

DIŞMERKEZLİK DEĞİŞİMİ ALTINDA LİFLİ BETON BOYUT ETKİSİ

*Varol KOÇ**

Özet: Lifli betondan hazırlanan çift konsol elemanlara, c konsol genişliği olmak üzere, $e=c/5$ ve $e=c/10$ dışmerkezliklerine sahip, konsol eksenlerine paralel basınç yüklemesi uygulanmıştır. Deney elemanları, kalınlık sabit, diğer iki boyutta geometrik olarak benzer ve benzerlik oranları 1:2:4 olacak şekilde, $t=30, 40$ ve 50 mm kalınlıklarında üç ayrı seri olarak lifli betondan üretilmiştir. Her seriden, iki farklı dışmerkezlikle yüklenmek üzere ikişer adet, bu serilerdeki her bir elemandan da üçer adet hazırlanmıştır. Her bir seride 9, üç seride 27 olmak üzere, iki farklı dışmerkezlikle yüklenen toplam 54 adet deney elemanı üretilmiş ve denenmiştir. Her deneyde bir düşey ve iki yatay olmak üzere üç yerdeğiştirme ölçülmüş, konsol uçlarındaki yatay yerdeğiştirmelerin toplanmasıyla yatay açılma değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçlarının boyut etkisi analizleri yapılarak boyut etkisi parametreleri bulunmuş, logaritmik eksen takımlı boyut etkisi eğrileri çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırılma mekaniği, Beton boyut etkisi, Mod-I göçmesi, Çift konsol elemanı, Lifli beton.

Reinforced Steel Fiber Concrete Size Effect under the Changed Eccentricity

Abstract: Double cantilever beam elements (DCB) prepared from reinforced steel fiber concrete are subjected to eccentric compressive loads with eccentricities $e=c/5$ and $e=c/10$ parallel to the cantilever axes, where c is the cantilever span. The specimens are produced with $t=30, 40$ and 50 mm constant thickness. The specimens are named as A, B and C series. Each series have three sub-series with geometric similarity ratio of 1: 2: 4. For one eccentricity there are 27 elements with total of 54 elements. Two horizontal and one vertical displacements are measured for each experiment and opening displacements values are found by adding to two horizontal displacements for each DCB. The test results are analyzed for size effect and size effect parameters are found. Size effect graphs with logarithmic axes for each series of specimens are plotted.

Key Words: Fracture mechanic, Concrete size effect, Mod-I failure, Double cantilever beams, Reinforced steel fiber concrete.

1. GİRİŞ

Mikro düzeyden makro düzeye geçişte, numunenin nominal dayanımı etkilenmektedir. Bu durumu ilk olarak Griffith cam lifler üzerine yapmış olduğu deneylerde göstermiştir (Griffith, 1921). Cam liflerin dayanımı, camın dayanımının on katı civarındadır. Griffith, bu farkın malzeme yüzeyindeki kusurlardan kaynaklandığı şeklinde bir açıklama yaparak, lineer elastik kırılma mekaniğinin (LEKM) temelini atmıştır. Ancak II. Dünya savaşı ve sonrasında ölümcül mühendislik facialarının olmasına kadar bu konu üzerinde pek durulmamıştır. LEKM, ideal homojen ve gevrek malzemelerde çatlak ilerlemesini hesaplamak için kullanılabilir. Çatlağın yakın bölgelerindeki gerilmeler, gerilme yoğunluk çarpanı, çatlak uzunluğu ve çatlağa olan uzaklığın bir işlevi olarak bulunabilir. Kritik enerji salınımı temel alınarak, enerji yaklaşımıyla da çatlağın ilerlemesi bulunabilir.

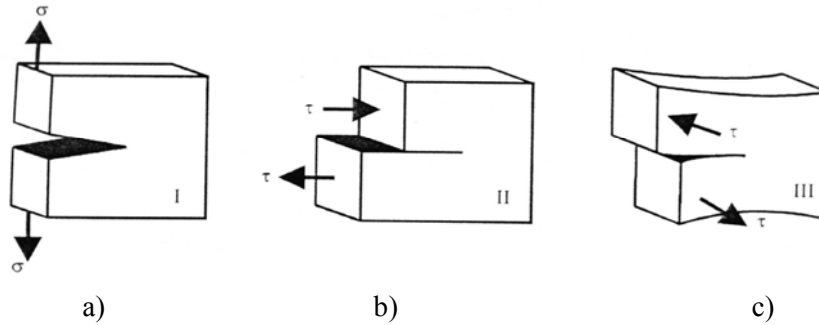
Griffith'in çalışmalarından önce, gevrek malzemelerin kavramsal ve gerçek dayanımı arasındaki büyük farklılık için bir açıklama yapılamamıştır. Gevrek malzemelerin gerçek çekme dayanımı, bünyesindeki çatlaklardan dolayı, kavramsal dayanımından oldukça düşüktür. Elastik gevrek bir malzemede çatlak ucuna yakın kısımlarda büyük gerilme yoğunlaşması oluşmaktadır. Bu durum elastik-gevrek bir malzeme olan camı plak şeklinde düşünerek açıklanabilir. Elastik plak üniform olarak çekildiğinde gerilme akış çizgileri yüklemenin yönüne paralel ve düz olmaktadır. Plak içinde keskin bir çentik olduğunda ise, gerilme akış çizgileri çentik etrafında eğilmeye zorlanarak yoğunlaşmakta, çentik ucunda çok büyük gerilmeler oluşmaktadır (Bazant ve Planas, 1998). Weibull hiçbir malzemenin kusursuz olamayacağı görüşünden

