

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Beton Bas. Ger. Blo. Par. Çeş.
Gery-Birim Def. Dav. Mod. Göre İnd. ve Bel.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ehsan Allah Radjabi

1992

1.178
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU
PARAMETRELERİNİN ÇEŞİTLİ
GERİLME - BİRİM DEFORMASYON
DAVRANIŞ MODELLERİNE GÖRE
İRDELENMESİ VE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜH. EHSAN ALLAH RADJABI**

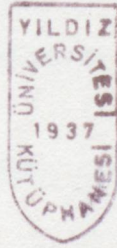
İSTANBUL 1992

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEŞEKKÜR

**BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU
PARAMETRELERİNİN ÇEŞİTLİ
GERİLME - BİRİM DEFORMASYON
DAVRANIŞ MODELLERİNE GÖRE
İRDELENMESİ VE BELİRLENMESİ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜH. EHSAN ALLAH RADJABI**

İSTANBUL 1992

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
: 225
Alındığı Yer : Y.T.Ü.
Tarih : 22.8.1995
Fatura : -
Fiyatı : 25.000 TL.
Ayniyat No : 1-16
Kayıt No : 1 51525
UDC :
Ek :

Y. T. Ü.
KÜTÜPHANE DOK. DAİ. BAŞKANLIĞI

SEMBOLLER

$\epsilon_{0.2}$ Dörtgen kesitliliği
Basınç kuvveti / yükü
Etkili derinlik (kesme donatısı ağırlık merkezine en dış beton basınç donatısı uzaklığı)
Elastiklik modülü
Sekant modülü

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca yakın ilgisi ve yol göstericiliği için
Sayın Hocam Prof. Altay GÜNDÜZ'e içten teşekkür ederim.

SEMBOLLER

b	Dikdörtgen kesit genişliği
c	Basınç kuvveti bileşkesi
d	Etkili derinlik (çekme donatısı ağırlık merkezinin en dış beton basınç lifinden uzaklığı)
E_c	Elastiklik modülü
E_{c1}	Sekant modülü
F_{cd}	Beton basınç mukavemetinin tasarım değeri
F_{ck}	Betonun karakteristik basınç mukavemeti
F_{cm}	Betonun ortalama basınç mukavemeti
h	Dikdörtgen kesitin yüksekliği
k_1, k_2	Beton basınç gerilme dağılımını belirleyen parametreler
k_3	Deney elemanında ulaşılan maksimum gerilme ile betonun silindir mukavemeti arasındaki oran
k_x	Tarafsız eksen katsayısı
L_p	Plastik mafsal eşdeğer boyu
M_d	Hesap momenti
M_u	Son limit tasarım momenti
M_y	Akma momenti
x	Kesitin tarafsız eksen derinliği
γ_{mc}	Malzeme katsayısı
ϵ_c	Betondaki birim deformasyon
$\epsilon_{c1}, \epsilon_{c0}, \epsilon_0$	Maksimum Gerilmedeki birim deformasyon
ϵ_{cu}	Betondaki maksimum birim kısalma
ϵ_{20c}	Maksimum gerilmenin % 20'sine düştüğü birim deformasyon
ϵ_{50u}	Maksimum gerilmenin mukavemetin yarısına düştüğü zaman oluşan birim deformasyon
ϵ_{80u}	Beton yüzeyindeki gerilmenin $0,8 F_{cd}$ değerine düştüğü zaman oluşan birim deformasyon

İNDEKİLER

		<u>Sayfa No</u>
ρ	Çekme donatı yüzdesi	
σ_c	Betondaki basınç gerilme	
ψ	Beton davranış modelleriyle ilgili parametre	1
ϕ_u	Son limit eğriliği	3
ϕ_y	Akma eğriliği	
ω	Çekme donatısı indeksi	5
θ_a	Plastik dönme kapasitesi	
θ_i	Herhangi bir i mafsalındaki dönme	
		10
		10
		17
		20
		25
		27
		32
		23
		38
		39
		39
		41
		61
		62

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	1
1. GİRİŞ	3
2. BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU PARAMETRELERİNİN TEORİK OLARAK BELİRLENMESİ	5
3. ÇEŞİTLİ GERİLME-BİRİM DEFORMASYON DAVRANIŞ MODELLERİ VE BU MODELLERE GÖRE BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	10
3.1. Kaynak 1'de önerilen model ve bu modele göre k_1 ve k_2 değerlerinin belirlenmesi	10
3.2. Kaynak 2'de önerilen model	17
3.2.1. k_1 ve k_2 parametrelerinin belirlenmesi	20
3.3. Kaynak 2'de önerilen modelde $k_3 = 0,85$ alınması durumu	25
3.3.1. k_1 ve k_2 parametrelerinin belirlenmesi	27
3.4. Kaynak 3 ve 4'de önerilen model	32
3.4.1. k_1 ve k_2 parametrelerinin belirlenmesi	33
3.5. TS 500 -84'te verilen k_1 ve k_2 değerleri	38
4. İRDELEMELER	39
4.1. Çeşitli modellere göre belirlenen k_1 ve k_2 değerlerinin karşılaştırılması	39
4.2. Farklı modellere ilişkin k_1 ve k_2 değerlerine göre yalnızca çekme donatısı bulunan dikdörtgen kesitlerde çeşitli donatı yüzdeleri karşılığı belirlenen son limit momentlerinin ve eğriliklerinin karşılaştırılması	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	

BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU PARAMETRELERİNİN ÇEŞİTLİ GERİLME-
BİRİM KISALMA DAVRANIŞ MODELLERİNE GÖRE İRDELENMESİ
VE BELİRLENMESİ

ÖZET

Betonarme elemanların davranışı onların deformasyon özelliklerine bağlı olarak değişir. Betonarme çerçeve sistemlerin davranışını temel olarak, eğilme momenti ile eğrilik arasındaki ilişki belirler.

Moment-eğrilik ilişkileri, duyarlı olarak, basınç etkisinde kalan beton için gerçeğe uygun bir gerilme-birim kısalma ilişkisi kabul edilerek belirlenebilir. Bunun için çeşitli gerilme-birim kısalma davranış modellerine göre beton basınç gerilme bloğu parametrelerinin (k_1 , k_2) bulunup karşılaştırılmasıyla, daha gerçekçi bir yaklaşım elde edilebilir.

EVALUATION OF CONCRETE COMPRESSIVE STRESS BLOCK PARAMETERS
FOR VARIOUS STRESS-STRAIN BEHAVIOR MODELS

SUMMARY

The behaviour of reinforced concrete elements changes by the strain properties. The behaviour of reinforced concrete frames depends mainly on the relationship between bending moment and curvature.

If a reasonable assumption is made for stress-strain relationship for concrete in compression, moment-curvature relationship can be accurately evaluated.

So, for coming close to a practical approach, it must be calculated and compared, concrete compressive stress block parameters for various stress-strain behavior models.

1. GİRİŞ

Betonarme elemanların davranışını, eğrilik ile eğilme momenti arasındaki ilişki belirler. Bu nedenle betonarme yapıların doğrusal olmayan yöntemlerle veya limit tasarımı yöntemleriyle çözümlenebilmesi için, moment-eğrilik ilişkilerinin bilinmesi gerekir.

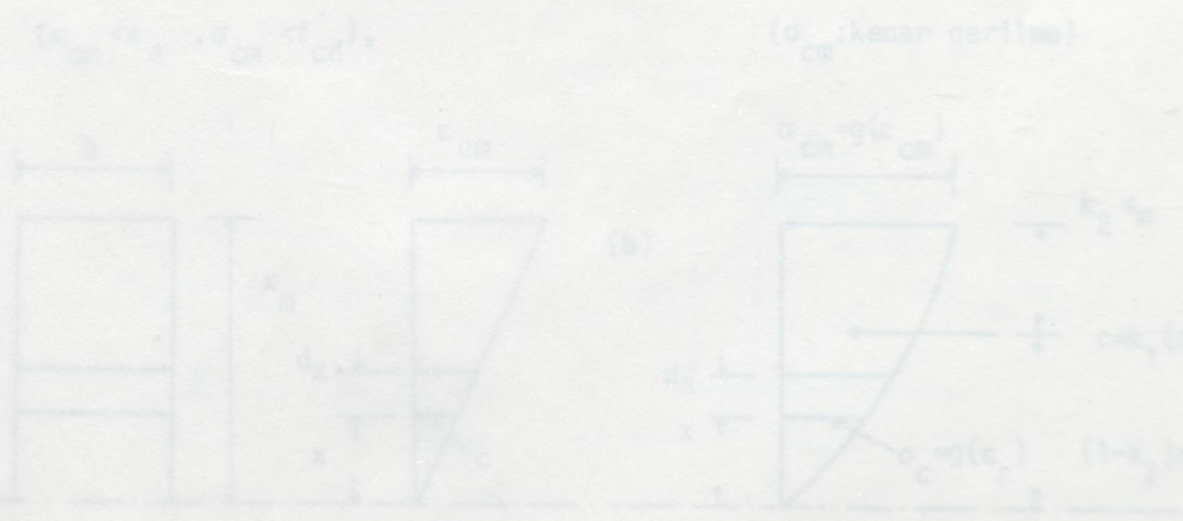
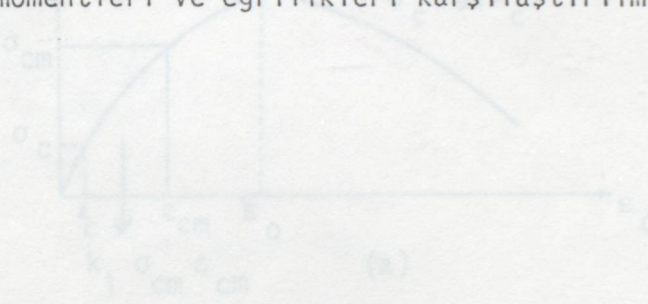
Basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan betonarme elemanlardaki akma eğriliklerinin, beton basınç gerilmeleri dağılımı doğrusal kabul edilerek elastik teoriye göre hesaplanması; taşıma gücü eğriliklerinin ise, kesit hesaplarında kullanılan yaklaşık algoritmalarla belirlenmesi duyarlı yaklaşımlar olmaz. Çünkü; beton basınç gerilmeleri dağılımı, onun $\sigma - \epsilon$ eğrisine benzer. Akma eğriliğinin (ϕ_y) hesaplanmasında dağılımın üçgen kabul edilmesi, eğriliğin küçük tahmin edilmesine neden olur. Taşıma gücü eğriliğinin (ϕ_u), kesitin basınç bölgesini tarafsız eksene kadar kapsayan eşdeğer dikdörtgen ya eşdeğer parabol-dikdörtgen dağılımlara göre belirlenmesi ise eğriliğin büyük tahmin edilmesiyle sonuçlanır.

