

DIŞMERKEZLİK DEĞİŞİMİ ALTINDA BETON BOYUT ETKİSİ

Varol KOÇ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139/Kurupelit/Samsun

Geliş Tarihi : 26.06.2006

ÖZET

Bu çalışmanın amacı beton malzeme göçmesinde dağılı çatlakların doğurduğu boyut etkisinin gösterilmesi ve uygulanan yükleme durumu ve eleman geometrisine bağlı olarak, normal betonda boyut etkisi parametrelerinin belirlenmesi, logaritmik eksen takımlı boyut etkisi eğrisinin çizilerek malzeme davranışının lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) ile dayanım kriteri sınırları arasındaki yerinin bulunmasıdır. Bu amaçla normal dayanımlı betondan hazırlanan iki ayrı seri çift konsol elemanlara, konsol eksenlerine paralel basınç yüklemesi uygulanmıştır. Yüklemeler iki farklı dışmerkezlikte uygulanarak birbirleriyle karşılaştırılmış, dışmerkezliğin malzeme gevrekliğine etkisi incelenmiştir. Her bir seri ve dışmerkezliğe ait sonuçlar boyut etkisi eğrileri şeklinde düzenlenmiş ve boyut etkisi parametreleri elde edilmiştir. Sonuç olarak dışmerkezliğin küçülmesinin, elemanı basınç/kesme göçmesi moduna yaklaştırdığı ve davranışın, belirgin olarak LEKM'ne yönelerek, gevrekleştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Kırılma mekaniği, Boyut etkisi, Çift konsol elemanı, Basınç/kesme göçmesi

CONCRETE SIZE EFFECT UNDER THE CHANGED ECCENTRICITY

ABSTRACT

The aim of this study is to demonstrate the size effect which is resulted from the distributed cracks causing the collapse of concrete material. For this purpose, it is determined the size effect parameters for normal strength concrete depending on applied load state and element geometry and bilogarithmic plots of size effect relating to material behavior, which are assigned by the border between the linear elastic fracture mechanic (LEFM) and strength criteria. For this purpose two series normal strength concrete double cantilever beams are applied the compressive loads parallel to the cantilever axes. The loads are applied at two different eccentricity and compared with each other. In addition, the eccentricity of material brittle effect is investigated. The results for each series and eccentricities are prepared as the size effect curves and the size effect parameters are found. It is seen that, the elements approach the compression/shear failure mode while the eccentricities are small, and the behavior of elements become brittle.

Key Words : Fracture mechanic, Size effect, Double cantilever beams, Compression/shear failure

1. GİRİŞ

Beton çok karmaşık bir iç yapıya sahiptir. Betonun bileşenleri olan çimento, agrega, suyun tek başına homojen oldukları bile düşünülse, birlikte, homojen olmayan betonu oluştururlar. Yüksüz durumda, beton eleman içinde çok sayıda küçük çatlak vardır.

Yük uygulandığında, gerilme yığılması sonucu küçük çatlaklar gelişir, yayılır ve eleman göçmesine neden olan büyük çatlaklara dönüşür. Böyle bir davranışı matematik modelleme, kırılma mekaniği prensipleri ile gerçekleştirilmelidir. Kırılma mekaniğine dayanan matematik model, kırılma enerjisi denem enerji ile karakteristik uzunluk denem eşdeğer uzunluk içermelidir. Farklı boyutlu

geometrik olarak benzer elemanlar karşılaştırıldığında bu matematik model ile boyut etkisi bulunabilir (Bazant, 1984). Boyut etkisi, kırılmada nominal gerilme σ_N ' in, yapının karakteristik boyutu D'nin arttıkça azalması olarak görülür. Beton yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) ile (baraj gövdesi gibi büyük elemanlar), boyut etkisinin olmadığı (ihmal edildiği) plastik limit analiz (dayanım kriteri, elastik teori, taşıma gücü) arasındadır. Yapılan deneyler, göçmede çatlama gerilmesinin eleman boyutu artarken azaldığını, boyut etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Yarı gevrek malzeme göçmelerinde, dağılı çatlakların doğurduğu boyut etkisi açık olarak görülmekte ve Bazant'ın yaklaşık boyut etkisi yasası ile uyumlu olmaktadır. Bu uyumluluk, aynı karışımdan üretilen geometrik olarak benzer dökme numunelerinin zımbalama göçmesinde (Bazant and Cao, 1987), boyuna donatılı ve donatısız kirişlerin burulma göçmesinde (Bazant et al., 1988), betona yerleştirilen donatıların çekip çıkarma (pull-out) aderans göçmesinde (Bazant and Şener, 1988), boyut değişim aralığı 1:10 olan Brezilya yarma deney sonuçlarında (Bazant et al., 1991), deneysel ve analitik olarak yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir. Ayrıca lifli (Koç ve Şener, 2003a), hafif ve normal beton (Koç ve Şener, 2003b; 2004) malzemelerinden üretilmiş basınç yüklü çift konsollarda boyut etkisi de incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2. 1. Teorik Esaslar:

