiştir.

Bu kitapta, Türkiye'de geçerli emniyet gerilmeleri için, şimdiye kadar uygulanmamış bir yol izlenerek hazırlanan tablolar yer almıştır. Bu tablolar normal kiriş hesaplarını 5 işlemden 2 işleme, çift donatılı kiriş hesaplarını 11 işlemden 3 işleme indirerek ve döküme hesaplarını işlemsiz çözümleyerek kesit tayininde ortalama %75 oranında zaman kaybını önlemektedir. Bir projeci için bu önemsenmeyecek bir kazanç değildir.

Tabloların hazırlanışı sırasında, bunların pratikteki her türlü ihtiyaca cevap verecek şekilde olmasına titizlik gösterilmiştir. Tablodaki değerler fazla enterpolasyonu ortadan kaldırmak amacı ile sık aralıklarla seçilmiştir.

Kitabın tüm meslektaşlarımıza yararlı olacağını ve çalışmalarında büyük kolaylık sağlayacağını ümit ediyoruz.

Kitabın tüm meslektaşlarımıza yararlı olacağını ve çalışmalarında büyük kolaylık sağlayacağını ümit ediyoruz.

Kitabın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen İ.M.O. Genel Sekreteri Erdiñç Köksal'a, Yayın İşleri Teknik Yönetmeni Ahmet Sat'a, ve beni bu çalışmaya teşvik eden Sayın Bayram Durmuş'a teşekkürü borç bilirim.

Zafer KINACI

A) DÖŞEMELER

$\sigma_{e,cm}$	h	Sayfa
1400	8, 8.5, 9	22
1400	9.5, 10, 10.5	23
1400	11, 11.5, 12	24
1400	12.5, 13, 13.5	25
1400	14, 14.5, 15	26
1400	16, 18, 20	27
1400	25, 30, 35	28
2200	8, 8.5, 9	29
2200	9.5, 10, 10.5	30
2200	11, 11.5, 12	31
2200	12.5, 13, 13.5	32
2200	14, 14.5, 15	33
2200	16, 18, 20	34
2200	25, 30, 35	35
2400	8, 8.5, 9	36
2400	9.5, 10, 10.5	37
2400	11, 11.5, 12	38
2400	12.5, 13, 13.5	39
2400	14, 14.5, 15	40
2400	16, 18, 20	41
2400	25, 30, 35	42
2800	8, 8.5, 9	43
2800	9.5, 10, 10.5	44
2800	11, 11.5, 12	45
2800	12.5, 13, 13.5	46
2800	14, 14.5, 15	47
2800	16, 18, 20	48
2800	25, 30, 35	49

B) BASİT DONATILI KİRİŞLER

$\sigma_{c,rem}$	d	sayfa
1400	30, 35, 40	52
1400	45, 50, 55	53
1400	60, 65, 70	54
1400	75, 80, 85	55
1400	90, 95, 100	56
1400	110, 120, 130	57
1400	140, 150, 160	58
2000	30, 35, 40	59
2000	45, 50, 55	60
2000	60, 65, 70	61
2000	75, 80, 85	62
2000	90, 95, 100	63
2000	110, 120, 130	64
2000	140, 150, 160	65
2400	30, 35, 40	66
2400	45, 50, 55	67
2400	60, 65, 70	68
2400	75, 80, 85	69
2400	90, 95, 100	70
2400	110, 120, 130	71
2400	140, 150, 160	72

C) TABLALI KİRİŞLER

$\sigma_{c,em}$	d	t	Sayfa
1400	40, 45, 50, 55	10	74
1400	60, 65, 70, 75	10	75
1400	80, 85, 90, 100	10	76
1400	40, 45, 50, 55	12	77
1400	60, 65, 70, 75	12	78
1400	80, 85, 90, 95	12	79
1400	40, 45, 50, 55	14	80
1400	60, 65, 70, 75	14	81
1400	80, 85, 90, 100	14	82
2000	40, 45, 50, 55	10	83
2000	60, 65, 70, 75	10	84
2000	80, 85, 90, 100	10	85
2000	40, 45, 50, 55	12	86
2000	60, 65, 70, 75	12	87
2000	80, 85, 90, 100	12	88
2000	40, 45, 50, 55	14	89
2000	60, 65, 70, 75	14	90
2000	80, 85, 90, 100	14	91
2400	40, 45, 50, 55	10	92
2400	60, 65, 70, 75	10	93
2400	80, 85, 90, 100	10	94
2400	40, 45, 50, 55	12	95
2400	60, 65, 70, 75	12	96
2400	80, 85, 90, 100	12	97
2400	40, 45, 50, 55	14	98
2400	60, 65, 70, 75	14	99
2400	80, 85, 90, 100	14	100