Özetle, akma ve taşıma gücü eğriliklerinin belirlenmesinde söz konusu yaklaşık algoritmaların kullanılması, ϕ_u/ϕ_y oranıyla belirli kesit duktilitesinin büyük tahmin edilmesi anlamına gelir. Bu da, limit tasarımda göçme olasılığının öngörülenden büyük olması demektir.

Moment-eğrilik ilişkileri, duyarlı olarak, basınç etkisinde kalan beton için gerçeğe uygun bir, gerilme-birim kısalma ilişkisi kabul edilerek belirlenebilir. Başka bir deyişle basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan bir kesitte en üst beton basınç lifinin herhangi bir birim deformasyonu karşılığı eğriliği, söz konusu $\sigma - \epsilon$ eğrisi ile uygunluk ve kuvvet denge denklemleri kullanılarak hesaplanabilir.

Gerilme-birim deformasyon ilişkisi hakkında çeşitli yaklaşımlar vardır. Örneğin Avrupa Beton Komitesinin (CEB MC 90) önerdiği model [1]. Kaynak 2,3,4'te önerilen modeller ve ayrıca TS 500'de esas alınan model [5].

Bu çalışmanın amacı, beton basınç gerilme bloğu parametrelerinin (k_1 , k_2 ve k_3) çeşitli gerilme-birim kısalma davranış modellerine göre araştırılması ve karşılaştırılması ve gerçekçi yaklaşımlara ulaşılmasıdır. Çalışmanın ikinci bölümünde beton basınç gerilme bloğu parametreleri teorik yolla hesaplanmış, üçüncü bölümünde çeşitli gerilme-birim kısalma davranış modellerine göre beton basınç gerilme bloğu parametreleri belirlenmiş, dördüncü bölümde bulunan k_1 ve k_2 değerleri karşılaştırılmış ve yorumlanmış, yalnızca çekme donatısı bulunan dikdörtgen kesitlerde çeşitli donatı yüzdeleri karşılığı, farklı modellere göre belirlenen son limit momentleri ve eğrilikleri karşılaştırılmıştır.



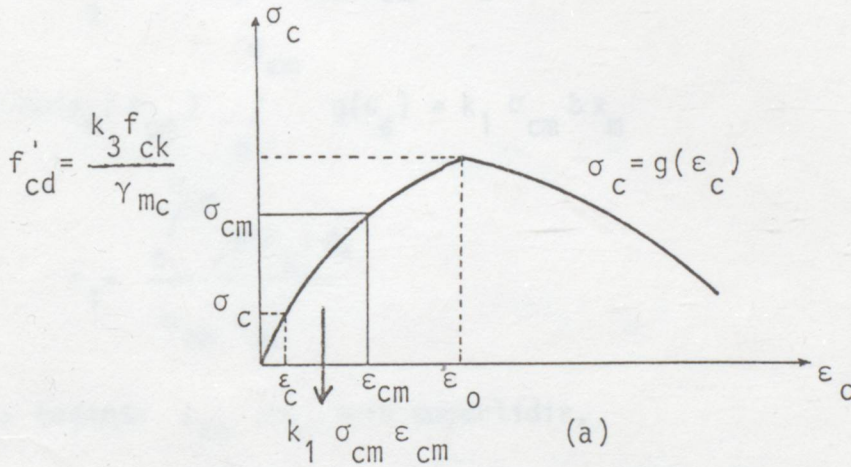
Şekil 2.1. (a) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi

(b) Beton basınç gerilme dağılımı parametreleri.

2. BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU PARAMETRELERİNİN TEORİK OLARAK BELİRLENMESİ

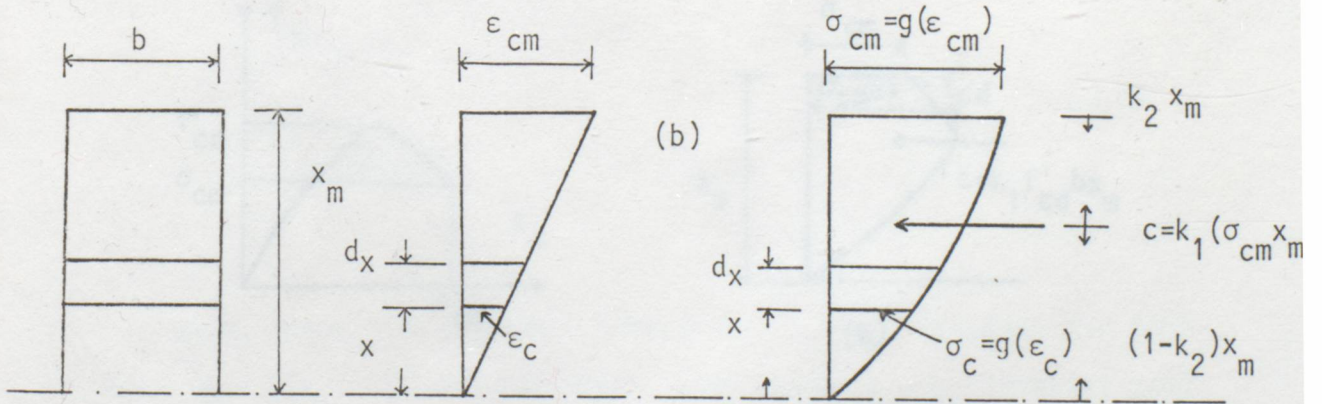
Basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan bir kesitte beton basınç gerilmeleri dağılımı iki parametreyle belirlenebilir: k_1 , ortalama gerilme ile maksimum gerilme arasındaki oran; k_2 : beton basınç bileşkesi derinliği ile tarafsız eksen derinliği arasındaki oran. Betondaki gerilmeler $\sigma_c = g(\epsilon_c)$ şeklinde ifade edilebiliyorsa, belirli bir ϵ_{cm} birim kısalma için parametreler aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir.

$\sigma_c - \epsilon_c$ ilişkisi



$(\epsilon_{cm} < \epsilon_0, \sigma_{cm} < f'_{cd}),$

$(\sigma_{cm} : \text{kenar gerilme})$



Şekil 2.1. (a) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi

(b) Beton basınç gerilme dağılımı parametreleri.

k₁

1.durum (Şekil 2.1 a,b)

$$C = b \int_0^{x_m} \sigma_c d_x = b \int_0^{x_m} g(\epsilon_c) d_x$$

$$x/x_m = \epsilon_c / \epsilon_{cm} \rightarrow x = (x_m / \epsilon_{cm}) \epsilon_c$$

$$d_x = (x_m / \epsilon_{cm}) d\epsilon_c$$

$$C = b \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) \left(\frac{x_m}{\epsilon_{cm}} \right) d\epsilon_c$$

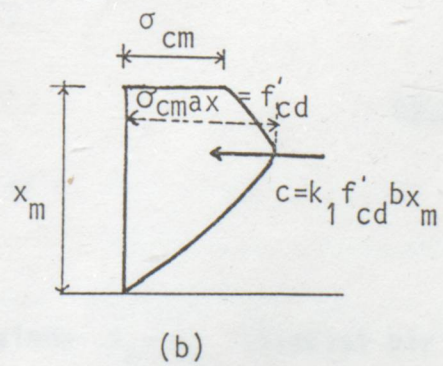
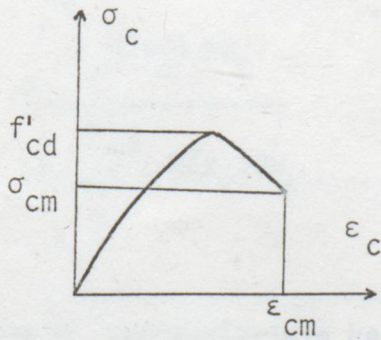
$$C = b \left(\frac{x_m}{\epsilon_{cm}} \right) \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c = k_1 \sigma_{cm} b x_m$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\sigma_{cm} \epsilon_{cm}}$$

(2.1)

Bu bağıntı $\epsilon_{cm} < \epsilon_0$ için geçerlidir.

$\epsilon_{cm} > \epsilon_{c0}$



Şekil 2.2. (a) $\sigma - \epsilon$ ilişkisi; (b) Gerilme dağılımı

2.durum (Şekil 2.2 a ve b)

$$\epsilon_{cm} > \epsilon_{c0}$$

$$C = b(x_m / \epsilon_{cm}) \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c = k_1 f'_{cd} b x_m$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{f'_{cd} \epsilon_{cm}} \quad (2.2)$$

$$\frac{k_2}{x_m}$$

$$\int_0^{x_m} (b \sigma_c dx) x = c(x_m - k_2 x_m)$$

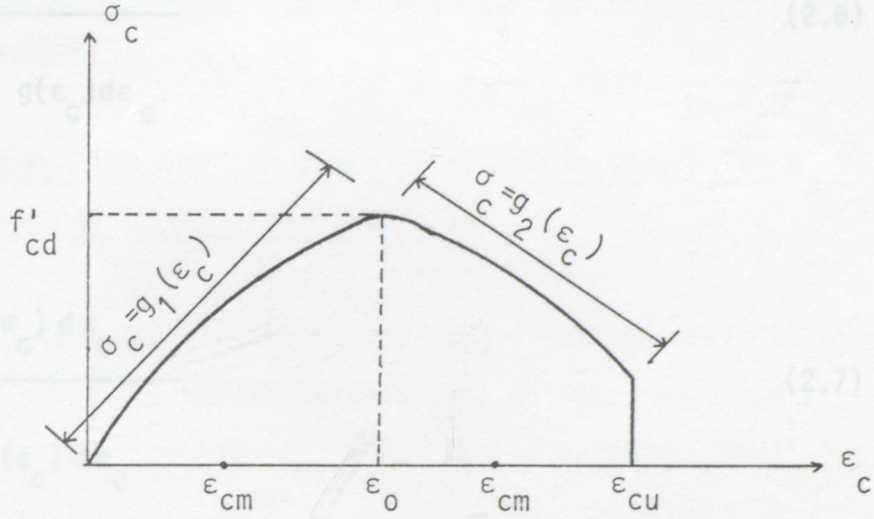
$$\int_0^{\epsilon_{cm}} |b g(\epsilon_c) (x_m / \epsilon_{cm}) d\epsilon_c| \cdot |x_m / \epsilon_{cm}| \epsilon_c =$$