Araştırmalar sonucu iki ve üç boyutlu geometrik olarak benzer, beton gibi heterojen malzemedan yapılmış yapıların gevrek göçmeleri için Bazant tarafından çıkarılan boyut etkisinin yaklaşık ifadesi şu şekilde verilebilir (Bazant, 1984):

$$\sigma_N = \frac{Bf_t}{\sqrt{1-\beta}}, \quad \beta = \frac{D}{D_0} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; σ_N : Göçmedeki nominal gerilme (MPa), B: Yapı biçimine bağlı ampirik bir katsayı, f_t : Betonun çekme dayanımı (MPa), β : Gevreklik katsayısı, D: Yapının karakteristik boyutu (mm), D_0 : Gevrek ve gevrek olmayan davranış arasında geçiş gösteren ampirik katsayı (mm) olarak verilmiştir.

Burada β gevreklik katsayısı (Bazant, 1987), Gustafsson ve Hillerborg (Gustafsson and Hillerborg, 1988) ile Carpinteri (Carpinteri, 1989)' nin gevreklik sayısı tanımlarından farklıdır. D_0

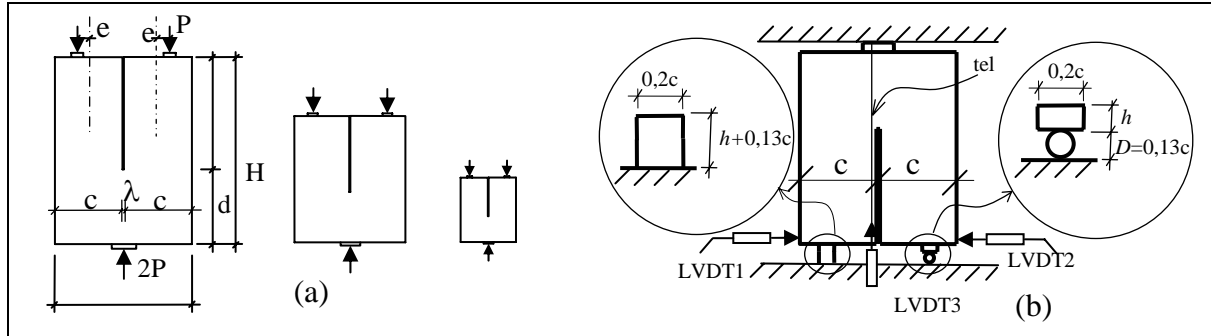
parametresi, boyut etkisi eğrisinde, geometrik olarak yatay asimtot (dayanım teorisine karşı gelen) ile eğimli asimtotun (LEKM'ne karşı gelen) kesim noktasından sapmayı verir. D_0 parametresi, ve elde edilen gevreklik oranı, uygulanan deneyle (eleman şekli, boyutu ve yükleme durumu) yakından ilişkilidir. Geometrik olarak benzer numunelerde B ve D_0 sabittir. Eğer Log σ_N in log D'ye göre grafik gösterimi yapılırsa (boyut etkisi eğrisi), herhangi bir göçme kriterine (emniyet gerilmeleri yöntemi, taşıma gücü) göre hesap dayanımı, yatay bir çizgi olarak verilir. Taşıma gücü ve emniyet gerilmeleri arasındaki tek fark, yatay çizginin düzeyindedir. LEKM için, göçme eğrisi tümüyle farklıdır. Bütün LEKM çözümlerinde σ_N değeri, $D^{1/2}$ değeri ile ters orantılıdır. LEKM'nin logaritmik gerilme- boyut eksenlerinde gösterimi, eğimi -1/2 olan bir doğrudur. Boyut etkisi yasası yaklaşıktır. Bununla birlikte beton deneyleri için çoğu zaman uygulamada yeterli olan boyut değişim aralığının 1:20 değerleri arasında, geçerlidir. Boyutların çok daha büyük değişkenlik gösterdiği durumlarda yapı biçimine bağlı ek parametrelerin bulunmasını gerektiren çok karmaşık formüller düşünülebilir (Bazant and Pfeiffer, 1987).

