

DİREKT ÇEKMEDE BETONUN GERİLME-BİRİM UZAMA KARAKTERİSTİK EĞRİSİNİN TANIMLANMASI

1. GİRİŞ

Betonarme disiplininde genellikle betonun çekme dayanımı dikkate alınmaz iken, son yıllarda katı "stiff" deney yükleme makinalarında kaydedilen gelişmeler (servo kontrollü yükleme sistemi) sonucunda, betonun çekme dayanımından sonraki "davranışı" dolayısı ile "tüm çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisi" elde edilebilmekte ve bu bilgilerin büzülme, aderans, kayma, çatlak geometrisi ve kontrolü gibi konuların analizinde dikkate alındığı gözlenmektedir.

Çekme gerilmesi-birim uzama eğrileri üzerine yerli mühendislik literatüründe oldukça sınırlı sayıda yayınlanmış çalışma mevcuttur. Bu çalışma söz konusu eksikliği bir ölçüde doldurmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Direkt çekmede betonun "gerilme-birim uzama karakteristik eğrisi" ile ilgili yaklaşımların belirli bir ayrıntı içinde incelenmesi ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması çalışmanın içeriğini oluşturmaktadır. Ayrıca, çalışmada konu edilen yaklaşımların daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak ayrıntılı bir sayısal örnek de sunulmuştur.

2. ÇEKME-BİRİM UZAMA KARAKTERİSTİK EĞRİSİ İÇİN ÖNERİLEN YAKLAŞIMLARIN İRDELENMESİ

2.1. GENEL

Servo kontrollü yükleme sistemi kullanılarak elde edilen tipik bir direkt çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisi Şekil 1'de görülmektedir. Eğri yakından incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir :

- Direkt çekme gerilmesi-birim uzama eğrisinin yükselen kısmı ($0 < \epsilon \leq \epsilon'_c$ bölümü) çekme dayanımının %70-80'ine kadar lineer bir davranış göstermektedir. Söz konusu gerilme düzeyi betonun uzun süreli

çekme dayanımına karşı gelmektedir. Eğrinin, bu değerden çekme dayanımına kadar olan bölgesinde ise lineer olmayan davranış sergilediği görülmektedir. Diğer bir deyişle, malzemenin birim uzama miktarındaki artış hızı, gerilme artış hızı ile orantılı değildir. Malzemenin kırılma noktasını tanımlayan f'_c çekme dayanımında mikro ölçekte izlenebilen ilk çatlak oluşumları sözkonusudur. Bu çatlaklar genellikle agrega ile çimento arasındaki geçiş bölgesinde oluşmaktadır. Maksimum çekme gerilmesi " $\sigma'_c = f'_c$ " ne karşı gelen birim uzama miktarı " ϵ'_c ", çekme gerilmesi-birim uzama eğrisinin şeklini belirleyen çok önemli bir büyüklüktür. Bu büyüklük betonun çekme dayanımına bağlı olup

$$\epsilon'_c = A f'_c \quad (\text{Hai, Qin, 1987}) \text{ veya}$$

$$\epsilon'_c = \left[1.01 \left(\frac{f'_c}{E} \right) + 8.4 \right] \times 10^{-6}$$

(Taşdemir, Lydon ve Barr, 1996)

ifadeleri ile belirlenebilir. Burada A bir katsayı, f'_c çekme dayanımı [MPa], E betonun elastik modülü [MPa] olarak alınmaktadır ve $25 \times 10^{-6} < f'_c / E < 200 \times 10^{-6}$ aralığında geçerlidir.