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

hareket ederek konuya istatistiksel yöntemlerle yaklaşmış ve numune boyutunun büyümesi ile içerisindeki kusurların bulunma olasılığının arttığını ortaya koymuştur. Çalışmasını ortaya koyduğu yıllarda bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan istatistiksel yollarla elde ettiği boyut etkisi kavramını ortaya atmıştır (Weibull, 1939). Weibull'un çalışması, malzemenin gerçek davranışını dikkate almadan, çağına uygun olarak, sadece malzemenin emniyet katsayısını elde etmek için yapılmıştır.

1957'de Irwin, seramik lifler üzerine yapmış olduğu deneylerde de gerçek dayanımın kuramsal dayanımdan az olduğunu görmüş ve teoriyi metalleri de içine alarak genişletmiştir. Gevrek bir cisimde kırılma olayı, gerilme alanının tekil olduğu çatlak ucunda oluşur. Cismin geriye kalan kısmının elastik olduğu kabul edilir. Irwin, keskin çatlak uçlarının komşuluklarındaki gerilme bileşeninin, yükleme tarzı ve elastik cismin şekline bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Mod I, II ve III olarak isimlendirilen kırılma durumlarına göre genel gerilme durumunu çözmek gerekmektedir. Mod I durumunda, Şekil 1'de gösterildiği gibi, çatlak yüzleri, kendi düzlemlerine dik yerdediştirme yapmaktadır. O yüzden açılma modu ismi de verilmektedir. Mod II durumunda çatlak yüzlerinin kendi düzleminde birbirlerine göre yerdediştirme yaptığı simetrik olmayan bir düzlem gerilme durumu oluşmaktadır. O yüzden düzlemde kesme veya kayma modu ismi de verilmektedir. Son olarak, mod III durumunda çatlak yüzlerinin düzlem dışında birbirlerine göre yerdediştirmelerine neden olan gerilme durumu verilmektedir. Bu duruma düzlem dışında kesme yada yırtılma modu ismi de verilmektedir. Irwin, genel kırılma modlarını ve bunların bileşimlerinden oluşan karışık modun kanunlarını ve K adı verilen gerilme yoğunluk çarpanlarını ortaya koymuştur (Irwin, 1957).

Tanımlanan bütün bu temel kavramların ortaya konmasından günümüze kadar kırılma mekaniği özellikle metaller ve seramikler konusunda tasarım yönetmeliklerine girmiştir. Bunlara ek olarak, günümüz malzeme bilimi gevrek kırılmadan uzak ve yüksek mukavemetli malzemeler üretmek için hala teorik ve deneysel düzeyde araştırmalara devam etmektedir. Beton kırılma mekaniğiyle ilgili son dönem literatüründeki bazı çalışmalar şunlardır: Bazant ve Cao (1986), donatısız beton boruların göçmesinde; Bazant ve Şener (1988), beton küplerden demir çubukların çekip çıkarılma testlerinde boyut etkisini incelemişlerdir. Bazant ve Kwon (1994), en büyük agrega boyutu $d=3,1$ mm olan mikro-betondan yapılmış betonarme kolonlarda; Şener ve diğ. (2004), merkezi yüklü normal dayanımlı betonarme kolonlarda basınç yüklemesi deneyleri yaparak; beton boyut etkisini araştırmışlardır. Karihaloo ve diğ. (2003), yüksek dayanımlı çentikli ve çentiksiz beton kirişler üzerinde boyut etkisi çalışmaları yapmışlardır. Ayrıca, deniz buzunun kırılma parametreleri ve boyut etkisinin elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Bazant, 2002). Eksenel basınç gerilmesine maruz silindirik çimento harcı numunelerinde çatlak gelişiminin X-Rey ışınlarıyla elde edilmesi ve üç boyutlu analizi yapılmıştır (Landis ve diğ. 2003).



Şekil 1:

Kırılma modları a) Mod I, açılma modu b) Mod II, kayma modu c) Mod III, yırtılma modu

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

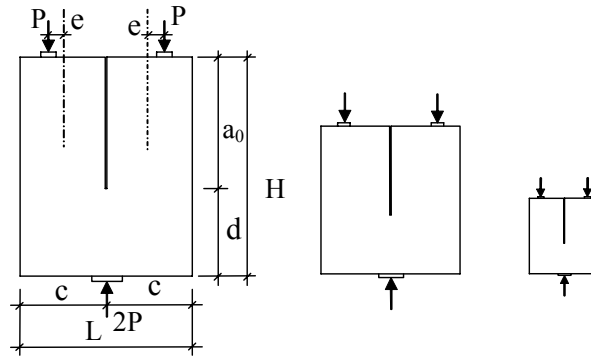
Bu çalışmada, çif konsol elemanına, konsol eksenlerine paralel doğrultuda basınç yüklemesi uygulanmış, basınç yükünün oluşturduğu momentle mod-I (açılma) göçmesi elde edilmiştir. Basınç yükünü iki farklı dışmerkezlikle uygulayarak da sonucun göçme yüklerine etkisi incelenmiştir.