Boyut etkisi denklemi (1), şu basitleştirilmiş varsayımlardan yararlanılarak çıkarılmıştır: 1) Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji, çatlak uzunluğuna bağlıdır. 2) Açığa çıkan enerji, aynı zamanda en büyük agrega boyutunun birkaç katı olan çatlak genişliğine de bağlıdır. 3) Farklı boyutlu, geometrik olarak benzer yapılarda oluşan kırılma yüzeyleri de geometrik olarak benzerdir. 4) Yapı göçmesi ilk çatlak ile değil, çatlama bölgenin yayılması ile olur. Eğer yapı çok küçük ise (1) denkleminde β değeri, l'in yanında çok küçük olduğundan göz önüne alınmayabilir. Bu durumda σ_N göçme gerilmesi, f_t dayanımı ile orantılıdır ve gerilme hesabında, plastik kuram veya emniyet gerilmeleri yöntemi yeterlidir. Eğer yapı çok büyük olursa, 1 değeri β 'nin yanında göz önüne alınmaz. σ_N göçme gerilmesi, $D^{1/2}$ değeri ile ters orantılıdır. Geçmişte çoğu göçme ölçütü (eğilme, kesme, çekme), dayanım ölçütüne göre (β ihmal edilerek) yapılırken, günümüzde, boyut etkisini içeren bağıntıları verecek araştırmalar devam etmektedir. (1) denklemi, yalnız aynı betondan yapılmış ve aynı en büyük agrega boyutunu içeren yapılara uygulanabilir. Agrega boyutunun küçük farklılıklar göstermesi durumunda bu yasa yaklaşık olarak uygulanır iken, büyük farklılıklar göstermesi durumunda (1) denkleminde düzeltme terimi kullanılmalıdır (Bazant and Şener, 1985).

2. 2. Çift Konsol Elemanları

Çift konsollar beton eleman ortasında açılan derin çentiklerle elde edilmiştir. Çentikler, kalıplara, beton dökümü sırasında konan ve ön prizden sonra sökülen yağlanmış plastik parçalarla yapılmıştır. Kırılma mekaniğinde çift konsollar kırılma parametrelerini bulma amacıyla klasik olarak açılma modunda (Mod I) incelenirken, burada basınç yüklemesinde incelenmiştir. Normal dayanımlı betondan hazırlanan numuneler iki farklı takımda dökülmüştür. Numune kalınlıkları (t), A takımında 30 mm, B takımında 40 mm olarak alınmıştır. Her takım, c konsol genişliği olmak üzere, konsol ekseninden konsol dış yüzüne doğru, $e = c/10$ ve $e=c/5$ dışmerkezlikleriyle ayrı ayrı yüklenmiştir. Numuneler, P başlangıç harfi ile simgelenmiştir. $e=c/10$ dışmerkezliğiyle yüklenen numuneler, takım harfinden sonra, 0 rakamıyla kullanılarak gösterilmiştir. Geometrik olarak benzer elemanlarda, numune boyutu bir numuneden diğerine 2 çarpanı ile büyütülerek değiştirilmiştir. Böylece en büyükten en küçüğe numune boyutları oranı, 4 : 2 : 1 şeklinde alınmıştır. Bu sayede, iki takım arasında ve takımlar içinde basınç göçmesinde boyut etkisi incelenebilmiştir. Şekil 1a. ve Tablo 1’de, numune

boyutları gösterilmiştir. Normal beton karışım oranları çimento/çakıl/kum/su = 1/2/2/0.55 olarak alınmış, Portland Kompoze Çimentosu (PKÇ/B 32.5R) kullanılmıştır. Karışımlarda en büyük agrega çapı 9.5 mm, en büyük kum çapı 4.8 mm’dir. Betonun basınç dayanımlarını elde etmek ve burada da boyut etkisini görmek için her bir karışımdan 3 er adet 150x300 mm, 75x150 mm ve 37.5 x 75 mm boyutlarında kontrol silindirleri dökülmüştür. Silindir basınç deneylerinden, karakteristik dayanım 33 MPa, standart sapma 2.88 MPa, bulunmuştur. Bütün numuneler, olasılıksal dağılım etkilerini en aza indirmek için aynı bir karışımdan dökülmüş ve kür havuzunda 28 gün bekletilmişlerdir. Deney düzeneği Şekil 1.b.’ de gösterilmiştir. Bütün çift konsollar, 1200 kN kapasiteli, uzama katılığı 560 kN/mm olan yükleme çerçevesinde yüklenmiştir. Yükleme yük kontrollü yapılmış olup, göçme yüklerine bütün konsollarda 3 dakikada erişilecek biçimde küçük numunelerde piston uzama hızı yavaş, büyük numunelerde hızlı seçilmiştir. Yükler 225 kN kapasiteli load cell ile ölçülmüştür. Yük okumaları yanında konsol uçlarında yatay yerdeğiştirme (LVDT1 ve LVDT2) okumaları ile, düşey yerdeğiştirme (LVDT3) okumaları data logger ile bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 1. a) Çift konsol elemanları b) Deney düzeneği