- Eğrinin alçalan kısmının genel analitik modunu tanımlayan parametre verilen yükleme hızı için "çekme dayanımı" düzeyidir. Başka bir deyişle, su/çimento oranı, iri agreganın türü (çakıl-kırma taş, hafif agrega), iri agrega ile çimento harcı arasında gelişen aderans ve iri agreganın kullanım konsantrasyonu eğrinin "alçalan" kısmını denetleyen faktörlerdir. Düşük çekme dayanımlarında eğrinin alçalan kısmı daha geniş bir alan tanımlar. Başka bir deyişle düşük çekme dayanımında beton daha büyük toplam birim uzama kapasite-



Prof. Dr. Müh. ERGİN ARIOĞLU (50)

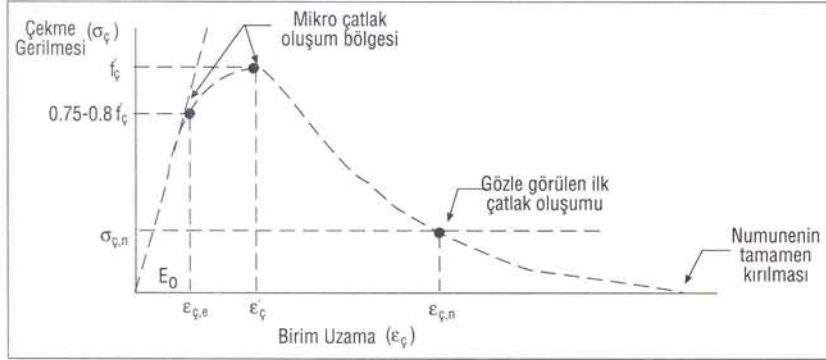
I.T.Ü. Maden Fakültesi'nden 1969 Haziran döneminde Maden Y.Müh. olarak mezun oldu. Aynı üniversitenin Maden Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak akademik çalışmalarını sürdüren Prof. ARIOĞLU'nun toplam 10 adet (3'ü yabancı dilde; İngilizce, İspanyolca, Farsça) telif kitabı, 200'ü aşkın bildiri ve makalesi çeşitli bilimsel ve teknik kongre kitaplarında ve dergilerinde yayınlanmıştır. Türkiye Prefabrik Birliği'nce 1994, 1996 yıllarında verilen "makale-araştırma ödülü" sahibidir. I.T.Ü. Dergisinin Yayın Kurulu Üyesidir.



Dr. Müh. Z. CANAN GİRGİN (29)

I.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Temmuz 1988'de mezun oldu. Aynı üniversiteden Ocak 1990'da Yük.Müh. ve Temmuz 1996'da doktor ünvanlarını aldı. Yapı Bölümünde Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN yönetiminde "Bazı Düzensizlikler İçeren Büyük Yapı Sistemlerinin Yatay Yüklere Göre Hesabı İçin Bir Yöntem" konulu doktora tezini vermiştir. Biri yurt dışında olmak üzere kongrelerde toplam 4 adet bildirisi mevcuttur. Kasım 1997'den beri Yapı Merkezi AR-GE Bölümü'nde çalışmaktadır.

tesine sahiptir. Gözle görülebilen ilk çatlakların ($\epsilon_{c,n}$, $\sigma_{c,n}$) noktasında



Şekil 1 : Betonun Çekme Gerilmesi-Birim Uzama Diyagramına Tipik Bir Örnek

oluşturduğu kabul edilmektedir ve nihai çekme gerilmesi " $\sigma_{c,n}$ "i tanımlayan nihai birim uzama büyüklüğü " $\varepsilon_{c,n}$ " ile " ε'_c " arasındaki oran, bir anlamda direkt çekmeye maruz betonun süneklik özelliğini belirler (Bortoletti 1994). Eğri daha sonra çok yavaş azalan gerilme hızı ile x eksenini keser. Numunenin tamamen kırıldığı bu noktada oluşan çatlak genişliği

$$W_k = A + Bf'_c$$

modunda bir regresyon bağıntısından kestirilebilmektedir (32.9 MPa < $f'_{b,28}$ < 76.8 MPa (küp dayanımı) aralığı için A = 0.2402, B = -0.0340, w_k (mm), f'_c (MPa), Phillips, Binsheng, 1993). Sınırlı açıklamalardan anlaşılabilceği gibi çekme dayanımı arttıkça ve su/çimento oranı azaldıkça betonun kırılma dayanımı belirgin bir şekilde artmaktadır (Phillips, Binsheng, 1993).