$$= |b (x_m / \epsilon_{cm}) \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c| \cdot |(1 - k_2) x_m|$$

$$\frac{1}{\epsilon_{cm}} \int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c g(\epsilon_c) d\epsilon_c = (1 - k_2) \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c \quad (2.5)$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c} \quad (2.3)$$

k_1 ve k_2 katsayılarının belirlenmesinde $\sigma_c - \epsilon_c$ ilişkisi bir fonksiyonla, $\sigma_c = g(\epsilon_c)$ ifade edilmiştir. Uygulamada $\sigma_c - \epsilon_c$ ilişkisi çoğu zaman iki fonksiyonla ifade edilmektedir. $\epsilon_c < \epsilon_0$ için $\sigma_c = g_1(\epsilon_c)$ ve $\epsilon_c > \epsilon_0$ için $\sigma_c = g_2(\epsilon_c)$ gibi. Bu durumda k_1 ve k_2 'yi veren bağıntılardaki integreller iki parçadan oluşur. (Şekil 2.3).



Şekil 2.3.

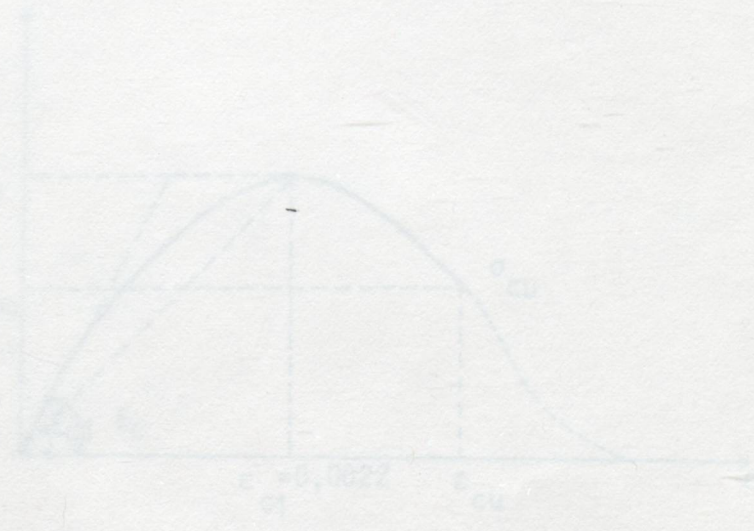
$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_0} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_{\epsilon_0}^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{f'_{cd} \epsilon_{cu}} \quad (2.4)$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_0} \epsilon_c g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_{\epsilon_0}^{\epsilon_{cu}} \epsilon_c g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \left| \int_0^{\epsilon_0} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_{\epsilon_0}^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c \right|} \quad (2.5)$$

(2.4) ve (2.5) bağıntılarıyla bulunan k_1 ve k_2 değerleri, iki fonksiyondan oluşan $|\sigma_c = g_1(\epsilon_c)$ ve $\sigma_c = g_2(\epsilon_c)|$ modele göre hesaplanmıştır. Tek fonksiyondan oluşan modellerde, örneğin CEB modelinde $|\sigma = g(\epsilon_c)|$, k_1 ve k_2 bağıntıları şöyle olur.

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_{cu}} \epsilon_c g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \int_0^{\epsilon_{cu}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c} \quad (2.6)$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cu}} \epsilon_c g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \int_0^{\epsilon_{cu}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c} \quad (2.7)$$

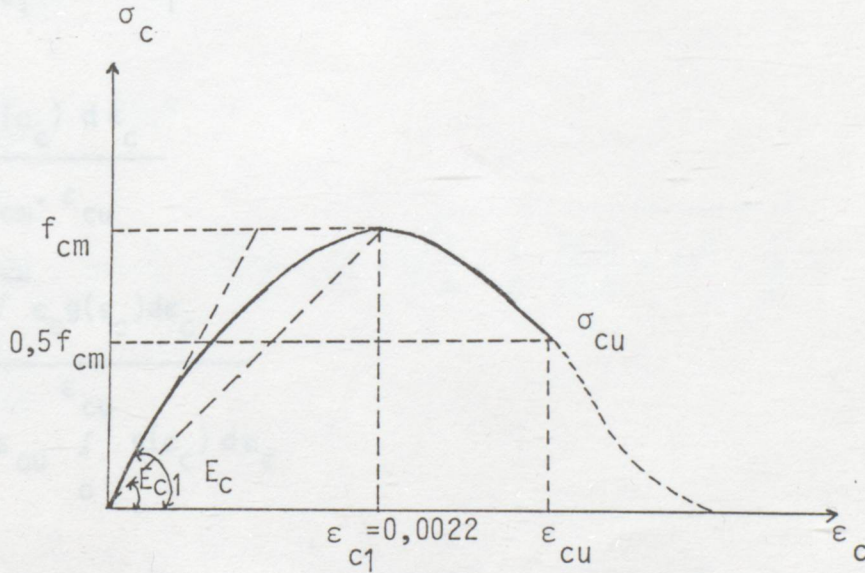


Şekil 3.1. ÇOB-117 NC 90'a göre $\sigma - \epsilon$ ilişkisi.

3. ÇEŞİTLİ GERİLME-BİRİM DEFORMASYON DAVRANIŞ MODELLERİ VE BU MODELLERE GÖRE BETON BASINÇ GERİLME BLOĞU PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Kaynak 1'de Önerilen Model ve Bu Modele Göre k_1 ve k_2 Parametrelerinin Belirlenmesi (MODEL I)

CEB-FIP 1990 model yönetmeliğinde [1], gerilme-birim kısalma eğrisi ikinci dereceden parabollerle temsil edilmiş, maksimum gerilmedeki (f_{cm}) birim kısalma ise ($\epsilon_{c1} = 0,0022$) alınmıştır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. CEB-FIP MC 90'a göre σ - ϵ ilişkisi.

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$E_c = 10^4 (f_{ck} + 8)^{1/3} = 10^4 |f_{cm}|^{1/3}$$

$$E_{c1} = f_{cm} / 0,0022$$

Tablo 3.1. CEB MC 90'a göre, E_c , E_{c1} ve ϵ_{cu} değerleri

	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
E_c (10^3 MPa)	30,5	33,5	36,5	38,5	41	42,5	44,5
E_{c1} (10^3 MPa)	12,5	17,5	22	26,5	31	35,5	40
ϵ_{cu} (10^{-3})	4,3	3,7	3,3	3,0	2,8	2,6	2,4

C20 için k_1 ve k_2

$$E_c = 10^4 (f_{cm})^{1/3} = 10^4 (28)^{1/3} = 30,5$$

$$E_{c1} = \frac{f_{cm}}{0,0022} = 12,5$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0022 \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{30,5}{12,5} + 1 \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{30,5}{12,5} + 1 \right)^2 - \frac{1}{2}} \right\}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0043$$

$$\sigma_c = \frac{\frac{E_c}{E_{c1}} \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2}{1 + \left(\frac{E_c}{E_{c1}} - 2 \right) \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}} \cdot f_{cm} = \frac{E_c \epsilon_{c1} \epsilon_c - E_{c1} \epsilon_c^2}{E_{c1} \epsilon_{c1}^2 + E_c \epsilon_{c1} \epsilon_c - 2 E_{c1} \epsilon_{c1} \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$\sigma_c = \frac{2,44 \epsilon_{c1} \epsilon_c - \epsilon_c^2}{\epsilon_{c1}^2 + 0,44 \epsilon_{c1} \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_{cu}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{f_{cm} \epsilon_{cu}}$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{0,0043} \frac{5,368 \cdot 10^{-3} \epsilon_c^2 - \epsilon_c^3}{4,84 \cdot 10^{-6} + 9,68 \cdot 10^{-4} \epsilon_c} \cdot f_{cm} d\epsilon_c}{f_{cm} \cdot 0,0043}$$

$$k_1 = 0,761$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{0,0043} \epsilon_c g(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \int_0^{0,0043} g(\epsilon_c) d\epsilon_c}$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{0,0043} \frac{5,368 \cdot 10^{-3} \epsilon_c^2 - \epsilon_c^3}{4,84 \cdot 10^{-6} + 9,68 \cdot 10^{-4} \epsilon_c} \cdot f_{cm} d\epsilon_c}{0,0043 \cdot 0,0032714 \cdot f_{cm}}$$

$$k_2 = 0,467$$

C30 için k_1 ve k_2

$$E_c = 33,5$$

$$E_{c1} = 17,5$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0037$$

$$\sigma_c = \frac{E_c \epsilon_{c1} \epsilon_c - E_{c1} \epsilon_c^2}{E_{c1} \epsilon_{c1}^2 + E_c \epsilon_{c1} \epsilon_c - 2E_{c1} \epsilon_{c1} \epsilon_c}$$

$$\sigma_c = \frac{0,0737 \epsilon_c - 17,5 \epsilon_c^2}{0,0000847 + 0,0737 \epsilon_c - 0,077 \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = \frac{0,0037 \frac{0,0737 \epsilon_c - 17,5 \epsilon_c^2}{0,0000847 + 0,0737 \epsilon_c - 0,077 \epsilon_c} \cdot f_{cm}}{f_{cm} \cdot 0,0037}$$

$$k_1 = 0,725$$

$$k_2 = 1 - \frac{0,0037 \frac{0,0737 \epsilon_c^2 - 17,5 \epsilon_c^3}{0,0000847 + 0,0737 \epsilon_c - 0,077 \epsilon_c} \cdot f_{cm}}{0,0037 \cdot 0,0026833 f_{cm}}$$