Tablo 1. Çift konsol Boyutları.

Numune		H (mm)	L (mm)	d (mm)	a_0 (mm)	c (mm)	t (mm)	λ (mm)	$e = c/5$ (mm)	$e = c/10$ (mm)
A Serisi	A1, A2, A3	300	260	120	180	127.5	30	5	25.5	12.8
	A4, A5, A6	150	130	60	90	62.5	30	5	12.5	6.3
	A7, A8, A9	75	65	30	45	30	30	5	6	3
B Serisi	B1, B2, B3	400	340	160	240	167.5	40	5	33.5	16.8
	B4, B5, B6	200	170	80	120	82.5	40	5	16.5	8.3
	B7, B8, B9	100	85	40	60	40	40	5	8	4

2. 3. Deney Sonuçlarının Analizi:

Deney elemanlarının ölçülen göçme yükleri Tablo 2’de, yük–yatay yer değiştirme eğrileri

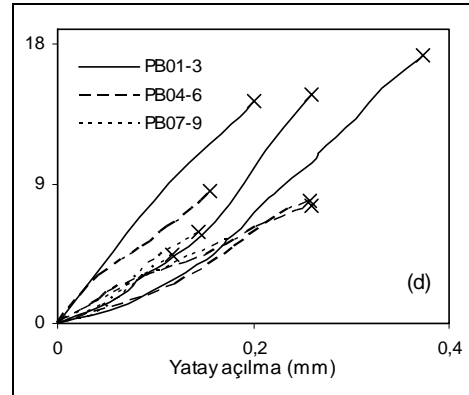
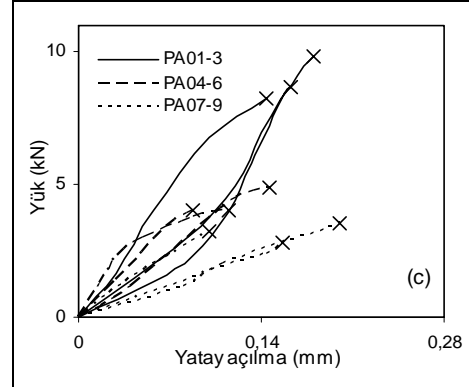
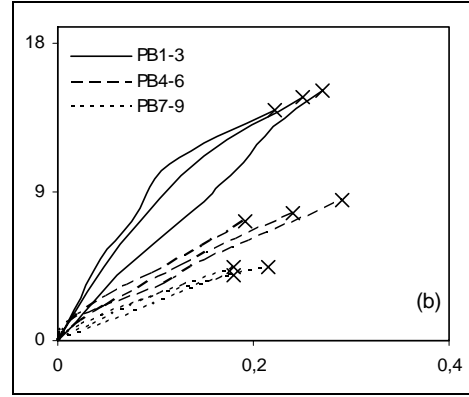
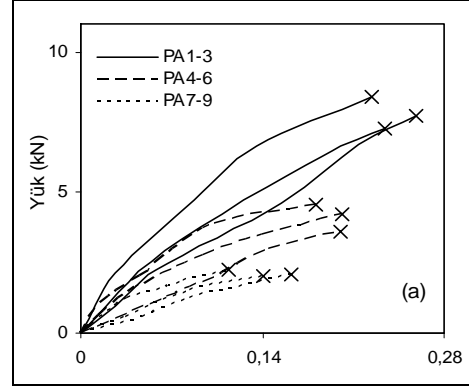
Şekil 2’de, yük– düşey yer değiştirme eğrileri Şekil 3’de verilmiştir. Her numunenin yük–yatay yer değiştirme eğrileri altında kalan alanlardan bulunan enerji yutma kapasiteleri ile bu değerlerin standart

sapma ve varyasyon katsayıları da Tablo 2’de verilmiştir.