Lifli beton karışım oranları çimento/çakıl/kum/su = 1/2/2/0,55 olarak alınmış, çelik lif toplam beton ağırlığının %3'ü kadar konulmuştur. Dramix çelik lif uzunlukları 30 mm olup, Belçika-Türk ortak şirketi Beksa üretimidir. Lifler eğik donatı biçimli olup uzunluk/kalınlık oranı= 70 dir. Karışım hazırlanırken, önce lifler, topaklanmayı önlemek için, betonyere çakıl ile birlikte konulmuştur. Karışımlarda Portland Kompoze Çimentosu (PKÇ/B 32.5R) kullanılmıştır. En büyük iri 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 37.5x75 mm boyutlarında kontrol silindirleri dökülmüştür. Silindir basınç deneylerinden, karakteristik dayanım 37,6 MPa, standart sapma 3,18 MPa, varyasyon katsayısı 0,085 bulunmuştur. Bütün numuneler, olasılıksal dağılım etkilerini en aza indirmek için aynı bir karışımdan dökülmüş ve kür havuzunda 28 gün bekletilmişlerdir.

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. Lifli betondan hazırlanan numuneler üç farklı seride dökülmüştür. Numune kalınlıkları (t), A serisinde 30 mm, B serisinde 40 mm, C serisinde 50 mm olarak alınmıştır. Her seri, c konsol genişliği olmak üzere, konsol ekseninden konsol dış yüzüne doğru, $e=c/10$ ve $e=c/5$ dışmerkezlikleriyle ayrı ayrı yüklenmiştir. Numuneler, F başlangıç harfi ile simgelenmiştir. $e=c/10$ dışmerkezliğiyle yüklenen numuneler, seri harfinden sonra, 0 rakamı 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 seri arasında ve seriler içinde basınç yüklemesinde boyut etkisi incelenebilmiştir. Çift konsol deney elemanlarının şekil ve boyutları Şekil 2 ve Tablo I'de, kullanılan deney düzeneği Şekil 3'de verilmiştir. Bütün çift konsollar, 1200 kN kapasiteli, uzama katılığı 560 kN/mm olan yüklem çerçevesinde yüklenmiştir. Yüklemeler 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 yer değiştirme (LVDT1 ve LVDT2) okumaları ile, düşey yer değiştirme (LVDT3) okumaları data logger ile bilgisayara kaydedilmiştir.

Lifli beton çift konsola yük uygulanması, daha önceki çalışmalarda olduğu gibi, çentik altında ilerleyen çatlağın çentik altı bölgeyi boydan boya katetmesine kadar sürdürülmüştür (d mesafesi) (Koç ve Şener, 2003a). Böylece gelişen çatlağın çift konsolları iki ayrı parçaya ayırması sağlanmıştır. Ancak bu iki ayrı konsol, daha önce normal ve hafif betonlarla yapılan çalışmaların aksine (Koç ve Şener, 2003b; 2004) birbirinden tamamen kopuk olmayıp, hala yük taşıyor bir durumda, aradaki çelik liflerle bir arada tutulmuşlardır. Çelik liflerin etkisiyle çatlak ilerlemesi, normal ve hafif betonlara göre oldukça sünek bir davranış göstermiştir.



Şekil 2:
Çift konsol elemanları

Tablo I.
Çift konsol boyutları

NUMUNE		H (mm)	L (mm)	d (mm)	a ₀ (mm)	c (mm)	t (mm)	e=c/5 (mm)	e=c/10 (mm)
A Serisi SERİSİ	A1,A2,A3	300	260	120	180	127,5	30	25,5	12,8
	A4,A5,A6	150	130	60	90	62,5	30	12,5	6,3
	A7,A8,A9	75	65	30	45	30	30	6	3
B Serisi	B1,B2,B3	400	340	160	240	167,5	40	33,5	16,8
	B4,B5,B6	200	170	80	120	82,5	40	16,5	8,3
	B7,B8,B9	100	85	40	60	40	40	8	4
C Serisi	C1,C2,C3	500	420	200	300	207,5	50	41,5	20,8
	C4,C5,C6	250	210	100	150	102,5	50	20,5	10,3
	C7,C8,C9	125	105	50	75	50	50	10	5