$$k_2 = 0,446$$

C40 için k_1 ve k_2

$$E_c = 36,5$$

$$E_{c1} = 22$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0033$$

$$\sigma_c = \frac{0,0803 \epsilon_c - 22 \epsilon_c^2}{0,00010648 + 0,0803 \epsilon_c - 0,0968 \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = 0,703$$

$$k_2 = 0,425$$

C50 için k_1 ve k_2

$$E_c = 38,5$$

$$E_{c1} = 26,5$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\sigma_c = \frac{0,0847 \epsilon_c - 26,5 \epsilon_c^2}{0,00012826 + 0,0847 \epsilon_c - 0,1166 \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = 0,673$$

$$k_2 = 0,405$$

C60 için k_1 ve k_2

$$E_c = 41$$

$$E_{c1} = 31$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0028$$

$$\sigma_c = \frac{0,0902 \epsilon_c - 31 \epsilon_c^2}{0,00015004 + 0,0902 \epsilon_c - 0,1364 \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = 0,645$$

$$k_2 = 0,387$$

C70 için k_1 ve k_2

$$E_c = 42,5$$

$$E_{c1} = 35,5$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0026$$

$$\sigma_c = \frac{0,0935 \epsilon_c - 35,5 \epsilon_c^2}{0,00017182 + 0,0935 \epsilon_c - 0,1562 \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = 0,607$$

$$k_2 = 0,366$$

C80 için k_1 ve k_2

$$E_c = 44,5$$

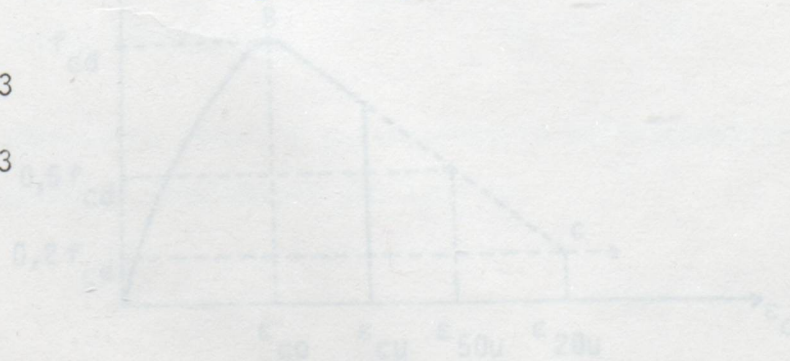
$$E_{c1} = 40$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0024$$

$$\sigma_c = \frac{0,0979 \epsilon_c - 40 \epsilon_c^2}{0,0001936 + 0,0979 \epsilon_c - 0,176 \epsilon_c} \cdot f_{cm}$$

$$k_1 = 0,573$$

$$k_2 = 0,333$$



Saklı 3.2, Model II'ye göre $\sigma - \epsilon$ ilişkisi [2]

Tablo 3.2. CEB MC 90'a göre çeşitli beton sınıfları için k_1 ve k_2 değerleri.

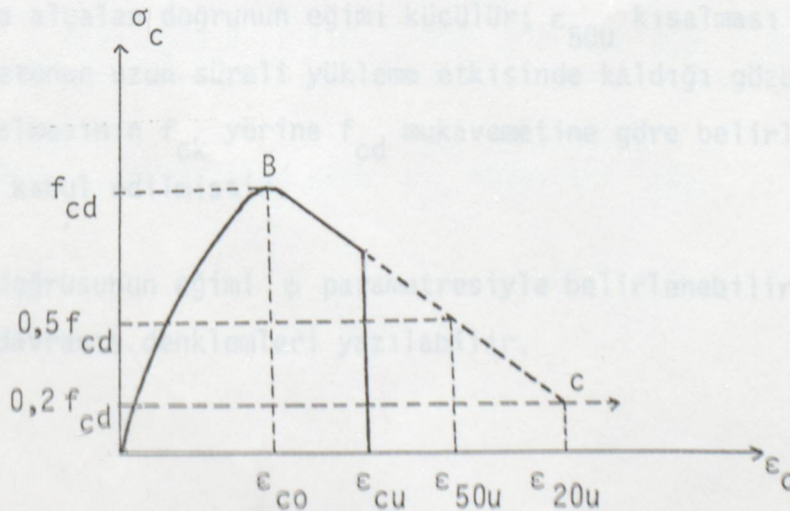
	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
k_1	0,761	0,725	0,703	0,673	0,645	0,607	0,573
k_2	0,467	0,446	0,425	0,405	0,387	0,366	0,333

3.2. Kaynak 2'de önerilen Model (MODEL II)

Gündüz [2], monotonik yükler altında kalan betonlar için bir gerilme-birim kısalma davranış modeli geliştirmiştir. Model C < C80'e kadar olan betonlar için geçerlidir.

Modelin özellikleri ve oluşturulmasında yapılan kabuller:

Maksimum gerilme f_{cd} kabul edilmiş; deney elemanında ulaşılan maksimum gerilmeyle betonun silindir mukavemeti arasındaki oran, k_3 , deneysel bulgulara göre, ihtiyatlı yaklaşımla 1,0'e eşit alınmıştır. Maksimum gerilmeye kadar davranış ikinci-derece parabollerle temsil edilmiştir.



Şekil 3.2. Model II'ye göre $\sigma - \epsilon$ ilişkisi [2]

Tek-eksenli basınç altında kalan betonda, maksimum gerilmedeki birim kısalma, ϵ_{CO} ; betonun ortalama basınç mukavemetine, varyasyon katsayısına yükleme hızına ve birim deformasyon dağılımının eğimine bağlı değişir. Pratik amaçla, tüm beton sınıfları için maksimum gerilmedeki birim kısalma $\epsilon_{CO} = 0,0022$ kabul edilebilir. Bu kabullere göre gerilme-birim kısalma eğrilerinin yükselen bölümlerinin denklemleri tanımlanabilir.

AB bölümü; $\epsilon_c < 0,0022$

$$\sigma_c = f_{cd} \left| (2 \epsilon_c / 0,0022) - (\epsilon_c / 0,0022)^2 \right| \quad (3.4)$$

Maksimum gerilmeden sonraki davranış alçalan BC doğrularıyla betimlenmiştir. Doğru eğimi gerilmenin, maksimum gerilmenin yarısına düştüğü zaman oluşan birim kısalma (ϵ_{50u}); deneysel bulgularla uyuşan aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir:

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0,29 f_{cd}) / (145 f_{cd} - 1000) \quad (3.5)$$

(3.5) bağıntısı kısa-sürelili yüklemeye ilintilidir. Uzun-sürelili yüklemeye alçalan doğrunun eğimi küçülür; ϵ_{50u} kısalması büyür. Uygulamada betonun uzun süreli yüklemeye etkisinde kaldığı gözönüne alınarak ϵ_{50u} kısalmasının f_{ck} yerine f_{cd} mukavemetine göre belirlenmesi uygun yaklaşım kabul edilmiştir.

BC doğrusunun eğimi ψ parametresiyle belirlenebilir ve bu bölüme ilişkin davranış denklemleri yazılabilir.

BC bölümü; $0,0022 < \epsilon_c < \epsilon_{20u}$ nin belirlenmesi

$$\psi = \tan \theta / f_{cd} = 0,5 / (\epsilon_{50u} - 0,0022) \quad (3.6)$$

$$\sigma_c = f_{cd} | 1 - \psi (\epsilon_c - 0,0022) | \quad (3.7)$$

Kısalmaların çok büyük olduğu evrede betonun $0,2 f_{cd}$ gerilmesine ulaştığı kabul edilmiş ve alçalan doğru bu gerilmenin karşılığı ϵ_{20u} kısalmasıyla sınırlandırılmıştır. Beton yüzeyindeki gerilmenin $0,8 f_{cd}$ değerine düştüğü zaman oluşan birim kısalma ϵ_{80u} hesaplanabilir.

$$\epsilon_{80u} = 0,2 / (\psi + 0,0022) \quad (3.8)$$

(3.8) bağıntısıyla belirli ϵ_{80u} değerleri, betona ilişkin kısmi güvenlik katsayısı 1,5 alınarak çeşitli beton sınıfları için hesaplanmış ve etkili birim kısalma, ϵ_{cu} , değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
$\epsilon_{cu} (10^3)$	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,4

Tablo 3.3. Model II'ye göre ϵ_{cu} değerleri [2]

3.2.1. k_1 ve k_2 parametrelerinin belirlenmesi

k_1 ve k_2

$$\epsilon_c < 0,0022$$

$$\sigma_c = f_{cd} \left| (2\epsilon_c / 0,0022) - (\epsilon_c / 0,0022)^2 \right|$$

$$0,0022 < \epsilon_c < \epsilon_{20u}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \left| 1 - \psi (\epsilon_c - 0,0022) \right|$$

$$\psi = \tan \theta / f_{cd} = 0,5 / (\epsilon_{50u} - 0,0022)$$

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0,29 f_{cd}) / (145 f_{cd} - 1000)$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_{co}} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \epsilon_{co} \int_{\epsilon_{co}}^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{f_{cd} \epsilon_{cu}}$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{co}} \epsilon_c g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \epsilon_{co} \int_{\epsilon_{co}}^{\epsilon_{cu}} \epsilon_c g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \left| \int_0^{\epsilon_{co}} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_{\epsilon_{co}}^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c \right|}$$