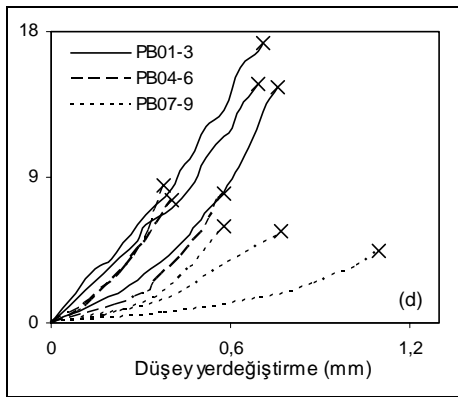
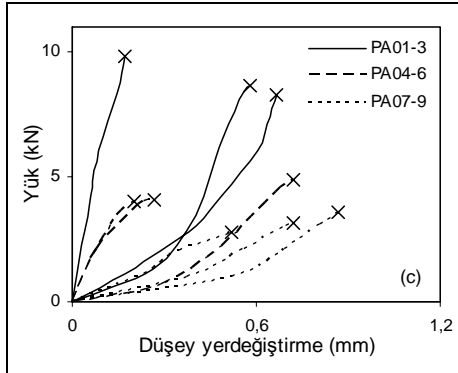
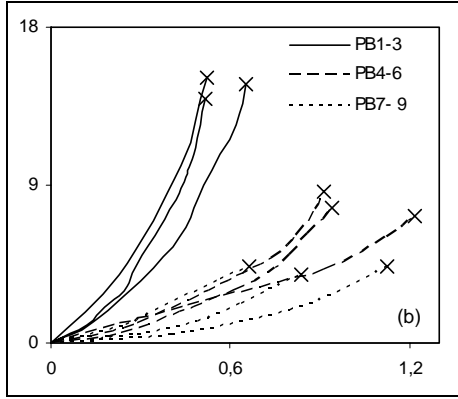
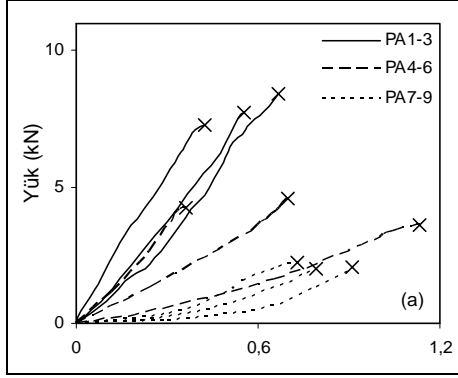
Denklem (1)’de söz konusu yapı karakteristik boyutu (D) çift konsol numunelerde kırılma bölgesi olan, çentik altı bölge yüksekliği (d) olarak alınmış, denklem (1)’de kullanılan betonun çekme dayanımı (f_t), TS500’ün verdiği bağıntı (2) ile bulunmuştur (Anon., 2000).

Tablo 2. Göçme Yükleri ve Yutulan Enerjiler.

Eleman Adı	Max. Yük kN	Yutulan Enerji kNmm	Standart Sapma kN/mm	Varyasyon Katsayısı		
PA1	7.712	1.053	0.083	0.077		
PA2	7.268	0.982				
PA3	8.428	1.182				
PA4	4.253	0.53				
PA5	4.585	0.554				
PA6	3.611	0.389			0.073	0.148
PA7	2.010	0.163				
PA8	2.088	0.174				
PA9	2.242	0.162			0.005	0.033
PA1	7.712	1.053	0.083	0.077		
PA2	7.268	0.982				
PA3	8.428	1.182				
PA4	4.253	0.53				
PA5	4.585	0.554				
PA6	3.611	0.389			0.073	0.148
PA7	2.010	0.163				
PA8	2.088	0.174				
PA9	2.242	0.162			0.005	0.033
PB1	13.926	1.971	0.097	0.046		
PB2	15.155	2.119				
PB3	14.723	2.207				
PB4	7.191	0.777				
PB5	7.732	1.021				
PB6	8.505	1.352			0.236	0.224
PB7	4.430	0.442				
PB8	4.407	0.514				
PB9	3.943	0.408			0.044	0.097
PA01	8.273	0.966	0.071	0.071		
PA02	8.660	0.932				
PA03	9.820	1.097				
PA04	4.021	0.417				
PA05	4.871	0.566				
PA06	4.021	0.272			0.120	0.287
PA07	2.784	0.296				
PA08	3.557	0.530				
PA09	3.247	0.238			0.126	0.356
PB01	14.791	2.674	0.712	0.245		
PB02	17.320	3.862				
PB03	14.372	2.163				
PB04	7.555	1.429				
PB05	7.964	1.522				
PB06	8.505	0.966			0.243	0.186
PB07	5.954	0.568				
PB08	5.644	0.760				
PB09	4.485	0.314			0.183	0.334



Şekil 2. Yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri: $e=c/5$ dışmerkezlikli çift konsol (a) A serisi, (b) B serisi; $e = c/10$ dışmerkezlikli çift konsol (c) A serisi, (d) B serisi.