2.2. ÇEŞİTLİ ($\varepsilon_c - \sigma_c$) BAĞINTILARININ GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Güncel beton literatüründe yer alan direkt çekme-birim uzama karakteristik eğrilerinin analitik ifadeleri temel tanımları ile birlikte Çizelge-1,2,3'de açıklanmıştır. Dikkat çekicidir ki genelde eğrinin "yükselen kısmı" için önerilen analitik bağıntılar 2. derece parabolü olup, didantiktir. Eğrinin "alçalan kısmı"nı tanımlamak için kullanılan analitik model karmaşık-üstel bağıntılar olup basınç-birim kısalma eğrilerinde olduğu gibi (ARIOĞLU, KÖYLÜOĞLU, 1996) birbirinden oldukça farklılık gösterirler.

2.3. BORTOLETTİ-1994 ($\sigma_c - \varepsilon_c$) YAKLAŞIMININ DENEYSEL VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bortoletti-1994 ($\sigma_c - \varepsilon_c$) yaklaşımının özellikle "alçalan kısmı" çok basit bir ifade (Çizelge-3) ile tanımlanmış olması, anılan yaklaşımın pratik uygulama şansını büyük ölçüde artırmaktadır. Şekil 2'de Marzouk-Chen 1993 kaynağında rapor edilen deneysel çalışmaların (Şekil 3-s. 1158) Bortoletti-1994 yaklaşımı ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil yakından incelendiğinde şu sonuçlar ön plana çıkmaktadır :

- Bortoletti'nin ($\sigma_c - \varepsilon_c$) eğrisinin yüklenen kısmı için önerdiği ifade deneysel ($\sigma_c - \varepsilon_c$) değişimleri ile çok iyi bir uyum içindedir.
- Deneysel şekilde çıkartılan ($\sigma_c - \varepsilon_c$) eğrisinin alçalan kısmı Bortoletti'nin önerisi ile oldukça iyi sayılabilecek bir uyum göstermektedir (Özellikle alçalan kısımda etki eden parametreler ve yükleme sistemi ile numunenin rijitliğinden (katılık) kaynaklanan bir davranış karmaşıklığı olması beklenmelidir). Benzer farklılık, basınç-birim kısalma eğrisinin alçalan kısmında da gözlenmektedir (Almusallam, Alsayed, 1995).

3. SAYISAL ÖRNEK

- Basınç dayanımı $f'_b = 45$ MPa (küp dayanımı)
- İstenen : "Tüm çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisini belirleyiniz.

Çözüm :

- Yardımcı hesaplamalar (Çizelge 3)

$$K = \frac{f'_b}{f'_c} = 6.4 + 0.1223 f'_b$$

$$= 6.4 + 0.1223 \times 45 = 11.9$$

$$f'_{c,y} = \frac{f'_b}{K} = \frac{45}{11.9} = 3.78 \text{ MPa}$$

silindir ($\emptyset 150 \times 300$ mm) basınç dayanımı :

$$f'_{b,s} = f'_b - 5 = 45 - 5 = 40 \text{ MPa} \quad (f'_{b,s} > 20 \text{ MPa}), \text{ (Hughnes, 1992)}$$

Yarma çekme dayanımı :

$$f'_{c,y} = 0.256 f'_{b,s}{}^{0.724} = 0.256 (40)^{0.724}$$

$$= 3.69 \text{ MPa,}$$

$$(10 \text{ MPa} < f'_{b,s} < 125 \text{ MPa})$$

(ARIOĞLU, 1995)

Direkt çekme dayanımı :

$$f'_c \cong 0.95 f'_{c,y}$$

$$= 0.95 \times 3.69 \cong 3.50 \text{ MPa}$$

(Phillips, Binsheng, 1993)

İki farklı yaklaşımın ortalaması alınırsa

$$f'_c = \frac{3.78 + 3.5}{2} = 3.64 \text{ MPa}$$

$$E_0 = \frac{10^5 f'_b}{48 + 1.733 f'_b}$$

$$= \frac{10^5 \times 45}{48 + 1.733 \times 45} \cong 35719 \text{ MPa}$$

(Bortoletti, 1994)

$$E_0 = \frac{2 f'_{b,s}}{\varepsilon_0} = \frac{2 f'_{b,s}}{(0.7887 f'_{b,s}{}^{0.27756}) \times 10^{-3}}$$

$$= 36434 \text{ MPa}$$

(ε_0 = Basınç dayanımına karşı gelen birim kısalma)

Dikkat edilirse iki farklı yaklaşım

arasındaki rölatif sapma çok azdır (%2 mertebesindedir). Analizde

$E_0 = 35719$ MPa değeri kabul edilmiştir.