C20 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 13,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00736$$

$$\psi = 96,899$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{co} = 0,0022$$

$$\sigma_c = f_{cd} | 909,09 \epsilon_c - 20,6611,57 \epsilon_c^2 |$$

$$\epsilon_{co} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,004$$

$$\sigma_c = f_{cd} | 1,2132 - 96,899 \epsilon_c |$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{0,0022} f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2) d\epsilon_c + \int_{0,0022}^{0,004} f_{cd} (1,2132 - 96,899 \epsilon_c) d\epsilon_c}{f_{cd} \cdot 0,004}$$

$$k_1 = 0,778$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{0,0022} f_{cd} (909,09 \epsilon_c^2 - 206611,57 \epsilon_c^3) d\epsilon_c + \int_{0,0022}^{0,004} f_{cd} (1,2132 \epsilon_c - 96,899 \epsilon_c^2) d\epsilon_c}{0,004 \left| \int_0^{0,0022} f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2) d\epsilon_c + \int_{0,0022}^{0,004} f_{cd} (1,2132 - 96,899 \epsilon_c) d\epsilon_c \right|}$$

$$k_2 = 0,437$$

C30 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 20$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00463$$

$$\psi = 205,76$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{co} \quad \sigma_c = f_{cd} | (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2) |$$

$$\epsilon_{co} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \quad \sigma_c = f_{cd} | 1,4527 - 205,76 \epsilon_c |$$

$$k_1 = 0,734$$

$$k_2 = 0,409$$

C40 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 26,67$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00374$$

$$\psi = 323,8$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{co} \quad \sigma_c = f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_{co} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \quad \sigma_c = f_{cd} (1,712 - 323,8 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,722$$

$$k_2 = 0,415$$

C50 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 33,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,0033$$

$$\psi = 452,69$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{co} \quad \sigma_c = f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_{co} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \quad \sigma_c = f_{cd} (1,996 - 452,69 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,707$$

$$k_2 = 0,419$$

C60 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 40$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00304$$

$$\psi = 4594,06$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{co} \quad \sigma_c = f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_{co} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,0025 \quad \sigma_c = f_{cd} (2,307 - 594,06 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,696$$

$$k_2 = 0,402$$

C70 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 46,67$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00288$$

$$\psi = 749,57$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{c0} \quad \sigma_c = f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_{c0} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,0025 \quad \sigma_c = f_{cd} (2,649 - 749,57 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,693$$

$$k_2 = 0,399$$

C80 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 53,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00274$$

$$\psi = 921,53$$

$$\epsilon_c < \epsilon_{c0} \quad \sigma_c = f_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_{c0} < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,0024 \quad \sigma_c = f_{cd} (3,027 - 921,53 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,687$$

$$k_2 = 0,393$$

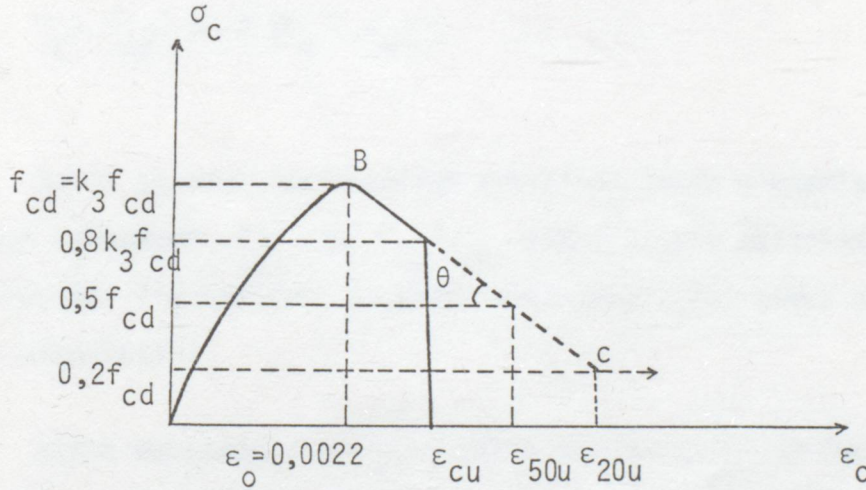
TABLO 3.4. Model II'ye göre k_1 ve k_2 değerleri

Beton Sınıfları

	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
k_1	0,778	0,734	0,722	0,707	0,696	0,693	0,687
k_2	0,437	0,409	0,415	0,419	0,402	0,399	0,393

3.3. Kaynak 2'de Önerilen Modelde $k_3 = 0.85$ Alınması Durumu

(MODEL III)

Şekil 3.3. Model III'e göre $\sigma - \epsilon$ ilişkisi

Bu modelde beton gerilme-birim deformasyon ($\sigma - \epsilon$) ilişkisinin, maksimum gerilmeye kadar bir parabol ve sonra alçalan bir doğruyla temsil edilmesi uygun yaklaşım kabul edilmektedir. Bu nedenle önerilen hesap ilişkisinde eğrinin yükselen AB bölümü ikinci-derece parabol, alçalan BC bölümü doğru kabul edilmiş ve eğri, ϵ_{cu} etkili birim deformasyonuyla sınırlandırılmıştır. (Şekil 3.3)

Deneysel araştırmalara göre, birim deformasyonların çok büyük olduğu evrede, beton, maksimum gerilmenin % 20'sine eşit bir gerilmeyi taşıyabilmektedir. Betondaki gerilmenin, maksimum gerilmenin % 20'sine düştüğü birim deformasyon Şekilde ϵ_{20u} ile gösterilmiştir.

Maksimum hesap gerilmesi f'_{cd} ile gösterilmiř, maksimum gerilmedeki birim deformasyon $\epsilon_0 = 0,0022$ kabul edilmiştir.

AB bölümü için ($\epsilon_c < \epsilon_0 = 0,0022$):

$$\sigma_c = f'_{cd} \left| \left(2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right| \quad (3.9)$$

BC bölümü için ($\epsilon_0 < \epsilon_c < \epsilon_{20u}$):

$$\sigma_c = f'_{cd} \left| 1 - \psi (\epsilon_c - \epsilon_0) \right| \quad (3.10)$$

Basit ya dabbileşik eğilme etkisinde kalan elemanlardaki maksimum hesap mukavemeti $f'_{cd} = k_3 f'_{ck} / \gamma_{mc}$ bağıntısıyla belirlidir. Yapıdaki beton mukavemeti ile standart silindir mukavemeti arasındaki oran $k_3 = 0,85$ kabul edilmiştir.

Beton mukavemeti arttıka eğrinin alçalan BC bölümünün eğimi artar. Bu eğim, betondaki gerilmenin maksimum mukavemetin yarısına düştüğü zaman oluşan ve deneysel bulgulara göre aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilen ϵ_{50u} deformasyonuyla belirlenebilir.

$$\epsilon_{50u} = (0,02067 + 0,002 f'_{cd}) / (f'_{cd} - 6,89) \quad (3.11)$$

$$= (3 + 0,29 f'_{cd}) / (145 f'_{cd} - 1000) \quad (3.12)$$

BC doğrusunun eğimi bir ψ parametresiyle tanımlanabilir.

$$\psi = \tan \theta / f'_{cd} = 0,5 / (\epsilon_{50u} - \epsilon_0) \quad (3.13)$$

Tablo 3.5. Model III için kabul edilen ϵ_{cu} değerleri

Beton sınıfı	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
$\epsilon_{cu} (10^3)$	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,4

3.3.1. k_1 ve k_2 parametrelerinin belirlenmesi

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_0} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \epsilon_0 \int_0^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{f'_{cd} \epsilon_{cu}}$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_0} \epsilon_c g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_0^{\epsilon_{cu}} \epsilon_c g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \left[\int_0^{\epsilon_0} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_0^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c \right]}$$

C20 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 13,33 \rightarrow f'_{cd} = k_3 f_{cd} = 11,33$$

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0,29 f'_{cd}) / (145 f'_{cd} - 1000) = 0,0098$$

$$\tan \theta = 0,5 f'_{cd} / 0,0076 \rightarrow \tan \theta = 745,39$$

$$\tan \theta = 0,2 f'_{cd} / (\epsilon_{cu} - 0,0022) \rightarrow \epsilon_{cu} = 0,004$$

$$\psi = 0,5 / (\epsilon_{50u} - 0,0022) \rightarrow \psi = 65,79$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,0022 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,004 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,145 - 65,79 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,790$$

$$k_2 = 0,431$$

C30 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 20 \rightarrow f'_{cd} = k_3 f_{cd} = 17$$

$$\epsilon_{50u} = 0,005413$$

$$\tan \theta = 2656,25 \rightarrow \epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 156,25$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,34375 - 156,25 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,739$$

$$k_2 = 0,414$$

C40 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 26,67 \rightarrow f'_{cd} = 22,67$$

$$\epsilon_{50u} = 0,0042$$

$$\tan \theta = 5666,67$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 250$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,55 - 250 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,729$$

$$k_2 = 0,405$$

C50 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 33,33 \rightarrow f'_{cd} = 28,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,0036$$

$$\tan \theta = 10117,86$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 357,14$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,786 - 357,14 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,718$$

$$k_2 = 0,412$$

C60 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 40 \rightarrow f'_{cd} = 34,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00327$$

$$\tan \theta = 15887,85$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0025$$

$$\psi = 467,29$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_o < \epsilon_{cu} \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (2,028 - 467,29 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,698 \quad k_2 = 0,381$$

C70 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 46,67 \rightarrow f'_{cd} = 39,667$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00305$$

$$\tan \theta = 23271,9$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0025$$

$$\psi = 588,2$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_o < \epsilon_{cu} = 0,00254 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (2,29 - 588,2 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,696 \quad k_2 = 0,402$$

Deton Sınıfı	C30	C40	C50	C60	C70	C80
k_1	0,698	0,698	0,698	0,698	0,696	0,696
k_2	0,381	0,405	0,417	0,381	0,402	0,395