Şekil 3. Yük - düşey yer değıştirme eğrileri: $e=c/5$ dışmerkezlikli çift konsol (a) A serisi, (b) B serisi; $e=c/10$ dışmerkezlikli çift konsol (c) A serisi, (d) B serisi

$$f_t = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

Burada; f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı (MPa) olarak verilmiştir. Nominal göçme gerilmesi olarak asal gerilmeler kullanılmıştır:

$$\sigma_N = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (3)$$

Burada, $\sigma=My/I$, $\tau=8P/(td)$, $M=P(e+c/2)/2$ olarak verilmiştir. Bu eşitliklerde; σ : eğilme gerilmesi (MPa), τ : kayma gerilmesi (MPa), M : yüklemeye sonucu oluşan moment (Nmm), y : kesit ağırlık merkezinden konsol yüzlerinin uzaklığı (mm), I : eylemsizlik momenti (mm^4), P : basınç yükü olarak load cell'den okunan değer (N), t : eleman kalınlığı (mm), d : çift konsol elemanda çentik altı bölge yüksekliği (mm), e : yükün konsol ekseninden dışmerkezliği (mm), c : konsol genişliği (mm) dir.

Bazant'ın yaklaşık boyut etkisi denklemi (1), farklı regresyon analizleriyle düzenlenebilir (Bazant and Planas, 1998). Regresyon analizlerinden, bilinmeyen malzeme sabitleri B ve D_0 elde edilebilir. Bu çalışmada, her seri için Lineer I ve Lineer II regresyon analizleri yapılmış, ve korelasyon katsayısı yüksek analizlere ait B ve D_0 değerleri alınmıştır. Lineer I regresyonunda denklem (4), Lineer II regresyonunda denklem (5) kullanılmıştır.

$$Y=AX+C \quad (4)$$

$$Y'=A'X'+C' \quad (5)$$

Burada; $X=D$, $Y=(1/\sigma_N)^2$, $C=(1/Bf_t^2)$, $A=C/D_0$, $X'=1/D$, $Y'=(1/\sigma_N D)^2$, $A'=(1/Bf_t^2)$, $C'=A'/D_0$ olarak alınır. Korelasyon katsayıları yüksek lineer regresyon analizlerinden bulunan, her seriye ait B ve D_0 katsayıları ile, korelasyon katsayıları (R), Tablo 3'de verilmiştir.

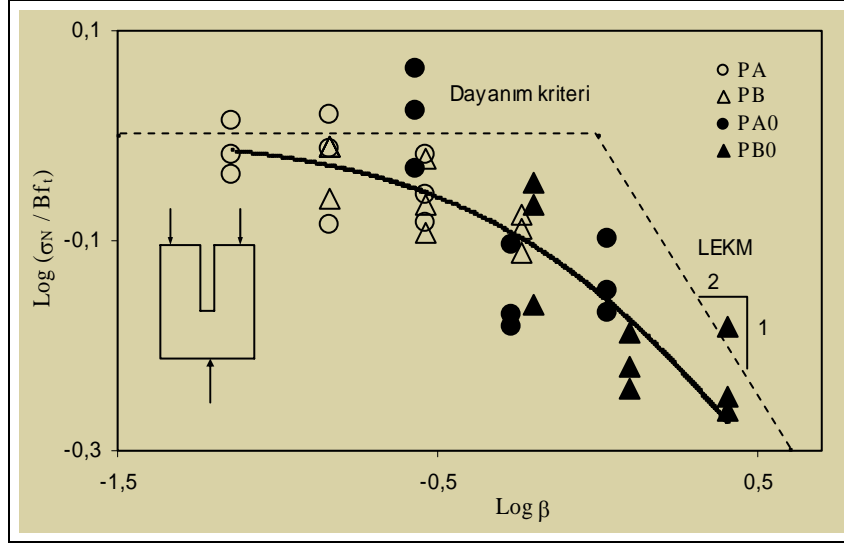
Tablo 3. Korelasyon Katsayıları ve Malzeme Sabitleri.