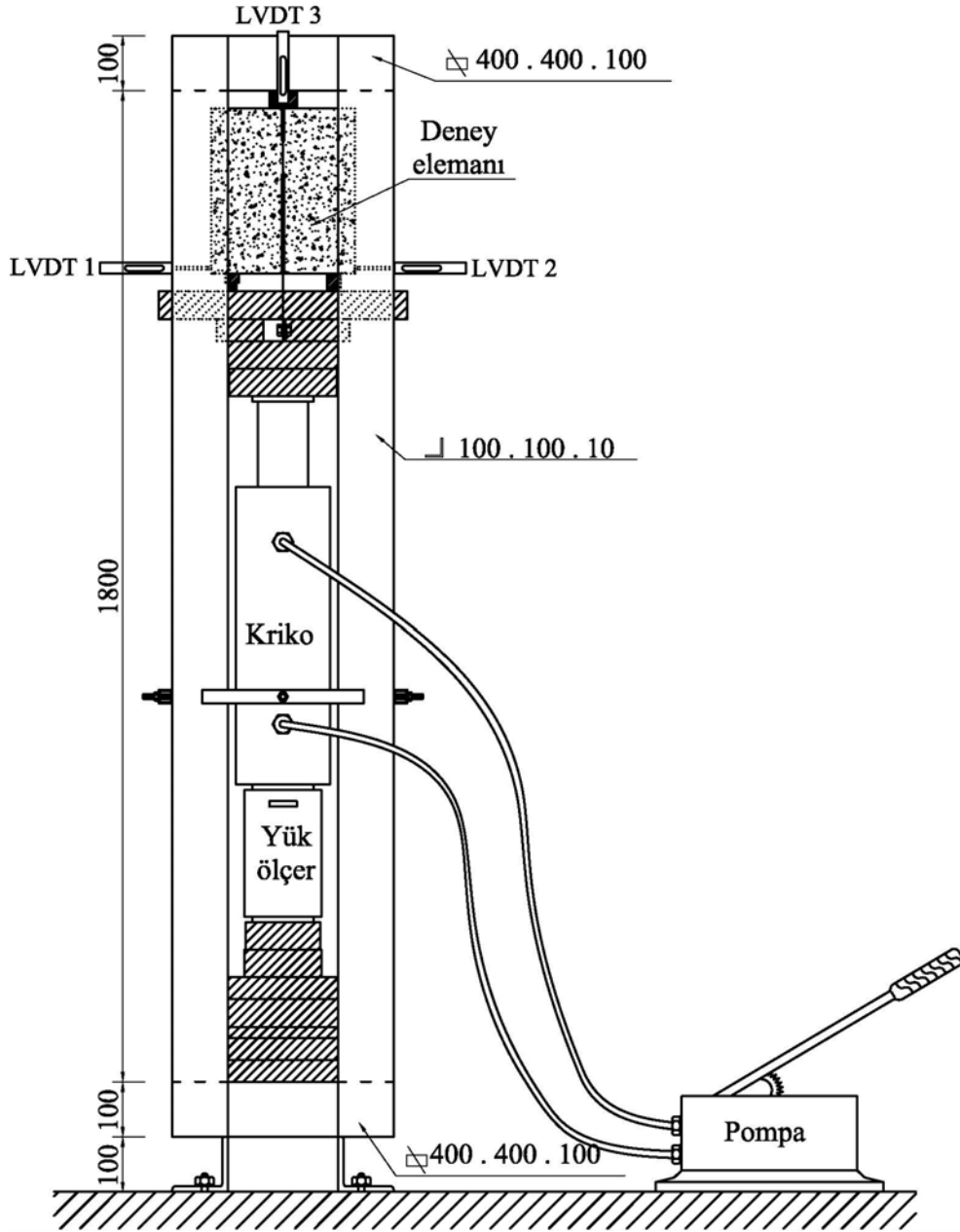
3. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

İki ve üç boyutlu geometrik olarak benzer, beton gibi heterojen malzemeden yapılmış yapıların gevrek ve yarı gevrek göçmeleri için Bazant tarafından çıkarılan boyut etkisinin yaklaşık ifadesi şu şekilde verilebilir (Bazant ve Planas, 1998):

$$\mu = \frac{\mu_0}{\sqrt{1-\beta}} \quad , \quad \mu_0 = B \cdot f_t \quad (1)$$

$$\beta = \frac{D}{D_0} \quad (2)$$

Bu eşitliklerde; μ : 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 geçişi gösteren ampirik katsayı (mm) olarak verilmiştir.



Şekil 3.
Deney düzeneği

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 $\log \mu$ 'nün $\log D$ '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'nin logaritmik gerilme- boyut eksenlerinde gösterimi ise, eğimi -1/2 olan bir doğrudur. Eğer yapı çok küçük ise (1) denkleminde β değeri, 1'in yanında çok küçük olduğundan göz önüne alınmayabilir. Bu durumda μ 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 gözönüne alınmaz. μ göçme gerilmesi, $D^{1/2}$ değeri ile ters orantılıdır. Bu durumda da çok kuvvetli boyut etkisi var demektir ve LEKM geçerlidir. Geçmişte çoğu göçme ölçütü (eğilme, kesme, çekme), dayanım ölçütüne göre (β ihmal edilerek) yapılırken, günümüzde, boyut etkisini içeren bağıntıları verecek araştırmalar devam etmektedir.

Denklem (2)'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 (3) ile bulunmuştur (TS500, 2000):

