

NARİN BETON KOLONLARDA BOYUT ETKİSİ

Çağatay Mehmet BELGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 1997

ANKARA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELERİN LİSTESİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	4
2.1 Bu Konudaki Araştırmalar.....	4
2.2 Narinlik.....	6
2.3 Eksenel Yükleme.....	6
2.4 Niçin Boyut Etkisi... ..	7
2.4.1 Boyut Etkisi	9
2.5. Gevrek ve Sünek Kırılma Tanımları	14
2.6. Boyut Etkisinin Enerji ile Açıklanması.....	15
2.7. Göçme Yükleri.....	20
2.8. Kırılma Bölgesi	21
2.9. Boyut Etkisi ve Yapıların Gevrekliği... ..	23
2.9.1. Gevreklik Sayısı... ..	23
2.9.2. Diğer boyut etkileri ve sınırlamalar.....	24
2.9.2.1 Artık sünek ya da sürtünme limitinin etkisi... ..	24
2.9.2.2 Rastgele dayanım yüzünden istatistiksel boyut etkisi.....	25
2.9.2.3 Farklı rutubet ve kuruma yüzünden boyut etkisi.....	25
2.9.2.4 Çeper etkisinin doğurduğu boyut etkisi	25
2.9.2.5. Çatlak kenarındaki uçlarda üç boyutlu tekillik yüzünden boyut etkisi... ..	26
2.9.2.6. Agregat boyutunun etkisi.....	26
2.9.2.7. Yüksek dayanımlı beton ve matriks dayanımının etkisi.....	27
2.9.2.8. Donatı akmasının boyut etkisine katkısı.....	27
3. DENEY KOLONLARI.....	28
3.1. Kolonların Sınıflandırılması.....	28
3.2. Kullanılan Malzemeler.....	30
3.2.1. Donatı.....	30
3.2.2. Beton.....	30
3.2.3. Kolon başlıkları... ..	32
3.3. Deney Düzenegi... ..	32
3.4. Deney Kolonlarının Hazırlanması.....	33

3.4.1	Kolon kalıpları.....	33
3.4.2.	Kolon donatıları.....	35
3.4.3.	Beton karışımının hesabı.....	35
3.4.4.	Betonun yerleştirilmesi.....	36
3.4.5.	Kolonların kalıptan çıkarılması.....	36
3.5.	Deneylerin Yapılması.....	37
3.5.1.	Yükleme ve ölçümler.....	37
3.5.2.	Silindir basınç dayanımları.....	37
3.6.	Deney Grupları.....	38
3.6.1.	Küçük narinlikli kolonlar.....	38
3.6.2.	Orta narinlikli kolonlar.....	39
3.6.3.	Büyük narinlikli kolonlar.....	39
4.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	40
4.1.	Sonuçların Analizi.....	40
4.1.1.	Küçük narinlikli kolonların deney sonuçları.....	40
4.1.1.1.	Küçük narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları.....	41
4.1.2.	Orta narinlikli kolonların deney sonuçları.....	43
4.1.2.1	Orta narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları.....	44
4.1.3.	Büyük narinlikli kolonların deney sonuçları.....	45
4.1.3.1.	Büyük narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları.....	45
4.2.	Sonuçların Değerlendirilmesi.....	46
4.2.1	Küçük narinlikli kolonların deney sonuçlarının grafiklerle gösterilmesi.....	47
4.2.2.	Orta narinlikli kolonların deney sonuçlarının grafiklerle gösterilmesi.....	50
4.2.3.	Büyük narinlikli kolonların deney sonuçlarının grafiklerle gösterilmesi.....	52
4.3.	Eksenel Yerdeğiştirmeler.....	54
4.3.1.	Küçük narinlikli kolonlarda eksenel yerdeğiştirmeler.....	54
4.3.2.	Orta narinlikli kolonlarda eksenel yerdeğiştirmeler.....	55
4.3.3.	Büyük narinlikli kolonlarda eksenel yerdeğiştirmeler.....	55
4.4.	Kırılma Mekanizmaları.....	59
5.	SONUÇLAR.....	65
5.1.	Gelecek Araştırmalara İlişkin Öneriler.....	66
KAYNAKLAR		67
EKLER		72
ÖZGEÇMİŞ		82

NARİN BETON KOLONLARDA BOYUT ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Çağatay Mehmet BELGİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 1997

ÖZET

Bu çalışmada, donatısız beton kolonlarda boyut etkisi deney sonuçları verilmiştir. Deney elemanları üç grup da üç ayrı narinliğe sahiptirler. Deney numuneleri geometrik olarak benzer beton kolonlar olup (boyut değişim oranı 1:2:4) narinlikleri 13, 26 ve 39 dur. Beton kolonlar için kullanılabilecek boyut etkisini içeren formül önerilmeye çalışılmıştır.

Bilim Kodu :6240301

Anahtar Kelimer : Beton yapılar, gerilme, göçme, eksenel yükleme, kırılma mekaniği, boyut etkisi, beton deneyleri, narinlik.