Deney Serileri	Katsayılar		
	r	B	D_0
PA	0.96	11.2	415.4
PB	0.96	12.9	275.1
PA0	0.61	15.2	111.7

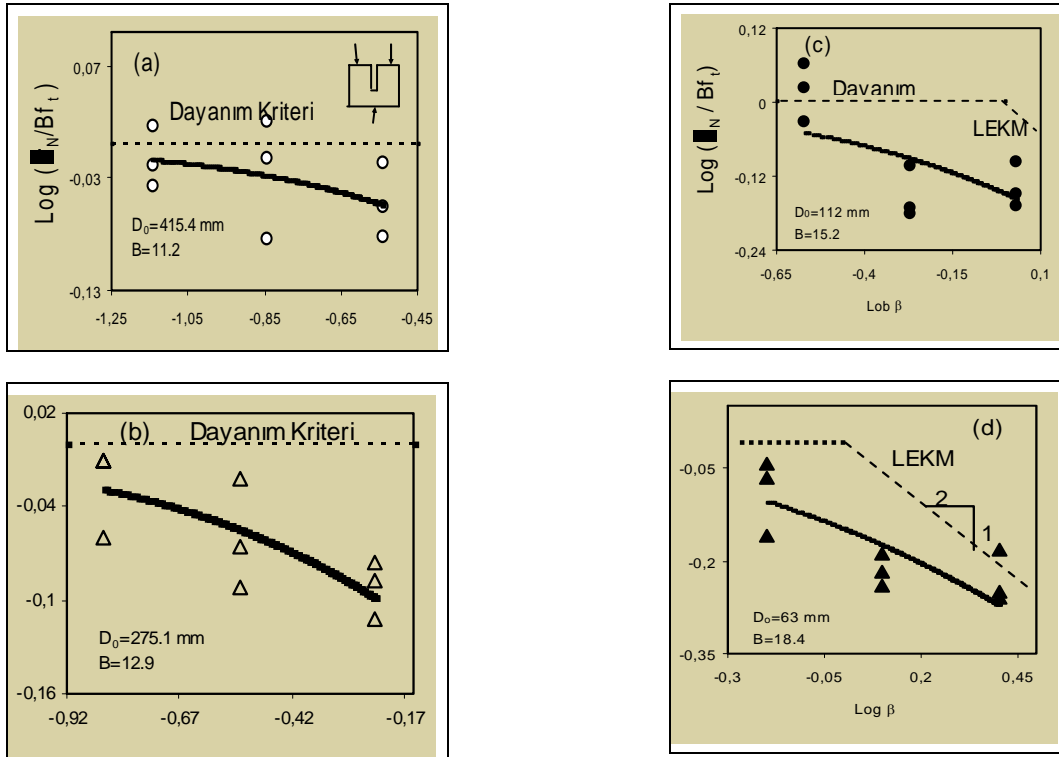
Elde edilen B ve D_0 katsayılarının (1) denkleminde yerine konulmasıyla, boyut etkisini içeren gerilme formülü bulunur. Denklem (1)'i kullanarak her seri için logaritmik eksen takımında σ_N/Bf_t ve $\beta=D/D_0$ değerleri gösterilebilir. Şekil 4'de tüm serilerin toplu boyut etkisi eğrileri bir arada gösterilmiştir.

Şekil 5’de ise her bir serinin boyut etkisi eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu eğrilerde kesik çizgi ile gösterilen yatay doğru dayanım kriterini gösterir. Dayanım kriterinde eleman dayanımı, değişen boyuta rağmen sabit kalır. Eğimi -1/2 olan kesik

çizgiyle gösterilen doğru ise, LEKM’ni simgeler. LEKM’ de kuvvetli boyut etkisi görülür. Gerçekte beton nominal dayanımı, bu iki ideal durum arasındadır. Eleman boyutları büyüdükçe ve gevreklik arttıkça, LEKM’ne yaklaşılır.