- Maksimum direkt çekme gerilmesine karşı gelen birim uzama miktarı

$$\varepsilon'_{0} = \frac{2 f_c}{E_0} = \frac{2 \times 3.64}{35719} = 2.038 \times 10^{-4}$$

- Nihai direkt çekme dayanımı (Bortoletti, 1994)

$$K = \frac{f_b}{f_c} = \frac{45}{3.64} = 12.36$$

$$\sigma_{c,n} = \frac{2 f_c}{K} = \frac{2 f_b}{K^2} = \frac{2 \times 45}{12.36^2} = 0.589 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,n}}{f_c} = \frac{0.589}{3.64} = 0.16$$

Nihai (Rezidüel) çekme gerilmesi = % 16 f_c

- (Çekme gerilmesi-birim uzama) karakteristik eğrisi
- Yükselen kısım (Çizelge 3)

$$\sigma_c = 3.64 \left[\frac{2 \varepsilon_c}{2.038 \times 10^{-4}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{2.038 \times 10^{-4}} \right)^2 \right] \text{ [MPa]} \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon'_c$$

- Alçalan kısım

$$\sigma_c = \frac{3.64 \times 2.038 \times 10^{-4}}{\varepsilon_c}, \text{ [MPa]}$$

$$\varepsilon'_c < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c,n}$$

Yukarıdaki analitik ifadeleri tanımlayan eğrilerin değişimleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada incelenen konulardan çıkartılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Betonun çekme gerilmesi - birim uzama karakteristik eğrisini ($\sigma_c - \varepsilon_c$) denetleyen temel faktörler şunlardır : çekme dayanımı, başlangıç elastik modülü, basınç dayanımı / çekme dayanımı oranı. Bu büyük-

Çizelge 1 : Direkt Çekmeye Maruz Betonun Gerilme-Birim Uzama Karakteristik Eğrisi (Hai-Qin, 1987)

- Çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisinin yükselen kısmı

$$y = \frac{\sigma_c}{f_c} = A_0 + A_1 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right) + A_2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right)^2 + A_6 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right)^6 \quad 0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon'_c$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c}$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} = 0, y = \frac{\sigma_c}{f_c} = 0 \text{ (1)}; \quad \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} = 0, \frac{dy}{dx} = \frac{E_0}{E_p} \text{ (2)};$$

$$x = 1, y = 1 \text{ (3)}; \quad x = 1, \frac{dy}{dx} = 0 \text{ (4)}$$

4 adet sınır şartından A_0, A_1, A_2, A_6 katsayıları elde edilebilir.

$$y = 1.2x - 0.2x^6 \quad 0 \leq x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \leq 1$$

- Çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisinin alçalan kısmı

$$y = \frac{x}{\alpha(x-1)^\beta + x}, \quad (\beta = 1.7) \quad x \geq 1.0$$

Seçilen $y = f(x)$ eşitliği 4 sınır şartını sağlar :

$$x = 1, y = 1 \text{ (1)}; \quad x = 1, \frac{dy}{dx} = 0 \text{ (2)}$$

$$x \rightarrow \infty, y = 0 \text{ (3)}; \quad x \rightarrow \infty, \frac{dy}{dx} \rightarrow 0 \text{ (4)}$$

- Yardımcı hesaplamalar

$$\frac{E_0}{E_p} = 1.04 - 1.61$$

$$E_p$$

$$\frac{E_0}{E_p} = 1.202 \text{ ortalama değer olarak}$$

$$E_p$$

$$E_p = \frac{f_c}{\varepsilon'_c}$$

$$\varepsilon'_c = 44 f_c 10^{-6}, \quad f_c \text{ [MPa]}$$

$$1.0 \text{ MPa} < f_c < 3.0 \text{ MPa}$$

$$20 \text{ MPa} < f_b < 41 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 0.312 f_c^2, \quad f_c \text{ [MPa]}$$

$$1.0 \text{ MPa} < f_c < 3.0 \text{ MPa}$$

σ_c = Direkt çekme gerilmesi

f_c = Direkt çekme dayanımı, MPa

f_b = Basınç dayanımı (küp numune), MPa

ε_c = Birim uzama

ε'_c = Maksimum direkt çekme gerilmesine karşı gelen birim uzama ($\sigma_c = f_c$)