C 80 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 53,33 \rightarrow f'_{cd} = 45,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00289$$

$$\tan \theta = 32511,9$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0024$$

$$\psi = 717,36$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (909,09 \epsilon_c - 206611,57 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,00248 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (2,578 - 717,36 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,688$$

$$k_2 = 0,395$$

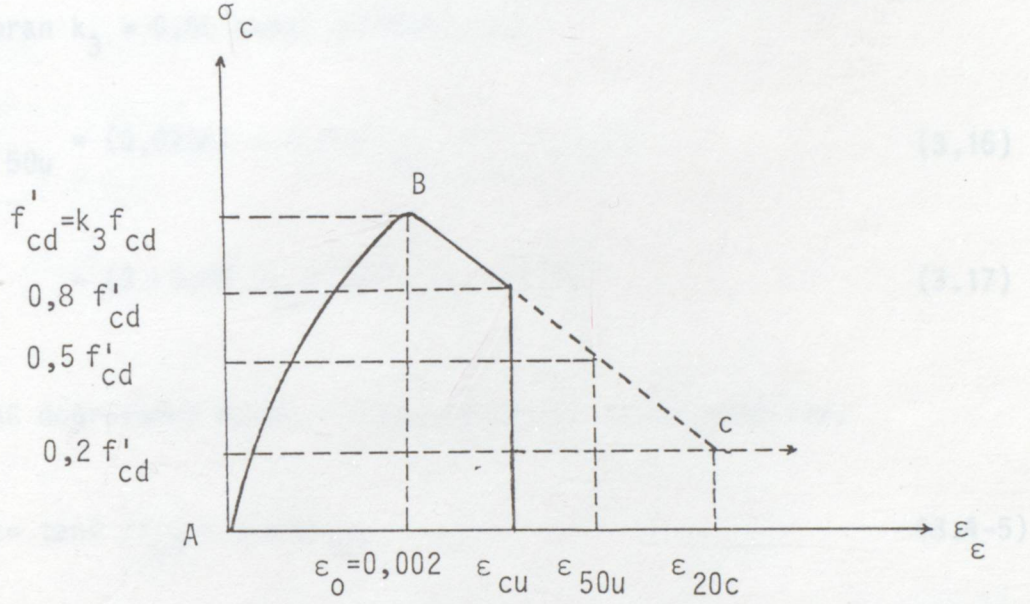
Bu bölümdeki gerilme-birim deformasyon modeline göre bulunan k_1 ve k_2 değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Model III'e ilişkin k_1 ve k_2 değerleri

Beton Sınıfı

	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
k_1	0,790	0,739	0,729	0,718	0,698	0,696	0,688
k_2	0,431	0,414	0,405	0,412	0,381	0,402	0,395

3.4. Kaynak 3 ve 4'te Önerilen Model (MODEL IV)



Şekil 3.4. Model IV'e göre $\sigma - \epsilon$ ilişkisi

Bu model 3.3 bölümünde açıklanan modelin benzeridir, tek fark maksimum gerilmedeki birim deformasyonun $\epsilon_0 = 0,002$ alınmasıdır.

$$\text{AB bölümü için } (\epsilon_c < \epsilon_0 = 0,002) \quad (3.14)$$

$$\sigma_c = f'_{cd} \left| (2\epsilon_c / \epsilon_0) - (\epsilon_c / \epsilon_0)^2 \right|$$

$$\text{BC bölümü için } (\epsilon_0 < \epsilon_c < \epsilon_{20c}) \quad (3.15)$$

$$\sigma_c = f'_{cd} \left| 1 - \psi(\epsilon_c - \epsilon_0) \right|$$

Maksimum hesap mukavemeti $f'_{cd} = k_3 f_{ck} / \gamma_{mc}$ bağıntısıyla belirlidir. Yapıdaki beton mukavemeti ile standart silindir mukavemeti arasındaki oran $k_3 = 0,85$ kabul edilmektedir.

$$\epsilon_{50u} = (0,02067 + 0,002 f'_{cd}) / (f'_{cd} - 6,89) \quad (3.16)$$

$$= (3 + 0,29 f'_{cd}) / (145 f'_{cd} - 1000) \quad (3.17)$$

BC doğrusunun eğimi ψ parametresiyle tanımlanabilir.

$$\psi = \tan \theta / f'_{cd} = 0,5 / (\epsilon_{50u} - \epsilon_0) \quad (3.4-5)$$

3.4.1. k_1 ve k_2 Parametrelerinin Belirlenmesi

$$k_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_0} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_0^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{f'_{cd} \epsilon_{cu}}$$

$$k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_0} \epsilon_c g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_0^{\epsilon_{cu}} \epsilon_c g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cu} \left[\int_0^{\epsilon_0} g_1(\epsilon_c) d\epsilon_c + \int_0^{\epsilon_{cu}} g_2(\epsilon_c) d\epsilon_c \right]}$$

C20 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 13,33 \rightarrow f'_{cd} = 11,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,0098$$

$$\tan \theta = 726,28$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 64,10$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000 \epsilon_c - 250000 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,1282 - 64,10 \epsilon_c)$$

$$k_1 = \frac{\int_0^{0,002} f'_{cd} (1000 \epsilon_c - 250000 \epsilon_c^2) d\epsilon_c + \int_{0,002}^{0,003} f'_{cd} (1,1282 - 64,1 \epsilon_c) d\epsilon_c}{f'_{cd} \cdot 0,00512}$$

$$k_1 = 0,767$$

$$k_2 = 0,409$$

C30 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 20 \rightarrow f'_{cd} = 17$$

$$\epsilon_{50u} = 0,005413$$

$$\tan \theta = 2500$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003 \quad \psi = 146,5$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,002 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000 \epsilon_c - 250000 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,293 - 146,5 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,753$$

$$k_2 = 0,414$$

C40 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 26,67 \rightarrow f'_{cd} = 22,67$$

$$\epsilon_{50u} = 0,0042$$

$$\tan \theta = 5152,3$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 227,27$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,002 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000 \epsilon_c - 250000 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,455 - 227,27 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,740$$

$$k_2 = 0,420$$

C50 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 33,33 \rightarrow f'_{cd} = 28,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,0036$$

$$\tan \theta = 8853,13$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0026 \quad \psi = 312,5$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,002 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000 \epsilon_c - 250000 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,625 - 312,5 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,726$$

$$k_2 = 0,426$$

C60 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 40 \rightarrow f'_{cd} = 34$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00327$$

$$\tan \theta = 13385,8$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 393,7$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,002 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000\epsilon_c - 250000\epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,787 - 393,7\epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,712$$

$$k_2 = 0,427$$

C70 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 46,67 \rightarrow f'_{cd} = 39,667$$

$$\epsilon_{50u} = 0,00305$$

$$\tan \theta = 18889,04$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 476,19$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,002 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000\epsilon_c - 250000\epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1,952 - 476,19\epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,698$$

$$k_2 = 0,429$$

C80 için k_1 ve k_2

$$f_{cd} = 53,33 \rightarrow f'_{cd} = 45,33$$

$$\epsilon_{50u} = 0,002897$$

$$\tan \theta = 25267,6$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\psi = 561,8$$

$$\epsilon_c < \epsilon_o = 0,002 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (1000 \epsilon_c - 250000 \epsilon_c^2)$$

$$\epsilon_o < \epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003 \rightarrow \sigma_c = f'_{cd} (2,124 - 561,8 \epsilon_c)$$

$$k_1 = 0,684$$

$$k_2 = 0,432$$

Bu bölümdeki modele göre hesaplanan k_1 ve k_2 değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.7. Model IV için k_1 ve k_2 değerleri

Beton Sınıfı

	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
k_1	0,767	0,753	0,740	0,726	0,712	0,698	0,684
k_2	0,409	0,414	0,420	0,426	0,427	0,427	0,432

3.5. TS 500 - 84'te verilen k_1 ve k_2 değerleri

Tablo 3.8. TS 500'e göre k_1 ve k_2 değerleri

Beton sınıfı	k_1	k_2
C20	0,85	0,425
C30	0,82	0,41
C40	0,76	0,38
C50	0,70	0,35

4. İRDELEMELER

4.1. Çeşitli Modellere Göre Belirlenen k_1 ve k_2 Değerlerinin Karşılaştırılması

Çeşitli gerilme-birim kısalma modellerine göre hesaplanan k_1 ve k_2 değerleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Çeşitli modellere göre hesaplanan k_1 değerleri

Beton Sınıfı	CEB MC 90 Model I	Model II	Model III	Model IV	TS 500 Model V
	k_1 değerleri				
C20	0,761	0,778	0,790	0,767	0,850
C30	0,725	0,734	0,739	0,753	0,820
C40	0,703	0,722	0,729	0,749	0,760
C50	0,673	0,707	0,718	0,726	0,700
C60	0,645	0,696	0,698	0,712	-
C70	0,607	0,693	0,696	0,698	-
C80	0,573	0,687	0,688	0,684	-

Tablo 4.2. Çeşitli modellere göre hesaplanan k_2 değerleri

Beton Sınıfı	CEB MC 90 Model I	Model II	Model III	Model IV	TS 500 Model V
	k_2 değerleri				
C20	0,467	0,437	0,431	0,409	0,425
C30	0,446	0,409	0,414	0,414	0,410
C40	0,425	0,415	0,405	0,420	0,380
C50	0,405	0,416	0,412	0,426	0,350
C60	0,387	0,402	0,381	0,427	—
C70	0,366	0,399	0,402	0,429	—
C80	0,333	0,393	0,395	0,432	—

Tablo (4.1 ve 4.2)'de görüldüğü üzere 1 inci modelde beton sınıfı arttıkça yaklaşık lineer bir şekilde k_1 ve k_2 değerleri azalır. İkinci ve üçüncü modeller arasındaki fark, ikinci modelde $k_3 = 1$ ve üçüncü modelde $k_3 = 0,85$ olduğundan dolayı az bir fark görünür. Dördüncü model ise maksimum gerilmedeki birim kısalma $\epsilon_0 = 0,002$ ve $k_3 = 0,85$ ayrıca son limitdeki birim kısalma sabit olduğundan dolayı beton sınıfı arttıkça k_2 değerleri diğer modellerin aksine artıyor.

Bu değerlerin eğrilik ve montaj etkinlikleri ilerideki bölümlerde açıklanacaktır. Burada basit bir misal ile konu ile tanışmak mümkündür.

C20 için CEB modelinde bulunan değerler

(4.2)

$$k_1 = 0,761, \quad k_2 = 0,467 \rightarrow k_2/k_1 \cdot k_3 = 0,721$$

C20 için TS 500'e göre

(4.3)

$$k_2/k_1 \cdot k_3 = 0,59 \text{ olmaktadır.}$$

$$M_d = b d^2 f_{cd} (1 - k_2/k_1 \cdot k_3) \cdot \omega$$

$$M_{d1}/M_{d2} = \frac{1 - 0,72 \omega}{1 - 0,59 \omega}$$

$$M_{d1} = \frac{1 - 0,72 \omega}{1 - 0,59 \omega} M_{d2}$$

Görüldüğü üzere TS 500'de güvenlik payı biraz artmaktadır. Bu konu daha açık bir şekilde ilerdeki bölümlerde açıklanmıştır.