D) ÇİFT DONATILI KİRİŞLER

Öe, em	Öb, em	d	Sayfa
1400	60	30, 35, 40	102
1400	60	45, 50, 55	103
1400	60	60, 65, 70	104
1400	60	75, 80, 85	105
1400	60	90, 95, 100	106
1400	70	30, 35, 40	107
1400	70	45, 50, 55	108
1400	70	60, 65, 70	109
1400	70	75, 80, 85	110
1400	70	90, 95, 100	111
1400	80	30, 35, 40	112
1400	80	45, 50, 55	113
1400	80	60, 65, 70	114
1400	80	75, 80, 85	115
1400	80	90, 95, 100	116
2000	80	30, 35, 40	117
2000	80	45, 50, 55	118
2000	80	60, 65, 70	119
2000	80	75, 80, 85	120
2000	80	90, 95, 100	121
2400	80	30, 35, 40	122
2400	80	45, 50, 55	123
2400	80	60, 65, 70	124
2400	80	75, 80, 85	125
2400	80	90, 95, 100	126
1400	90	30, 35, 40	127
1400	90	45, 50, 55	128
1400	90	60, 65, 70	129
1400	90	75, 80, 85	130
1400	90	90, 95, 100	131
2000	90	30, 35, 40	132
2000	90	45, 50, 55	133
2000	90	60, 65, 70	134
2000	90	75, 80, 85	135
2000	90	90, 95, 100	136
2400	90	30, 35, 40	137
2400	90	45, 50, 55	138
2400	90	60, 65, 70	139
2400	90	75, 80, 85	140
2400	90	90, 95, 100	141

AÇIKLAMALAR

Bu bölümde tabloların kullanılması anlatılacak ve örnekler verilecektir. Bu arada bazı teorik esasların anlatılmasında fayda görülmüştür.

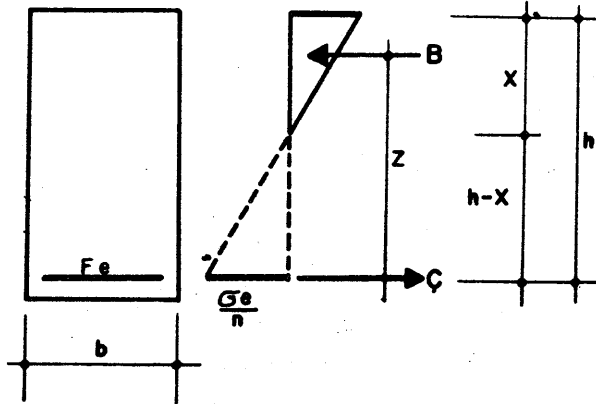
Tablolar, kirişler için 1 cm., döşemeler için 100 cm. genişlik alınarak hazırlanmıştır. Bunun için, kirişte statik hesap sonucu bulunan moment kiriş genişliğine bölünüp tabloya girilecek, sonra bulunan donatı kiriş genişliği ile çarpılarak gerekli donatı alanı bulunacaktır. Beton gerilme değeri ise olduğu gibi alınacaktır.

Tablolarda enterpolasyon sorununu büyük ölçüde azaltmak için donatı alanları noktadan sonra 2 hane olarak verilmiştir. Bunun doğuracağı en büyük hata, 20 cm. genişliğinde bir kiriş için 0.1 cm^2 , 50 cm. genişliğinde bir kiriş için 0.25 cm^2 donatı alanıdır. Paspayı 100 cm. derinliğe kadar 3.5 cm. daha derin kirişler için 5 cm. alınmıştır. Bu paspaylarının 0.5 cm.lik bir farklılık göstermesi sonucu 50 cm. derinliğindeki bir kirişin emniyet gerilmeleri yöntemine göre taşıyabileceği momentin hesaplanmasındaki hata % 2, donatı hesabındaki hata ise % 1'dir. Kiriş derinliği arttıkça bu hata oranı da azalmaktadır.

Döşemelerde paspayının seçilmesi mühendise bırakılarak tablolar h , faydalı yüksekliğe göre hazırlanmıştır.