$$f_t = 0.35 \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

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

$$\sigma_N = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (4)$$

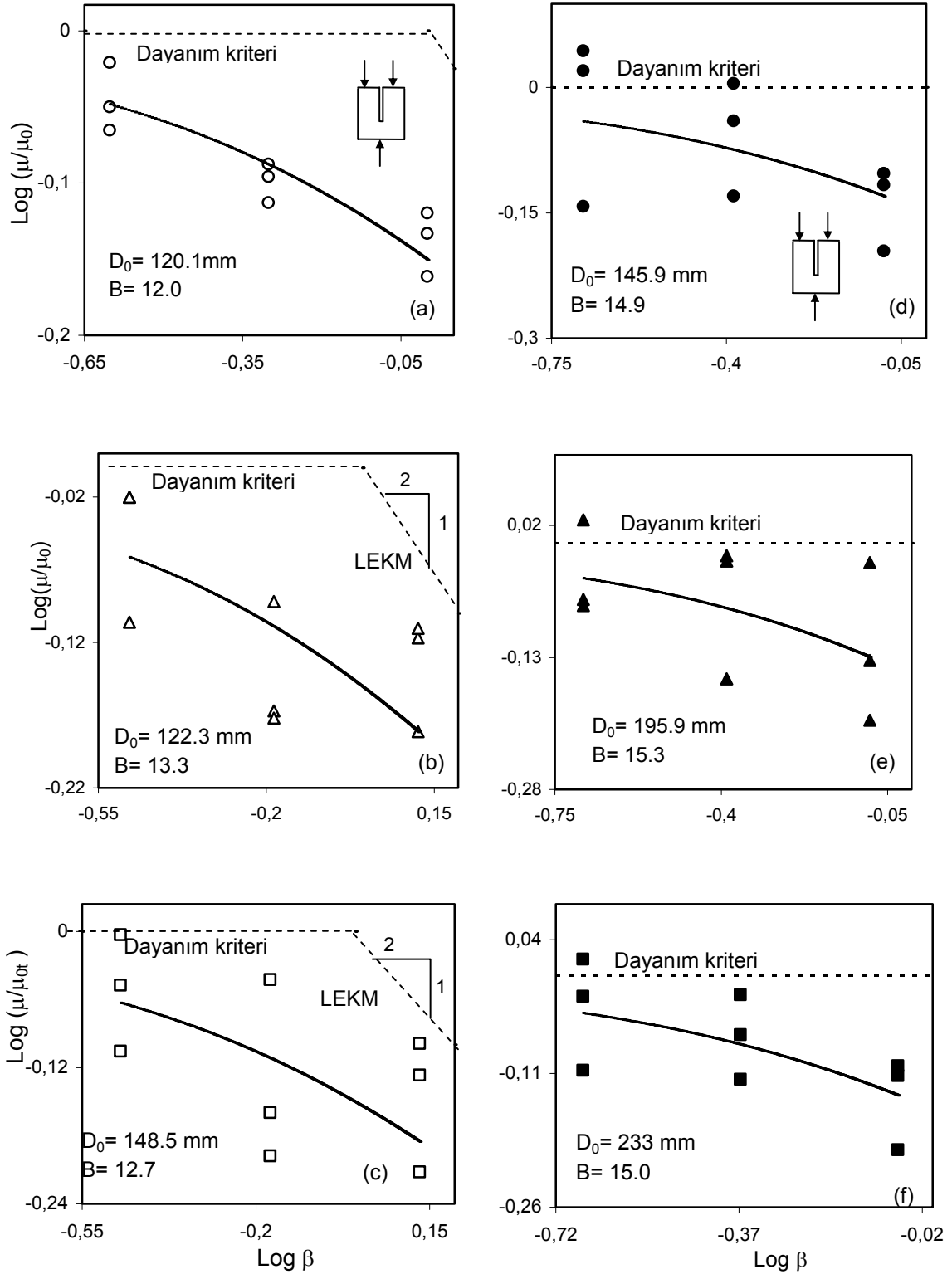
Burada, $\sigma = My/I$, $\tau = 8P/(td)$, $M = P(e+c/2)/2$ olarak verilmiştir. Bu eşitliklerde; σ : eğilme gerilmesi (MPa), τ : kayma gerilmesi (MPa), M: yükleme sonucu oluşan moment (Nmm), y: kesit ağırlık merkezinden konsol yüzlerinin uzaklığı (mm), I: eylemsizlik momenti (mm^4), P: basınç yükü olarak 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 ve 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 (5), Lineer II regresyonunda denklem (6) kullanılmıştır.