4.2. Farklı Modellere İlişkin k_1 ve k_2 Değerlerine Göre Yalnızca Çekme Donatısı Bulunan Dikdörtgen Kesitlerde Çeşitli Donatı Yüzdeleri Karşılığını Belirlenen Son Limit Momentlerini ve Eğriliklerinin Karşılaştırılması

Basit eğilme etkisinde kalan dikdörtgen kesit için son limit tasarım momenti, M_u ve eğriliği, ϕ_u aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir. (6,7)

$$M_u = b d^2 f_{cd} \omega \left(1 - \frac{k_2}{k_1 k_3} \omega\right) \quad (4.1)$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{k_x d} \quad (4.2)$$

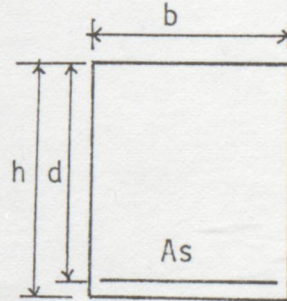
$$k_x = \frac{\rho f_{yd}}{k_1 k_3 f_{cd}} = \frac{\omega}{k_1 k_3} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki bağıntılardan da görüleceği gibi $k_2/k_1 k_3$ parametresinin son limit momenti ve $k_1 k_3$ parametresinin son limit eğriliği üzerinde etkisi vardır.

Bu parametrenin nasıl bir etki yaptığını, örneğin C20/S220 beton sınıfı için ρ veya ω 'ya çeşitli değer vererek inceleyelim.

ÖRNEK: Yalnızca çekme donatısı bulunan dikdörtgen kesitlerde ω 'nın çeşitli değerleri için M_u , ϕ_u değerlerinin incelenmesi

C20/S220



Çeşitli gerilme-birim kısalma modellerin son limit momenti ve eğriliklerin gösterim şekli aşağıdaki gibidir.

1- I'inci Model (CEB ce 90, $k_3 = 0,85$, $\epsilon_{co} = 0,0022$, $\epsilon_{cu} = 0,0043$): M_u^I , ϕ_u^I

2- II'inci Model ($k_3 = 1$, $\epsilon_{co} = 0,0022$, $\epsilon_{cu} = 0,004$): M_u^{II} , ϕ_u^{II}

3- III'üncü Model ($k_3 = 0,85$, $\epsilon_{co} = 0,0022$, $\epsilon_{cu} = 0,004$); M_u^{III} , ϕ_u^{III}

4- IV'üncü Model ($k_3 = 0,85$, $\epsilon_o = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,003$), M_u^{IV} , ϕ_u^{IV}

5- V'inci Model ($k_3 = 0,85$, $\epsilon_o = 0,002$, $\epsilon_{cu} = 0,003$); M_u^V , ϕ_u^V

(a) I'inci ve II'inci Modellerin Karşılaştırılması

C20/S220 $M_u^I / M_u^{II} = ?$, $\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{II}} = ?$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_{yk} = 0,0064$$

$$\rho_{\max} = 7 / f_{yk} = 0,032$$

$$\rho = 0,01 \text{ olsun}$$

$$\omega = 0,1438$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = \frac{bd^2 f_{cd} \omega \left(1 - \frac{k_2}{k_1 k_3} \omega\right)}{bd^2 f_{cd} \omega \left(1 - \frac{k_2}{k_1 k_3} \omega\right)}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = \frac{\left(1 - \frac{k_2}{k_1 k_3} \omega\right)}{\left(1 - \frac{k_2}{k_1 k_3} \omega\right)}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = \frac{\left(1 - \frac{0,467}{0,761 \cdot 0,85} \cdot 0,1438\right)}{\left(1 - \frac{0,437}{0,778 \cdot 1} \cdot 0,1438\right)}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = 0,975$$

Denge Denklemi:

$$k_1 k_3 f_{cd} b k_{xd} = \rho b d f_{yd}$$

$$k_x = \frac{\rho f_{yd}}{k_1 k_3 f_{cd}} = \frac{\omega}{k_1 k_3}$$

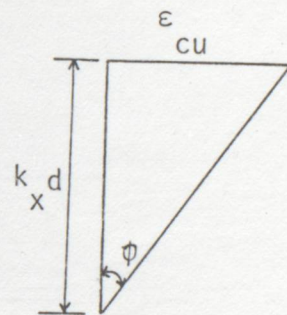
$$k_x^I = \frac{0,1438}{0,85 \cdot 0,761} = 0,22231$$

$$k_x^{II} = \frac{0,1438}{0,778 \cdot 1,0} = 0,184833$$

$$\phi_u^I = \frac{\epsilon_{cu}}{k_x^I d} = \frac{0,0043}{0,22231 \cdot d}$$

$$\phi_u^{II} = \frac{\epsilon_{cu}}{k_x^{II} d} = \frac{0,004}{0,184833 \cdot d}$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{II}} = 0,894$$



$$(11) \quad \frac{\rho = 0,02 \text{ olsun}}{\omega = 0,292}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = 0,944$$

$$k_x^I = 0,4514$$

$$k_x^{II} = 0,3753$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{II}} = 0,894$$

$$(111) \quad \frac{\rho = 0,03 \text{ olsun}}{\omega = 0,438}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = 0,907$$

$$k_x^I = 0,677$$

$$k_x^{II} = 0,563$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{II}} = 0,894$$

(b) I inci ve III üncü modellerin karşılaştırılması

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^I}{\phi_u^{II}}$$

$$(i) \frac{\rho = 0,01 \text{ için}}{\omega = 0,1438}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{II}} = 0,987$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{III}} = 1,04$$

$$(ii) \frac{\rho = 0,02 \text{ için}}{\omega = 0,292}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{III}} = 0,971$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{III}} = 1,04$$

$$(iii) \frac{\rho = 0,03 \text{ için}}{\omega = 0,438}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{III}} = 0,951$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{III}} = 1,04$$

(c) I'inci ve IV üncü Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^I}{M_u^{IV}} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^I}{\phi_u^{IV}}$$

$$(1) \quad \frac{\rho = 0,01 \text{ için}}{\omega = 0,1438}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{IV}} = 0,985$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{IV}} = 1,42$$

$$(11) \quad \frac{\rho = 0,02 \text{ için}}{\omega = 0,292}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{IV}} = 0,966$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{IV}} = 1,42$$

$$(111) \quad \frac{\rho = 0,03 \text{ için}}{\omega = 0,438}$$

$$\frac{M_u^I}{M_u^{IV}} = 0,943$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{IV}} = 1,42$$

(d) I'inci ve V'inci Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^I}{M_u^V} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^I}{\phi_u^V}$$

(1) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^I}{M_u^V} = 0,979$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^V} = 1,283$$

(11) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^I}{M_u^V} = 0,953$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^V} = 1,283$$

(111) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^I}{M_u^V} = 0,921$$

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^V} = 1,283$$

(e) II'inci ve III'üncü Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{III}} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{III}}$$

(i) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{III}} = 1,01$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{III}} = 1,16$$

(ii) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{III}} = 1,03$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{III}} = 1,16$$

(iii) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{III}} = 1,05$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{III}} = 1,16$$

(f) II'inci ve IV'üncü Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{IV}} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{IV}}$$

(i) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{IV}} = 1,01$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{IV}} = 1,59$$

(ii) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{IV}} = 1,02$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{IV}} = 1,59$$

(iii) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^{IV}} = 1,04$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{IV}} = 1,59$$

(g) II'inci ve V'inci Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^V} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^V}$$

(i) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^V} = 1,004$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^V} = 1,436$$

(ii) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^V} = 1,009$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^V} = 1,436$$

(iii) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^{II}}{M_u^V} = 1,016$$

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^V} = 1,436$$

(h) III'üncü ve IV'üncü Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^{IV}} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^{IV}}$$

(i) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^{IV}} = 0,998$$

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^{IV}} = 1,37$$

(ii) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^{IV}} = 0,995$$

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^{IV}} = 1,37$$

(iii) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^{IV}} = 0,991$$

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^{IV}} = 1,37$$

(k) III'üncü ve V'inci Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^V} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^V}$$

(i) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^V} = 0,991$$

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^V} = 1,24$$

(ii) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^V} = 0,981$$

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^V} = 1,24$$

(iii) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^{III}}{M_u^V} = 0,968$$

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^V} = 1,24$$

(1) IV'üncü ve V'inci Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{M_u^{IV}}{M_u^V} \quad \text{ve} \quad \frac{\phi_u^{IV}}{\phi_u^V}$$

(i) $\rho = 0,01$ için

$$\frac{M_u^{IV}}{M_u^V} = 0,994$$

$$\frac{\phi_u^{IV}}{\phi_u^V} = 0,902$$

(ii) $\rho = 0,02$ için

$$\frac{M_u^{IV}}{M_u^V} = 0,986$$

$$\frac{\phi_u^{IV}}{\phi_u^V} = 0,902$$

(iii) $\rho = 0,03$ için

$$\frac{M_u^{IV}}{M_u^V} = 0,977$$

$$\frac{\phi_u^{IV}}{\phi_u^V} = 0,902$$

Tablo 4.3. Çeşitli gerilme-birim kısalma modellerine göre bulunan k_1 ve k_2 değerlerini kullanılarak C20/S220 beton sınıfına göre değişik ρ değerleri karşılığı belirlenen momentlerinin, M_u ve eğriliklerinin ϕ_u , karşılaştırılmasına ilişkin tablo.