Bu tablolarla deprem anındaki momentlere göre hesap için momentler 1.33'e bölünüp tabloya girilmelidir.

BASİT DONATILI KİRİŞLER



Şekil : 1

M momenti altındaki bir kirişte, $\sigma_c = \sigma_{c,em}$ kabul ederek σ_b ve donatı alanının tayini için üçüncü dereceden bir denklem çözümü gerekmektedir.

Kesitte kuvvetlerin dengesi şartından dolayı :

$$B = \Ç \quad (1)$$

Momentlerin dengesi şartından dolayı :

$$M = Bz = \Çz \quad (2)$$

yazılabilir.

B, beton basınç bileşkesini, $\Ç$, çelikteki toplam çekme kuvvetini göstermektedir.

Basınç kuvveti

$$B = \frac{\sigma_b \cdot b \cdot x}{2} \quad (3)$$

Çelik çekme kuvveti,

$$\Ç = \sigma_c \cdot F_c \quad (4)$$

Tarafsız eksenin yerini bulmak için basınç ve çekme alanlarının tarafsız eksen etrafındaki momentleri birbirine eşitlenerek şu denklem yazılır ;

$$b \cdot x \cdot \frac{x}{2} = n F_c (h - x) \quad (5)$$

(2) ve (4) eşitliğinden

$$F_c = \frac{M}{\sigma_c \cdot Z} \quad (6)$$

bulunur ve (5)'de yerine konursa

$$\frac{b x^2}{2} = \frac{n M}{\sigma_c \cdot Z} (h - x) \quad (7)$$

bulunur.

$$Z = h - \frac{x}{3} \quad (8)$$

olduğundan (7) ve (8) denklemlerinden :

$$\frac{\sigma_c \cdot b}{3} x^3 - b \sigma_c h x^2 - 2 n x M + 2 n h M = 0 \quad (9)$$

bulunur. Bu denklemin çözümünden tarafsız eksenin yerini veren x değeri bulunur.

Sonra

$$F_e = \frac{M}{\sigma_e \cdot Z} \quad (10)$$

ve

$$\sigma_b = \frac{x \sigma_e}{n (h - x)} \quad (11)$$

bağıntıları ile F_e ve σ_b bulunur.

Örnek 1 :

Dikdörtgen bir kirişte ;

$$b/d = 20/55$$

$$\sigma_b/\sigma_e = 70/1400$$

$$M = 600 \text{ tcm}$$

$$M/b = \frac{600}{20} = 30 \text{ tcm}$$

Sayfa 53 deki tablo kullanılarak :

$$\sigma_b = 64.2 \text{ kg/cm}^2 \leq 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e/b = 0.48 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$F_e = 0.48 \times 20 = 9.8 \text{ cm}^2 \text{ bulunur}$$

Örnek 2 :

$$b/d = 25/80$$

$$\sigma_b/\sigma_e = 90/2400$$

$$M = 1360 \text{ tcm}$$

$$M/b = \frac{1360}{25} = 54.4 \text{ tcm}$$

Sayfa 69 daki tablo kullanılarak enterpolasyonla

$$\sigma_b = 68.8 \text{ kg/cm}^2 \leq 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e/b = 0.33 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$F_e = 0.33 \times 25 = 8.25 \text{ cm}^2$$

Örnek 3 :

$$\sigma_b/\sigma_e = 70/2000$$

$$b/d = 30/70$$

Bu kirişte deprem anında düşey yüklerle birlikte 1800 tcm. moment oluşmaktadır. Deprem yönetmeliğine göre emniyet gerilmeleri % 33 arttırılır. Buna göre ;

$$\sigma_b = 70 \times 1.33 = 93.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 2000 \times 1.33 = 2660 \text{ kg/cm}^2$$

Bu kirişin eldeki tablolarla hesabı için moment 1.33'e bölünerek sayfa 61'deki $\sigma_{c,cm} = 2000 \text{ kg/cm}^2$ için hazırlanan tablo kullanılacaktır.

$$M = \frac{1800}{1.33} = 1353 \text{ tcm}$$

$$M/b = \frac{1353}{30} = 45.1 \text{ tcm}$$

$$F_c/b = 0.381 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$F_c = 0.381 \times 30 = 11.4 \text{ cm}^2 \text{ bulunur}$$

$$\sigma_b = 68.1 \times 1.33 = 90.6 \text{ kg/cm}^2 \leq 93.1 \text{ kg/cm}^2$$

Gerilme tahkiki yaparken 68 kg/cm^2 'lik değeri 1.33 ile çarpıp 93.1 ile karşılaştırma yapmaktansa, bu gerilmenin 70 kg/cm^2 'den ufak olduğunu göstermek de yeterli olacaktır.