E_0 = Betonun başlangıç teğet modülü (bu büyüklük basınç ve çekmede eşit kabul edilmiştir)

E_p = Betonun sekant elastik modülü

α, β = Çekme gerilmesi - birim uzama eğrisinin alçalan kısmını tanımlayan katsayılar.

Çekme gerilmesi - birim uzama eğrisi için $\beta = 1.7$

Basınç gerilmesi-birim kısılma eğrisi için $\beta = 2.0$ alınır.

Çizelge 2 : Yüksek Dayanımlı Betonun Direkt Çekme-Birim Uzama Karakteristik Eğrisi (Marzouk, Chen, 1993)

- Eğrinin yükselen kısmı

$$y = 2x - x^2 \quad x \leq 1.0$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c}, \quad y = \frac{\sigma_c}{f'_c}$$

- Eğrinin alçalan kısmı

$$y = \frac{x}{2.84(x-1)^{1.6655} + x} \quad x \geq 1.0$$

Bu eşitlik

$$x = 1, y = 1; \quad x = 1, dy/dx = 0; \\ x \rightarrow \infty, y \rightarrow 0$$

$$x \rightarrow \infty, dy/dx \rightarrow 0 \quad (4)$$

sınır koşullarını sağlar

lükler ise hassas bir şekilde su / çimento, iri agrega türüne, iri agreganın ortalama dane çapına, iri agrega kullanım konsantrasyonuna, karışımda kullanılan mineral katkı cinsine (uçucu kil, silika-füme) bağlıdır.

- $(\sigma_c - \epsilon_c)$ eğrisinin "alçalan kısmı" için önerilen analitik bağıntılar arasında en basiti ve malzemenin kırılma eğilimini de dikkate alan (Bortoletti 1994) modelidir (Çizelge 3). Anılan yaklaşımın bazı deneysel $(\sigma_c - \epsilon_c)$ verileri ile yapılan karşılaştırmasında oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir, (Şekil 2).
- Sadece basınç dayanımının bilinmesi durumunda (çok pahalı çekme gerilmesi-birim uzama deneyimi yapmadan) çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisi kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla elde edilmiştir (Bölüm 3).

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmanın yapılması ve yayınlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Dr. Yük. Müh. Sn. Ersin ARIOĞLU'na te-

Çizelge 3 : Direkt Çekmeye Maruz Betonun Gerilme-Birim Uzama Karakteristik Eğrisi (Bortoletti, 1994, 1991)

- Çekme gerilmesi-birim uzama karakteristik eğrisinin "yükselen" kısmı

$$\sigma_c = f'_c \left[2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} \right)^2 \right] \quad 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon'_c$$

$$\epsilon'_c = \frac{2 f'_c}{E_0}$$

- Eğrinin "alçalan" kısmı

$$\sigma_c = \frac{f'_c \epsilon'_c}{\epsilon_c}, \quad \epsilon_c = \epsilon_{c,n} \rightarrow \sigma_c = \frac{2 f'_c}{K} \quad (\text{Kabul}) \quad \epsilon'_c \leq \epsilon_c \leq \epsilon'_{c,n}$$