Sayfa Adedi :81

Tez Yöneticisi : Prof.Dr.Sıddık Şener

SIZE EFFECT IN SLENDER CONCRETE COLUMNS**(M.Sc. Thesis)****Çağatay Mehmet Belgin****GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****December 1997****ABSTRACT**

In this study the size effect test results of plain concrete columns under the axial load were given. Experimental columns were of three groups and three slenderness. Test specimens were geometrically similar concrete columns (with dimensions having a 1:2:4 ratio) resulting in slenderness ratios of 13, 26 and 39. The size effect formula which is suitable for concrete columns was presented.

Science Code :6240301

Key Words :Concrete buildings, stress, failure, axial loading, fracture mechanics, size effect, concrete experiments, slenderness.

Page Numbers :81

Adviser : Prof.Dr.Siddık Şener.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yardımcı olan, çalışmayı yönlendiren, bütün aşamalarını inceleyen, her adımda bilgi ve deneyimlerine baş vurduğum sayın hocam Prof.Dr.Sıddık ŞENER'e teşekkür ederim.

Ayrıca deneylerimin yapılması aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Yusuf DEMİREL'e ve uzman Faruk OGÜN'e teşekkür ederim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 2.1.	Kolonların tasarım ve göçme yükleri.....	8
Çizelge 4.1.	Küçük narinlikli kolonların deney sonuçları.....	41
Çizelge 4.2.	Küçük narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları...	42
Çizelge 4.3.	Orta narinlikli kolonların deney sonuçları	43
Çizelge 4.4.	Orta narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları.....	44
Çizelge 4.5.	Büyük narinlikli kolonların deney sonuçları	45
Çizelge 4.6.	Büyük narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları ..	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Weibull zincir teorisi, Donnell paralel bağ teorisi	10
Şekil 2.2.	Boyut etkisi yasası	11
Şekil 2.3.	Gevrek, yarı gevrek, sünek malzemeler	13
Şekil 2.4.	Normal gerilmeye gevrek, kesme gerilmesinde sünek kırılma.....	14
Şekil 2.5.	Boyut etkisinin enerji ile açıklanması.....	15
Şekil 2.6.	Boyut etkisi ifadesinin grafik gösterimi.	19
Şekil 2.7	Farklı malzemelerin kırılma bölgeleri.....	22
Şekil 3.1.	Deney kolonları.	29
Şekil 3.2.	Deney düzeneği.	32
Şekil 3.3.	Kolon kalıpları.	34
Şekil 4.1.	Küçük narinlikli kolonlarda lineer regresyon, boyut etkisi.....	49
Şekil 4.2.	Orta narinlikli kolonlarda lineer regresyon, boyut etkisi	51
Şekil 4.3.	Büyük narinlikli kolonlarda lineer regresyon, boyut etkisi.....	53
Şekil 4.4.	Bütün kolonların boyut etkisi grafiği.....	54
Şekil 4.5.	Küçük narinlikli kolonların eksenel yerdeğiştirme grafikleri.....	56
Şekil 4.6.	Orta narinlikli kolonların eksenel yerdeğiştirme grafikleri.....	57
Şekil 4.7.	Büyük narinlikli kolonların eksenel yerdeğiştirme grafikleri.....	58
Şekil 4.8.	LC31-33, LC21-23, LC11-13 kolonlarının kırılma sonrası resimleri	60
Şekil 4.9.	MC31-33, MC21-23, MC11-13 kolonlarının kırılma sonrası resimleri	61
Şekil 4.10	Orta kesitli, büyük kesitli kolonların kırılma sonrası resimleri	62
Şekil 4.11.	Narinliği 13, 26, 39 olan kolonların kırılma sonrası resimleri	63
Şekil 4.12.	Farklı kesit ve uzunluktaki bütün kolonların kırılma sonrası resimleri	64
Şekil E1.	Küçük kesitli kısa kolonların yük-deplasman diyagramları	73
Şekil E2.	Orta kesitli kısa kolonların yük-deplasman diyagramları	74
Şekil E3.	Büyük kesitli kısa kolonların yük-deplasman diyagramları	75

Şekil E4.	Küçük kesitli orta kolonların yük-deplasman diyagramları	76
Şekil E5.	Orta kesitli orta kolonların yük-deplasman diyagramları	77
Şekil E6.	Büyük kesitli orta kolonların yük-deplasman diyagramları	78
Şekil E7.	Küçük kesitli uzun kolonların yük-deplasman diyagramları	79
Şekil E8.	Orta kesitli uzun kolonların yük-deplasman diyagramları	80
Şekil E9.	Büyük kesitli uzun kolonların yük-deplasman diyagramları	81

SİMGELERİN LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile aşağıda verilmiştir