DÖŞEMELER

Döşemelerde donatı ve gerilme tayini için izlenen yol basit donatılı kirişlerdeki gibidir. Yalnız döşemelerde momentler 100 cm. genişlik için bulunduğu ve tablolarda aynı genişlik için hazırlandığından tablolara hiç bir işlem yapmaksızın doğrudan girilecektir.

ÖRNEK Bir döşemede,

$$d = 12 \text{ cm.}$$

$$M = 56 \text{ tcm.}$$

$$\sigma_c = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

döşemede paspayını 1.5 cm. alırsak,

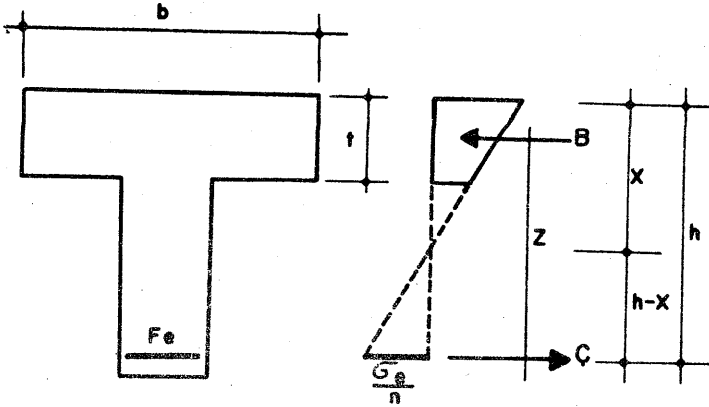
faydalı yükseklik : $h = 12 - 1.5 = 10.5 \text{ cm.}$ bulunur.

sayfa 23'deki tablodan :

$$\sigma_b = 38.5 \text{ kg/cm}^2 \leq 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_c = 4.22 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

ÇİFT DONATILI KİRİŞLER



ŞEKİL : 2

Basit donatılı kirişlerde, beton gerilmesi emniyet gerilmesini aştığı zaman basınç bölgesine de donatı koymak gerekmektedir. Koyaçağımız donatı beton gerilmesini sınırda tutacak kadar olacağından böyle bir kesitte $\sigma_b = \sigma_{b,em}$ olacaktır.

Orantı yolu ile :

$$\frac{x}{\sigma_b} = \frac{h-x}{\frac{\sigma_c}{n}} \quad (1)$$

yazılabilir. Buradan :

$$x = \frac{n \sigma_b}{n \sigma_b + \sigma_c} h \quad (2)$$

bulunur. Betondaki basınç kuvveti, B_1 şöyle ifade edilebilir

$$B_1 = \frac{\sigma_b \cdot b \cdot x}{2} \quad (3)$$

Basınç donatısı hesaba katılmaksızın kesitin emniyet gerilmeleri yöntemine göre taşıyabileceği momente M_1 dersek :

$$M_1 = \frac{\sigma_b \cdot b \cdot x}{2} \left(h - \frac{x}{3} \right) \quad (4)$$

ve bunun için gerekli donatı :

$$F_{c1} = \frac{M_1}{\sigma_{c,em} \left(h - \frac{x}{3} \right)} \quad (5)$$

Kesitte M_1 momentinden büyük bir M momenti olduğu zaman basınç donatısı ve ilâve çekme donatısı şu bağıntılarla hesaplanır :

$$\Delta M = M - M_1 \quad (6)$$

İlâve çekme donatısı,

$$F_{c2} = \frac{\Delta M}{\sigma_c \cdot c} \quad (7)$$

Basınç donatısındaki gerilme,

$$\sigma_c' = \frac{n \sigma_b (x - h')}{x} \quad (8)$$

Basınç donatısı,

$$F_{c'} = \frac{\Delta M}{\sigma_c' \cdot c} \quad (9)$$

Toplam çekme donatısı,

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad (10)$$

olarak bulunur.

Bu tablolarda deprem yönetmeliğine uyularak en büyük moment değeri $F_c' \leq \frac{F_c}{2}$ olacak şekilde seçilmiştir.