$$Y = AX + C \quad (5)$$

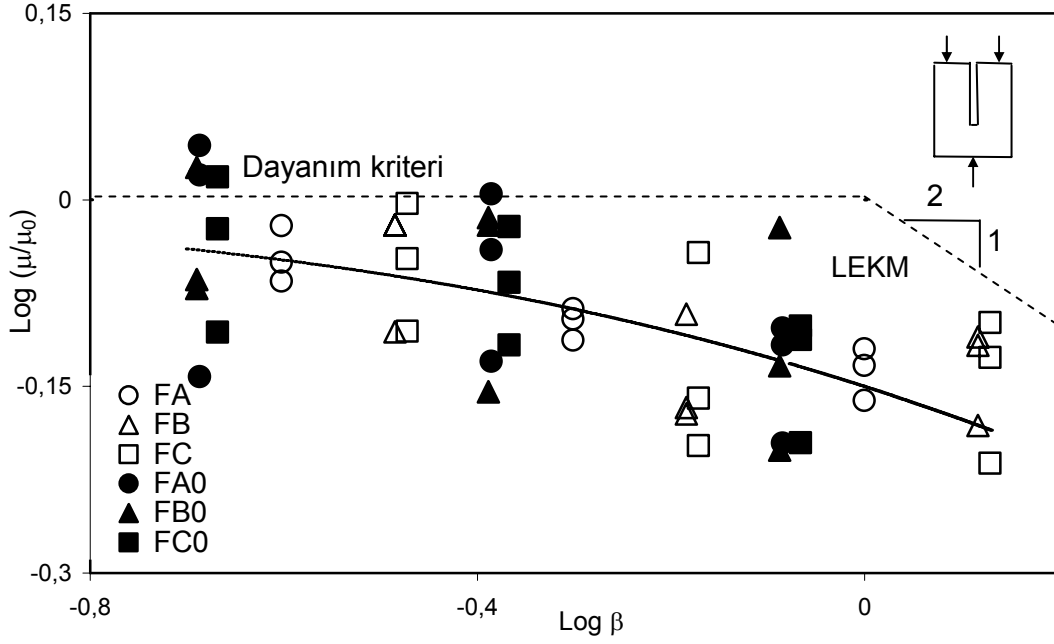
$$Y' = A'X' + C' \quad (6)$$

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.



Şekil 4:

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



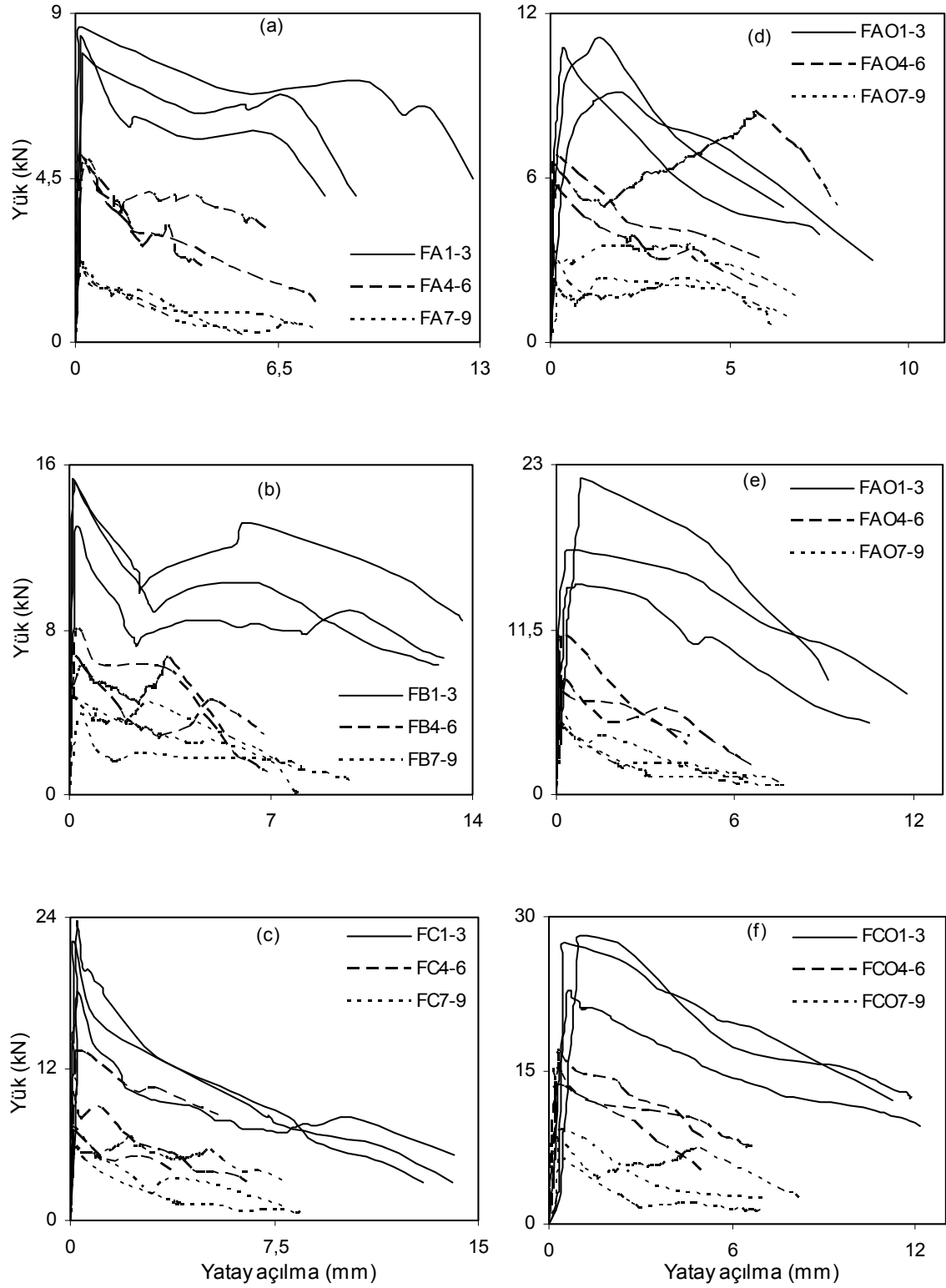
Şekil 5:
Toplam boyut etkisi

Korelasyon katsayıları yüksek lineer regresyon analizlerinden bulunan, her seriye ait B ve D_0 katsayıları ile, korelasyon katsayıları (r), Tablo II de verilmiştir. Elde edilen B ve D_0 katsayılarının (1) ve (2) denklemlerinde 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 her bir serinin boyut etkisi eğrileri gösterilmiştir. Şekil 5'de ise tüm serilerin toplu boyut etkisi eğrileri bir arada 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.