- Yardımcı hesaplamalar

Betonun başlangıç teğet modülü :

$$E_0 = \frac{10^7 f'_c}{750 + 81.55 f'_c}, \quad [\text{MPa}]$$

Basınç dayanımı (küp numune) / Çekme dayanımı oranı :

$$K = f'_b / f'_c = 6.4 + 1.1223 f'_b \quad (\text{Bortoletti, 1990})$$

$$K = \frac{f'_b}{f'_c} = \frac{2}{1 - \sin \emptyset}$$

Başlangıç teğet modülü-basınç dayanımı (Küp numune cinsinden) :

$$E_0 = \frac{10^5 f'_b}{48 + 1.733 f'_b}, \quad [\text{MPa}]$$

- f'_c = Direkt çekme dayanımı, MPa
- f'_b = Basınç dayanımı (küp numune), MPa
- ϵ'_c = Maksimum direkt çekme gerilmesinde birim uzama miktarı
- $\epsilon_{c,n}$ = Nihai birim uzama (gözle görülebilen çekme çatlağının oluştuğu birim uzama)
- $\sigma_{c,n}$ = Nihai (kalıcı) çekme dayanımı ($\epsilon_c = \epsilon_{c,n}$ de)
- K = Basınç dayanımı (küp) / çekme dayanımı
- \emptyset = Betonun içsel sürtünme açısı

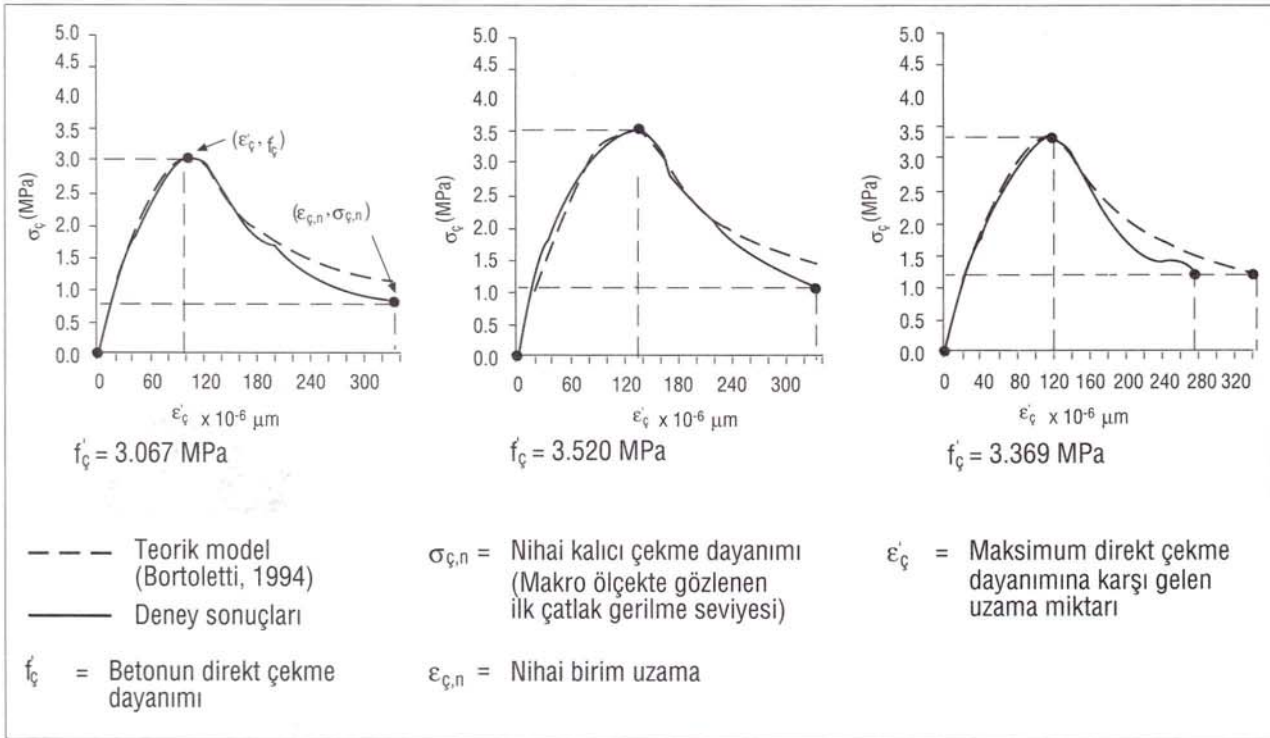
şekkür ederler. Çalışmada ileri sürülen sonuçlar sadece yazarlara aittir.

KAYNAKÇA

1. ALMUSALLAM, T.H., ALSAYED, S.H. : "Stress-Strain Relationship of Normal, High Strength and Lightweight Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol. 47, No. 176, 1995, pp 39-44.