ÖRNEK 1 :

$$b/d = 25/60$$

$$\sigma_b/\sigma_c = 80/2400$$

$$M = 1150 \text{ tcm}$$

$$M/b = \frac{1150}{25} = 46 \text{ tcm}$$

Basit donatılı kiriş olarak σ_b , 80 kg/cm²'yi aştığından donatı hesabı çift donatılı kiriş olarak yapılacaktır.

Sayfa 124 'deki tabla kullanılarak :

$$M/b = 46 \text{ tcm için}$$

$$F_c = 0.38 \times 25 = 9.5 \text{ cm}^2$$

$$F_c' = 0.16 \times 25 = 4.0 \text{ cm}^2$$

ÖRNEK 2 — 20/80 bir kirişte düşey yük ve depremden dolayı toplam 3000 tcm moment vardır.

$$\sigma_t/\sigma_c = 70/1400$$

Deprem etkisi de göz önüne alındığından moment 1.33'e bölünecektir.

$$M/1.33 = 3000/1.33 = 2256 \text{ tcm}$$

$$M/b = 2256/20 = 112.8 \text{ tcm}$$

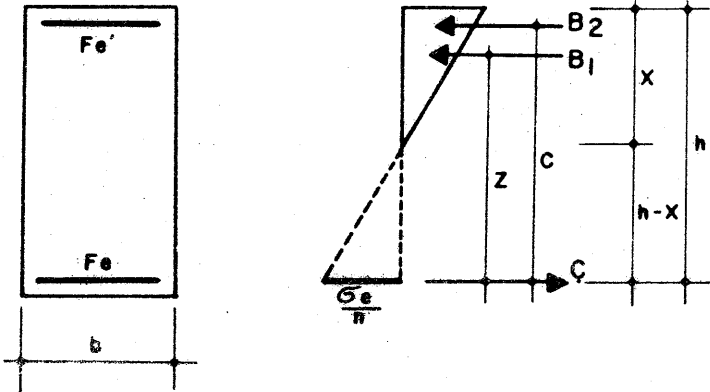
Sayfa 110 'daki tablo kullanılarak :

$$M/b = 112.8 \text{ tcm için}$$

$$F_c = 1.19 \times 20 = 23.8 \text{ cm}^2$$

$$F_c' = 0.55 \times 20 = 11.0 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

TABLALI KİRİŞLER



ŞEKİL · 3

Tablalı kirişlerde hesabı genelleştirmek için tablanın altındaki beton alanı gözönüne alınmamıştır.

Tabla altında kalan gerilmelerin ihmal edilmesi sonucunda ortaya çıkan hata b_0/b , t/h ve donatı yüzdesine bağlı olduğu bilinmekle beraber, pratikte karşılaşılan durumlar yönünden $b/b_0 > 5$ oranının geçerli olduğu tablalı kirişlerde verilen tablolar çok az hata ile gerçeğe yakın değeri verecek biçimde kullanılabilirler.

Tarafsız eksen tablanın içinde kaldığı durumda kiriş b genişliğinde bir dikdörtgen kesit olarak hesaplanır. Tarafsız eksenin tablanın al-

tına düştüğü durumlarda Prof. Dr. Uğur Ersoy ve Dr. Ergin Atımtay tarafından verilen iki denklem kullanılmıştır.

$$m = \frac{\sigma_c}{\sigma_b} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{t}{h} \quad (2)$$

$$i_6 = \frac{b h^2}{M} \quad (3)$$

olarak tarif edilsin.

Birinci denklem $i_6 \sigma_c$ değerini bulmak içindir.

$$i_6 \sigma_c = \frac{90 m}{\gamma [90 - 3 \gamma (m + 30) + 2 \gamma^2 (m + 15)]} \quad (4)$$

eşitlik m için çözümlerse

$$m = \frac{30 (3 \gamma - 3 - \gamma^2)}{\left(2 \gamma^2 - 3 \gamma - \frac{90}{\gamma i_6 \sigma_c} \right)} \quad (5)$$

elde edilir.

İkinci denklem, Z, moment kolunu vermektedir.

$$Z = h \left[1 - \frac{3}{\gamma} \frac{45 - 2 \gamma (15 + m)}{30 - \gamma (15 + m)} \right] \quad (6)$$

donatı alanı ise

$$F_c = \frac{M}{\sigma_c \cdot Z} \quad (7)$$

bağıntısı ile bulunur.