Şekil 4. Toplu boyut etkisi eğrileri



Şekil 5. Boyut etkisi eğrileri: $e=c/5$ dışmerkezlikli çift konsol (a) A serisi, (b) B serisi; $e=c/10$ dışmerkezlikli çift konsol (c) A serisi, (d) B serisi

3. SONUÇLAR

- 1- Bütün çift konsollu kolonların göçmesi çentiklerin ilerleyerek elemanların iki parça olması ile olmuştur. Bu da tüm numunelerde göçme modlarının aynı olduğunu ve boyut etkisi denkleminin uygulanabileceğini gösterir. Göçmeler, yarı gevrek göçme olup, numune boyutu arttıkça, deneysel (nominal) eğilme kesme gerilmesinin, elastisite teorisinden hesaplanan gerilmelere oranla azaldığı görülmüştür.
- 2- Deneysel sonuçlarından elde edilen değerler Bazant'ın yaklaşık boyut etkisi yasası ile uyumludur. Çift konsolun basınç göçmesi için, boyut etkisi içeren yaklaşık (1) bağıntısı, $e=c/5$ dışmerkezlilikli elemanlarda $B=12$, $D_0=350$ mm ve $e=c/10$ dışmerkezlilikli elemanlarda $B=17$, $D_0=90$ mm olmak üzere önerilebilir. Dışmerkezliliğin azalması ile D_0 katsayılarının azaldığı, dolayısıyla β gevrekliğinin arttığı görülmektedir. Bu davranış biçimi, Şekil 4' de gösterilen toplu boyut etkisi grafiklerinde, küçük dışmerkez yükleme altındaki elemanların LEKM davranışına daha çok yaklaşmış olmalarından da anlaşılmaktadır.
- 3- A ve B serileri karşılaştırıldığında, hem $e=c/5$, hem de $e=c/10$ dışmerkezlilikli elemanlar için, eleman boyutları arttıkça D_0 katsayılarının azaldığı, β gevrekliğinin yükseldiği görülmüştür. Bu da kırılma yükünün artmasının elemanı daha gevrek bir göçme davranışına götürmüş olmasının göstergesidir.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılması için Gazi Üniversitesi'nden 06/2004-20 kodlu "Beton Basınç Göçmesinde Boyut Etkisi" isimli araştırma projesi desteği alınmıştır. Bu desteği sağlayan Gazi Üniversitesi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

5. KAYNAKLAR

Anonim, 2000. TS500. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. 79 s. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Bazant, Z. P. 1984. Size Effect in Blunt Fracture: Concrete, Rock, Metal. J. Engng. Mech. ASCE. 110, 518-535.

Bazant, Z. P. and Şener, S. 1985. Effect of Aggregate Size in Shear Failure of Reinforced Concrete Beams. Internal Report CCG, Northwestern University, Evanston.

Bazant, Z. P. and Cao, Z. 1987. Size Effect in Punching Shear Failure of Slabs. ACI Structural Journal. 84(1), 44-53.

Bazant, Z. P. 1987. "Fracture Energy of Heterogeneous Materials and similitude" **SEM-RILEM International Conference on Fracture of Concrete and Rock**, Society for Experimental Mechanics, Bethel, 390-402.

Bazant, Z. P. and Pfeiffer, P. A. 1987. Determination of Fracture Energy From Size Effect and Brittleness number. ACI Materials Journal. 84(6), 463-480.

Bazant, Z. P., Şener, S. and Prat, P. 1988. Size Effect Tests of Torsional Failure of Plain and Reinforced Concrete Beams. RILEM&Materials and Structures. 21, 425-430.

Bazant, Z. P. and Şener, S. 1988. Size Effect in Pull-out Tests. ACI Materials Journal. 85 (5), 347-351.

Bazant, Z. P., Kazemi, M. T., Hasegawa, T. and Mazars, J. 1991. Size Effect in Brazilian Split-Cylinder Tests; Measurements and Fracture Analysis. ACI Materials Journal. 88 (3), 325-332.

Bazant, Z. P. and Planas, J. 1998. Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials. 616p. CRC Press, Boston.

Carpinteri, A. 1989. Decrease of Apparent Tensile and Bending Strength With Specimen Size: Two Different Explanations Based on Fracture Mechanics. International Journal of Solids and Structures. 25 (4), 407-429.

Gustafsson, P. J. and Hillerborg, A. 1988. Sensitivity in Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete. ACI Materials Journal. 85(3), 286-294.

Koç, V. ve Şener, S. 2003. "Lifli Beton Çift Konsolun Basınç Göçmesinde Boyut Etkisi." **Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II**, TÜBİTAK, Konya, 169-172.

Koç, V. ve Şener, S. 2003. "Hafif ve Normal Betondan Yapılmış Çift Konsol Numunelerin Basınç Göçmesinde Boyut Etkisi." **Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi**, İstanbul, 137-141.

Koç V. ve Şener, S. 2004. "Eksenel Doğrultuda Basınç Yüklü Çift Konsollarda Boyut Etkisi." **Advances in Civil Engineering, 6th International Conference**, Boğaziçi Üniv., İstanbul, 531-540.