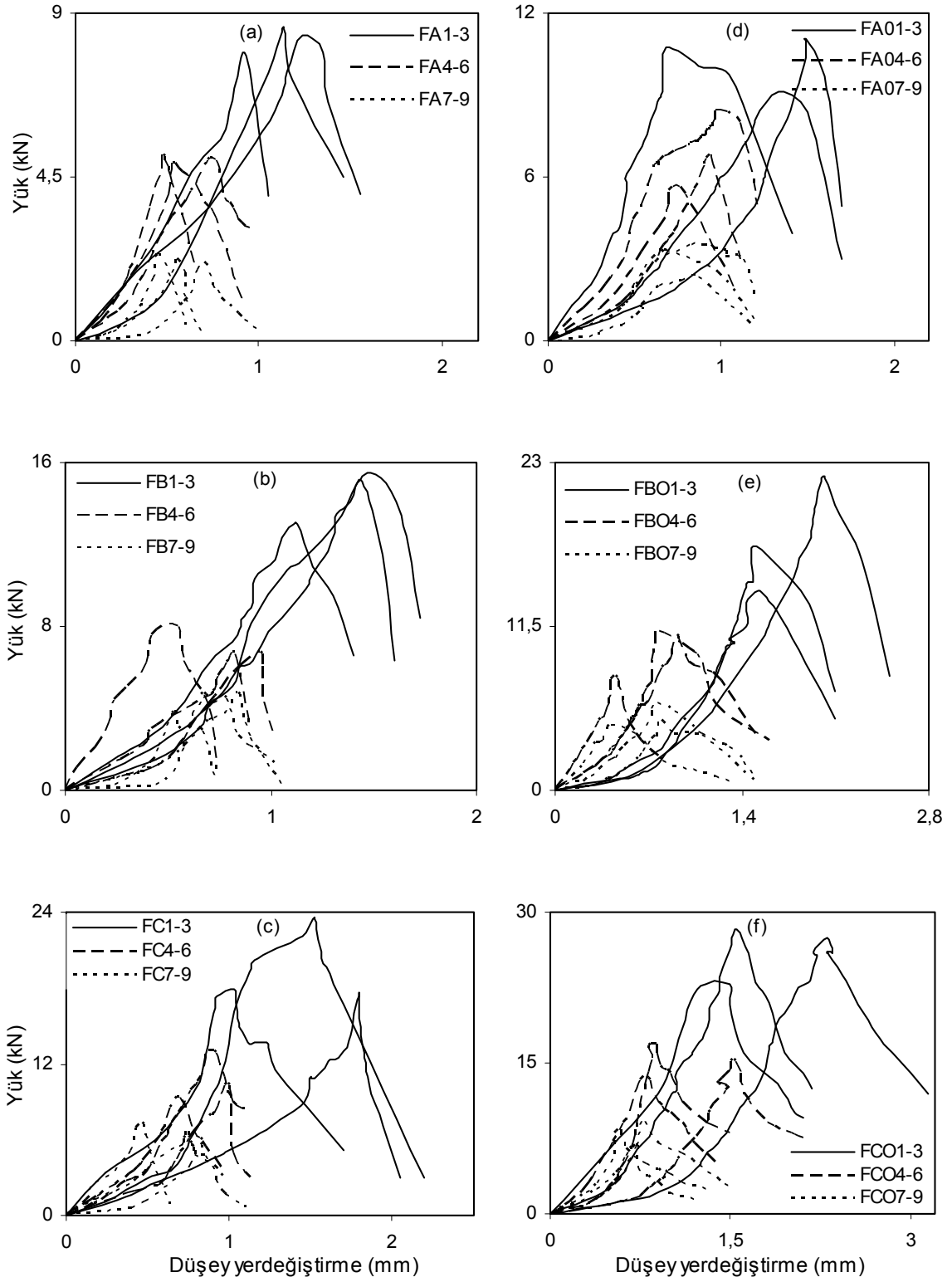
Deney elemanlarının ölçülen göçme yükleri Tablo III'de, yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri Şekil 6'da, yük-düşey yerdeğiştirme eğrileri Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo II.
Korelasyon katsayıları ve malzeme sabitleri

Deney serileri	Alınan analiz	Katsayılar		
		r	B	D_0
FA	Lineer II	0.97	12.0	120.1
FB	Lineer II	0.83	13.3	122.3
FC	Lineer II	0.79	12.7	148.5
FA0	Lineer II	0.70	14.9	145.9
FB0	Lineer II	0.84	15.3	195.9
FC0	Lineer II	0.85	15.0	233



Şekil 6:
Yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri: $e=c/5$ dışmerkezlikli çift konsol (a) A serisi, (b) B serisi, (c) C serisi;
 $e=c/10$ dışmerkezlikli çift konsol (d) A serisi, (e) B serisi, (f) C serisi



Şekil 7:

Yük - düşey yerdeğiştirme eğrileri: $e=c/5$ dışmerkezlikli çift konsol (a) A serisi, (b) B serisi, (c) C serisi; $e=c/10$ dışmerkezlikli çift konsol (d) A serisi, (e) B serisi, (f) C serisi