2. ARIOĞLU, Ergin, KÖYLÜOĞLU, Özgür : "Yüksek ve Çok Yüksek Dayanımlı Betonlarda Gerilme-Birim Kısalma Karakteristikleri", Beton Prefabrikasyon, Sayı 39, 1996, s. 10-13.

te", Magazine of Concrete Research, Vol. 47, No. 176, 1995, pp 39-44.



Şekil 2 : Bazı Deneysel Sonuçların Bortoletti (σ_c, ϵ_c) Yaklaşımı ile karşılaştırması

3. ARIOĞLU, Ergin : "Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki", V. Yerlici-U. Ersoy Makalesine Tartışma Yazısı, İMO Teknik Dergisi, İnş.Müh. Odası 1996, s. 1153-1157

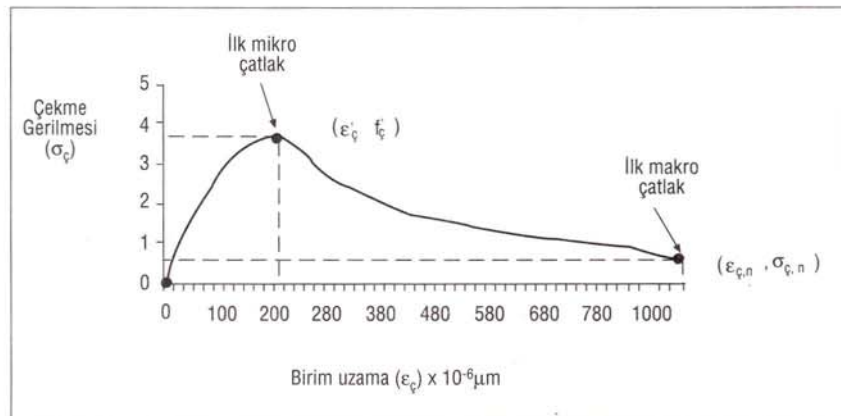
4. ARIOĞLU, Ergin : "Tek Eksenli Basınç Altında Maksimum Gerilmadaki Beton Birim Kısalma Büyüklüğünün İstatistiksel Yaklaşımla Belirlenmesi" Prof. T. Sabis Sempozyumu, İ.T.Ü. İnş.Fak-Yapı Merkezi 1995, s. 49-59.

5. BORTOLETTI, L. : "Interdependence of Concrete Strength Parameters", ACI Materials Journal, Vol. 87 No. 1, January-February 1990, pp 25-26.

6. BORTOLETTI, L. : "Influence of Concrete Tensile Ductility on Compressive Strength of Confined Columns", ASCE-Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 6, No. 4, November 1994, pp 542-563.

7. BORTOLETTI, L. : "First Cracking Load of Concrete Subjected to Direct Tension", ACI Materials Journal, January-February 1991, pp 70-73.

8. HAI, G.Z., QIN, Z.X. : Investigation of Stress-deformation Curves for Concrete in Tension", ACI Materials Journal, July-August 1987, pp 278-285.



Şekil 3 : Bortoletti Modeline Göre Direkt Çekme-Birim Uzama Eğrisi (Küp $f'_b = 45$ MPa, $f'_c = 3.64$ MPa)

9. HUGHNES, B.P-VIDELA, C. : "Design Criteria for Early-Age Bond Strength in Reinforced Concrete" Materials and Structures, RILEM, Vol. 25, No. 152, 1992, pp 445-463.

10. MARZOUK, H., CHEN, Z. : "Tension Softening Behavior of High-Strength Concrete Made with Silica-Fume and Fly-Ash, High-Strength Concrete" High-Strength Concrete Proceedings-Vol.2, 1993, pp 1154.

11. PHILIPS, D.V., BINSHEG, Z. : "Direct Tension Tests On Notched and Unnotched Plain Concrete Specimens", Magazine of Concrete Research, Vol. 45, No. 162, 1993, pp 25-35.

12. TAŞDEMİR, M.A., LYDON, F.D., BARR, L.G. : "The Tensile Strain Capacity of Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol. 48, 1996, pp 211-218.