Tablalı kirişlerde gerilme kontrolü ikinci derecede önem taşıdığı için tablolarda sadece moment ve donatı verilmiştir. Ancak tablodaki son değer, B225 için sınır değer olan $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$ gerilmesine tekabül eden momenttir. Alttan onuncu satırın üzerindeki yatay çizgi ise B160 için sınır değer olan $\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$ gerilmesinin aşıldığını göstermektedir. Aynı derinlikteki bir tablalı kiriş için b genişliğinin ve t/h oranlarının farklı alınmaları sonucu en büyük fark beton gerilme değerlerinde meydana gelmektedir. Bununla beraber tablalı kirişlerde beton gerilmesinin genellikle kritik olmayışı nedeniyle tabloda verilen yatay çizgilerden $\sigma_b \leq \sigma_{b,cm}$ şartının sağlanmış olduğunun gösterilmesi yeterli olacaktır.

Örnek 1 : Bir kirişte $d = 70$ cm

$$t = 10 \text{ cm}$$

Tablo genişliği, $b = 80$ cm.

$$M = 950 \text{ tcm}$$

$$\sigma_b/\sigma_c = 50/1400$$

Sayfa 75 'deki tablodan :

$$M/b = \frac{950}{80} = 11.88 \text{ tcm}$$

$$F_c/b = 0.137 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$F_c = 0.137 \times 80 = 10.96 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_b < 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ bulunur.}$$

ÖRNEK 2 :

$$d = 75 \text{ cm}$$

$$t = 12 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$M = 1000 \text{ tcm}$$

$$\sigma_b/\sigma_c = 50/1400$$

$M/b = 1000/100 = 10$ için Sayfa 78 'deki tablodan :

$$F_c/b = 0.107 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$F_c = 0.107 \times 100 = 10.7 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_b < 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ bulunur}$$

Şimdi aynı kirişin tabla genişliğini 50 cm. kabul ederek donatı hesabını yapalım :

$$M/b = 1000/50 = 20 \text{ için}$$

Aynı tablodan :

$$F_c/b = 0.216 \text{ cm}^2/\text{cm} \text{ bulunur.}$$

$$F_c = 0.216 \times 50 = 10.8 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

$$\text{Hata oranı} = \frac{10.8 - 10.7}{10.7} \times 100 = \% 0.9$$

Tabla genişliğini 200 cm kabul ederek hesabı tekrarlırsak :

$$M/b = 1000/200 = 5$$

$$F_c = 0,052 \times 200 = 10.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Hata oranı} = \frac{10.7 - 10.4}{10.7} \times 100 = \% 2.8$$

Buradan görebilirizki tabla genişliğinin % 100 değişimi bile donatı hesabını fazla etkilememektedir. Bu nedenle tabladaki gerilmenin kritik olmayacağı bilinen durumlarda, hem tabla genişliğini hesaplamak-

tan kurtulmak, hem de hesabı kolaylaştırmak için pratikte rastlanan tür tablalı kirişler için $b = 100$ kabul edilip, tablolara girilebilir. Böylece M/b ve $F_c \cdot b$ değerleri zihinden kolayca hesaplanabileceği için donatı hesabı çok kolaylaşacaktır. Ancak büyük momentlerin olduğu kirişlerde hakiki tabla genişliğini bulup, gerilmenin sınırı aşıp aşmadığını kontrol etmek gerekir.

Şimdi $b = 100$ cm ve $t = 12$ cm. olan bu kirişi $t = 10$ cm. için hesaplayalım :

$$M/b = 1000/100 = 10$$

Sayfa 75'deki tablodan
 $F_c/b = 0.106$ cm²/cm.
 $F_c = 0.106 \times 100 = 10.6$ cm² bulunur.

$$\text{Hata oranı} = \frac{10.7 - 10.6}{10.7} \times 100 = \% 0.9$$

Şimdi $t = 14$ alalım :
 $M/b = 10$

Sayfa 81'deki tablodan :
 $F_c/b = 0.107$ cm²/cm.
 $F_c = 0.107 \times 100 = 10.7$ cm²

$$\text{Hata oranı} = \frac{10.7 - 10.7}{10.7} \times 100 = \% 0.0$$

Tabla kalınlığının da donatı hesabını fazla etkilemediği bu örnekle görülmektedir. Bu nedenle gerilme kontrolünün önemli olmadığı durumlarda tablolar ara değerler olan $t = 11$ cm ve $t = 13$ cm için, hatta $t = 15$ ve $t = 16$ değerleri için emniyetle kullanılabilir.