Tablo III.
Göçme yükleri

Eleman Adı	Göçme Yüğü kN	Eleman Adı	Göçme Yüğü kN
FA1	8,628	FA01	9,124
FA2	8,396	FA02	11,057
FA3	7,932	FA03	10,747
FA4	5,103	FA04	8,438
FA5	4,871	FA05	6,804
FA6	4,948	FA06	5,722
FA7	2,156	FA07	3,511
FA8	2,233	FA08	3,325
FA9	2,01	FA09	2,288
FB1	15,123	FB01	22,056
FB2	13,035	FB02	14,691
FB3	15,309	FB03	17,088
FB4	6,727	FB04	8,041
FB5	8,041	FB05	11,057
FB6	6,65	FB06	11,134
FB7	4,717	FB07	6,154
FB8	4,717	FB08	4,994
FB9	2,165	FB09	4,948
FC1	18,186	FC01	27,526
FC2	22,129	FC02	28,222
FC3	23,603	FC03	22,732
FC4	13,417	FC04	13,608
FC5	10,247	FC05	16,933
FC6	7,036	FC06	15,309
FC7	6,631	FC07	8,428
FC8	7,345	FC08	9,278
FC9	5,798	FC09	6,959

4. 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. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi, bu iki ayrı konsol, birbirinden tamamen kopuk olmayıp, hala yük taşır bir durumda, aradaki çelik liflerle bir arada tutulmuşlardır. Şekil 6 ve 7'den deney sonunda elemanların hala yük taşır durumda oldukları görülmektedir.
2. Deney sonuçlarından elde edilen değerler Bazant'ın yaklaşık boyut etkisi yasası ile uyumludur. Çift Konsolun basınç göçmesi için, boyut etkisi içeren yaklaşık (1) ve (2) bağıntıları, $e=c/5$ dışmerkezlikli elemanlarda $B=13$, $D_0=130$ mm ve $e=c/10$ dışmerkezlikli elemanlarda $B=15$, $D_0=190$ mm olmak üzere önerilebilir. Şekil 5'den anlaşılacağı üzere, dışmerkezlik büyüdükçe davranış LEKM' ne yaklaşmaktadır.
3. Şekil 6 ve Şekil 7'de verilen yatay ve düşey yerdeğiştirme eğrileri incelendiğinde, her seri içindeki eleman boyutlarının azalmasının elemanı sünek davranışa götürdüğü görülür. Bu durum, boyut etkisinin eleman boyutlarının artmasıyla yalnız göçme yüklerinde gözlenen bir azalma olmayıp, eleman davranışını da önemli ölçüde etkileyen bir öge olduğunun göstergesidir.

4. Yük dışmerkezliğinin azalması, beklendiği gibi göçme yüklerini artırmıştır. Gerilme ifadesinden de (denklem (4)) anlaşılacağı üzere, tüm elemanlarda eğilme gerilmesi yani açılma modu göçme tipi (mod I) baskın olmakla birlikte, dışmerkezlik azaldıkça eğilme gerilmesi azalmakta, eleman göçmesinde kayma modu etkisi (mod II) büyümektedir.

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

1. Bazant, Z. P. (2002) Scaling of sea ice fracture-Part I: Vertical penetration, *Journal of Applied Mechanics*, 69, 11-18.
2. Bazant, Z. P. and Cao, Z. (1986) Size effect in brittle failure of unreinforced pipes, *ACI Journal*, Proceedings, 83(3): 369-373.
3. Bazant, Z. P. and Kwon, Y. W. (1994) Failure of slender and stocky reinforced concrete columns: Tests of size effect, *Materials and Structures*, 27, 79-90.
4. Bazant, Z. P. and Planas, J. (1998) *Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials*, CRC Press, Boca Raton, Fla.
5. Bazant, Z. P. and Şener S. (1988) Size effect in pull-out tests, *ACI Materials Journal*, 85(5), 347-351.
6. Griffith, A. A. (1921) The phenomena of rupture and flow in solids, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, Ser. A221, 163-198.
7. Irwin, G. R. (1957) Analysis of stress of strains near the end of a crack traversing a plate, *J. Appl. Mech.*, 24, 361-364.
8. Karihaloo, B. L., Abdalla H. M. and Xiao Q. Z. (2003) Size effect in concrete beams, *Engineering Fracture Mechanics*, 7, 979-993.
9. Koç, V. ve Şener, S. (2003a) Lifli beton çift konsolun basınç göçmesinde boyut etkisi, *Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II*, TÜBİTAK, Konya, 169-172.
10. Koç V. ve Şener S. (2003b) Hafif ve normal betondan yapılmış çift konsol numunelerin basınç göçmesinde boyut etkisi, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi*, 137-141, İstanbul.
11. 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.
12. Landis E. N., Edwin N. N. and Keane D. J. (2003) Microstructure and fracture in three dimensions, *Engineering Fracture Mechanics*, 70, 911-925.
13. Şener, S. Barr, B. I. G. and Abusiaf, H. F. (2004) Size effect tests of reinforced concrete columns, *J. Struct. Eng. ASCE*, 662-670, 130(4).
14. TS500 (2000) *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 12.
15. Weibull, W. (1939) A statistical theory of strength of materials, *Proc. Royal Swedish Academy of Engineering Sciences*, 151, 1-45.