M_u^i/M_u^k	$\rho = 0,01$	$\rho = 0,02$	$\rho = 0,03$	ϕ_u^i/ϕ_u^k	$\rho = 0,01$	$\rho = 0,02$	$\rho = 0,03$	ϕ_u^i/ϕ_u^k	$\rho = 0,01$	$\rho = 0,02$	$\rho = 0,03$
M_u^I/M_u^{II}	0,975	0,944	0,907	ϕ_u^I/ϕ_u^{II}	0,894	0,894	0,894	ϕ_u^I/ϕ_u^{II}	0,894	0,894	0,894
M_u^I/M_u^{III}	0,987	0,971	0,951	ϕ_u^I/ϕ_u^{III}	1,04	1,04	1,04	ϕ_u^I/ϕ_u^{III}	1,04	1,04	1,04
M_u^I/M_u^{IV}	0,985	0,966	0,943	ϕ_u^I/ϕ_u^{IV}	1,42	1,42	1,42	ϕ_u^I/ϕ_u^{IV}	1,42	1,42	1,42
M_u^I/M_u^V	0,979	0,953	0,921	ϕ_u^I/ϕ_u^V	1,283	1,283	1,283	ϕ_u^I/ϕ_u^V	1,283	1,283	1,283
M_u^{II}/M_u^{III}	1,01	1,03	1,05	ϕ_u^{II}/ϕ_u^{III}	1,16	1,16	1,16	ϕ_u^{II}/ϕ_u^{III}	1,16	1,16	1,16
M_u^{II}/M_u^{IV}	1,01	1,02	1,04	ϕ_u^{II}/ϕ_u^{IV}	1,59	1,59	1,59	ϕ_u^{II}/ϕ_u^{IV}	1,59	1,59	1,59
M_u^{II}/M_u^V	1,004	1,009	1,016	ϕ_u^{II}/ϕ_u^V	1,436	1,436	1,436	ϕ_u^{II}/ϕ_u^V	1,436	1,436	1,436
M_u^{III}/M_u^{IV}	0,998	0,995	0,991	ϕ_u^{III}/ϕ_u^{IV}	1,37	1,37	1,37	ϕ_u^{III}/ϕ_u^{IV}	1,37	1,37	1,37
M_u^{III}/M_u^V	0,991	0,981	0,968	ϕ_u^{III}/ϕ_u^V	1,24	1,24	1,24	ϕ_u^{III}/ϕ_u^V	1,24	1,24	1,24
M_u^{IV}/M_u^V	0,994	0,986	0,977	ϕ_u^{IV}/ϕ_u^V	0,902	0,902	0,902	ϕ_u^{IV}/ϕ_u^V	0,902	0,902	0,902

Betonarme yapısal sistemlerin limit tasarımında, kabul edilen tasarım momentleri dağılımının oluşabilmesi ve sismik etkiler altında kalan yapıların öngörülen düktilite düzeyinde olabilmesi için, potansiyel plastik mafsallık bölgeleri, bu olguların gerçekleşmesini sağlayabilecek plastik dönme kapasitesine sahip olmalıdır. Kapasiteler, son limit eğriliklerinin fonksiyonudur. Bu nedenle, anılan eğriliklerin ve dolayısıyla plastik dönme kapasitelerinin olduğundan büyük tahmin edilmesi, limit tasarımın ve deprem tasarımının güvenilirliğini azaltır. Yapının göçme riskini artırır. Bir başka deyişle betonarme kirişlerin limit tasarımında, potansiyel plastik mafsalların dönme kapasiteleri, tasarım momentleri dağılımının gerçekleşmesini sağlayacak ölçüde olmalıdır. Bu bağlamda, plastik mafsallık kesimlerinde sağlanabilen plastik dönmenin tahmin edilebilmesi için bir yaklaşım yapılabılır. Gerekliyse, plastik dönme kapasitesi, basınç donatısı veya yaynal donatı miktarı ayarlanarak arttırılabilir. Aşağıdaki bağıntılarla şöyle gösterebiliriz:

Kesitin plastik dönme kapasitesi [6,7]

$$\theta_a = |\phi_u - \phi_y (M_u/M_y)| L_p \quad (6)$$

$$-\theta_i = \delta_{10} + \sum_{k=1}^n M_k \delta_{ik} \quad (7)$$

Özetle, herhangi bir i mafsallık için gerekenen plastik dönme θ_i ve bu mafsallıkın plastik dönme kapasitesi θ_a ise, şu durum gerçekleşmeli

$$\theta_a > \theta_i \quad (8)$$

Yukarıdaki açıklamalara göre, modellerin, karşılaştırılması, Tablo (4.3) yardımıyla şöyle yapılabilir. Son limit moment değerleri çok yakın olduğu ve ayrıca kesitin plastik dönme kapasitesinde fazla etkin olmadığı için ϕ_u son limit eğriliğini karşılaştıralım.

c) I. ve II. Modellerin Karşılaştırılması

a) I ve II. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{II}} = 0,894$$

$$\phi_u^I = 0,894 \phi_u^{II}$$

$$\phi_u^{II} > \phi_u^I$$

bağıntı (6) göz önüne alırsak

$$\theta_a^{II} > \theta_a^I \text{ olur.}$$

Şimdi şöyle bir durum karşımıza çıkabilir, Yani $\theta_a^{II} > \theta_i$ ama $\theta_a^I < \theta_i$ bu demek ki I'inci model daha ihtiyatlı bir yaklaşım elde ediyor. Burada açıklaması gereken bir husus model I'de $k_3 = 0,85$ alınmıştır ve model II'de $k_3 = 1$ alınmıştır.

b) I. ve III. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{III}} = 1,04$$

$$\phi_u^I > \phi_u^{III}$$

Burada yukarıda açıklandığı gibi, Model III daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır. Tabii her iki modelde $k_3 = 0,85$ olduğu için birbirine çok yakındırlar.

c) I. ve IV. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^{IV}} = 1,42$$

$$\phi_u^I > \phi_u^{IV}$$

$$\theta_a^I > \theta_a^{IV}$$

IV'üncü model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

d) I. ve V. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^I}{\phi_u^V} = 1,283$$

$$\phi_u^I > \phi_u^V$$

$$\theta_a^I > \theta_a^V$$

V'inci model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

e) II. ve III. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{III}} = 1,16$$

$$\phi_u^{II} > \phi_u^{III}$$

$$\theta_a^{II} > \theta_a^{III}$$

III'üncü model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

f) II. ve V. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{IV}} = 1,59$$

$$\phi_u^{II} > \phi_u^{IV}$$

$$\theta_a^{II} > \theta_a^{IV}$$

IV'üncü model ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

g) II. ve V. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^{II}}{\phi_u^{V}} = 1,436$$

$$\phi_u^{II} > \phi_u^{V} \quad \theta_a^{II} > \theta_a^{V}$$

V model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

h) III. ve IV. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^{IV}} = 1,37$$

$$\phi_u^{III} > \phi_u^{IV}$$

$$\theta_a^{III} > \theta_a^{IV}$$

IV. Model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

i) III. ve V. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^{III}}{\phi_u^V} = 1,24$$

$$\phi_u^{III} > \phi_u^V$$

$$\theta_a^{III} > \theta_a^V$$

V. Model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

j) IV. ve V. Modellerin Karşılaştırılması

$$\frac{\phi_u^{IV}}{\phi_u^V} = 0,902$$

$$\phi_u^{IV} < \phi_u^V$$

$$\theta_a^{IV} < \theta_a^V$$

IV. Model daha ihtiyatlı bir yaklaşımdır.

KAYNAKLAR

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

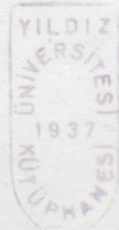
Bu çalışmada, beton basınç gerilme bloğu parametrelerinin (k_1, k_2) teorik olarak belirlenmesi, çeşitli gerilme-birim deformasyon davranış modelleri ve bu modellere göre (k_1, k_2) değerlerinin hesabı, bulunan değerlerin irdeleme ve karşılaştırılması, farklı modellere ilişkin k_1 ve k_2 değerlerine göre yalnızca çekme donatısı bulunan dikdörtgen kesitlerde çeşitli donatı yüzdeleri karşılığı belirlenen son limit momentlerinin ve eğriliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Gerilme-birim deformasyon davranış modellerinin hangisinin gerçeğe yakın olup olmadığı hakkında fikir vermek mümkün değildir, ama hangisinin ihtiyatlı olduğu hakkında fikir vermek bu çalışma sonucu mümkündür. Eğriliklerin ve dolayısıyla plastik dönme kapasitelerinin olduğundan büyük tahmin edilmesi, limit tasarımın ve deprem tasarımının güvenilirliğini azaltır, yapının göçme riskini arttırır.

Bölüm 4'de bulunan eğrilikler karşılaştırılarak en ihtiyatlı modelin hangisi olabileceği araştırılmıştır. Sonuç olarak, bir ihtiyat sıralaması Model 4,5,3,1,2 olarak yapılabilir. Bu modellerde gösterilen algoritmalarla, dikdörtgen kesitte sıfır yükten tasarım yüküne kadar herhangi bir aşamada beton basınç gerilme bloğu parametreleri, eğilme momenti ve eğrilik, güvenli ve duyarlı şekilde hesaplanabilir. Limit tasarımda, plastik mafsal kesimlerinin dönme kapasiteleri duyarlı tahmin edilebilir.

KAYNAKLAR

1. CEB, "CEB-FIP Model Code 1990" Final Draft, Chapters 1-3, Bulletin d'Information 203, Tausanne Jeely 1991, 154 pp.
2. GÜNDÜZ A., "Yüksek ve Normal Mukavemetli Betonların Davranışının Yanal Donatıyla Yetkinleştirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası 2.Ulusal Beton Kongresi, TMMOB Kongre Kitabı, İstanbul, 27-30 Mayıs 1991, ss.147-156.
3. GÜNDÜZ A., "Kuşatılmamış Betonla ilgili bir Gerilme-Birim Deformasyon Hesap ilişkisi" Yıldız Üniversitesi Dergisi, 1985/2, İstanbul, 1985, ss.29-36.
4. GÜNDÜZ A., "Kuşatılmamış Betonlu Dikdörtgen Kiriş Kesitlerinde Moment-Eğrilik ilişkilerinin Belirlenmesiyle ilgili bir Tasarım Algoritması" Yıldız Üniversitesi Dergisi 1986/1, İstanbul, 1986, ss.17-28.
5. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500-84), Ankara, 1985.
6. GÜNDÜZ A., Betonarme Elemanların Davranışı ve Limit Tasarım I, Ders Notları, 1986-1987.
7. GÜNDÜZ A., Limit Tasarım II, Ders Notları, 1986-1987.



ÖZGEÇMİŞ

Ehsan ALLAH RADJABİ, 1960 yılı Tahran Doğumlu olup, ilk ve Orta öğrenimini Tahran'da tamamlamıştır. 1986 yılında girdiği Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Yapı Bölümü Yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.

Halen özel bir kuruluştaki şantiye şefi olarak çalışmaktadır.