Simgeler	Açıklama
A	Lineer Regresyon Doğrusunun Eğimi
a	Çatlak Uzunluğu
B	Malzeme Özelliğine Bağlı Sabit
b	Kolon Kesit Genişliği
C	Lineer Regresyon Doğrusunun Düşey Eksenini Kestiği Nokta
c_n	Uygunluk Katsayısı
C_o	Ampirik Sabit
D	Kolon Kesit Yüksekliği
d_a	En Büyük Agregat Boyutu
d_c	Donatı Merkezinden Kolon Dış Yüzüne Olan Uzaklık
D_o	Yapı Biçimine Bağlı Sabit Katsayı
E	Young Modülü
E_s	Çeliğin Elastik Modülü
f_c	Betonun Basınç Dayanımı
f_t	Betonun Çekme Dayanımı
f_y	Çelik Akma Gerilmesi
I	Eylemsizlik Momenti
i	Eylemsizlik Yarıçapı
L	Kolon Etkili Boyu
l_k	Burkulma Boyu
P	Kırılma Yüğü
P_{cr}	Kritik Yüğü
r	Korelasyon Katsayısı

V_{LC}	LC Grubu Numune Hacmi
V_{MC}	MC Grubu Numune Hacmi
V_S	Silindir Numune Hacmi
V_{SC}	SC Grubu Numune Hacmi
V_u	Taşıma Yükünde Nominal Gerilme
W	Enerji
ρ	Donatı Oranı
ϕ	Donatı Çapı
β	Gevreklik Sayısı
ε	Birim Şekil Değiştirme
λ	Narinlik
σ_N	Göçme gerilmesi

1.GİRİŞ

Beton, yarı gevrek bir malzeme olup davranışının plastik ya da elastik teoriye göre açıklanması doğru olmayıp, kırılma mekaniğine dayanmalıdır. Var olan yönetmeliğimiz TS500 [1] plastik limit analizine dayanmakta olup boyut etkisi içermez. Malzeme davranışı, gerilme ve uzama cinsinden tam olarak tanımlanamazlar. Malzemenin matematik modeli, kırılma enerjisi ve karakteristik uzunluk denilen değişken içermelidir. Bu tip malzeme deneylerinde boyut etkisi görüldüğünden matematik modelde boyut etkisi göstermelidir. Geometrik olarak benzer fakat boyut olarak farklı yapılar karşılaştırılırsa kırılma anındaki nominal gerilme σ_N ' in elemanın karakteristik boyutu D ile azaldığı gözlenir.

Son on yılda beton ya da betonarme konusunda yapılan deneysel araştırmalar, betonun kırılmaya yol açtığı tüm elemanların boyut etkisi göstermelerinin gerektiğini ortaya koymuştur. Bu sadece betonun çekme gerilmelerini taşıyamadığı için meydana gelen kırılmalar (çekme, eğilme, kesme) da değil betonun basınç gerilmelerini taşıyamadığı için meydana gelen kırılmalar için de geçerlidir [2]. Aynı durum öngerilmeli beton kiriş için de geçerlidir. Malzeme kırılma özellikleri, beton elemanlarda boyut etkisinin beklenmesi gerektiğini gösteren tek neden değildir. Son yıllardaki araştırmalara göre bir elemanın yük-yerdeğiştirme eğrisi, en büyük yük sonrası, eleman boyutu ile farklı yumuşama (artan yerdeğiştirmelerle yüklerin azalması) gösterir. Deneylerden de görüldüğü gibi betonarme elemanlarda hatta P- Δ etkisinin ihmal edilebileceği kısa kolonlarda da en büyük yük sonrası yumuşama görülmektedir.

Geçmişte betonarme elemanların davranışının anlaşılması için birçok çalışma yapılmıştır [3-6]. Ancak beton yapı elemanların tasarımında çekme, kesme, eğilme, burulma altında olduğu gibi kolonlarda da boyut etkisi ihmal edilmiştir. Yapı analizindeki boyut etkisinin, fizikte karşılığı olan ölçek yasasının anlaşılması ile birçok fiziki olayın doğru analiz edilmesi olasılığı artmıştır. Bu durum beton yapılar için de geçerlidir. Büyük ve küçük elemanlar arasındaki ölçek kanununun farklılığı görecelik ve kuantum mekaniği teorilerinin gelişmesinin sonucudur. Akışkanlar mekaniğindeki ölçek problemi sınır-tabaka ve türbülans kuramlarının daha gerçekçi bulunmasına yol açmıştır [7].

Yakın zamana kadar betonda boyut etkisine, olasılıksal davranışın bir sonucu olarak bakılırdı. Weibull tipi teorilerle, boyut etkisi açıklanır ve güvenlik katsayıları kullanılırdı. Gerçekte maksimum yüke ulaşılmadan önce büyük çatlak gelişimi olmaktadır. Beton dayanımı, boyut etkisini çok az değiştirmektedir [8-10]. Daha büyük yapı daha fazla şekil değiştirme enerjisi tutabilir -birim alanda çatlak gelişimi için enerji tüketimi yapı boyutuna bağlı olmaksızın aynıdır- ve gelişen bir çatlakın önünde daha fazla enerji çıkar.

Boyut Etkisi İçermeyen Mukavemet Örnekleri:

Boyut etkisi içermeyen mukavemet veya elastisite kuramında göçme gerilmesi şu şekildedir. $\sigma_N = P / bD$, geometrik olarak benzer kolonlar değişik D değerlerinde sabittir. P = maksimum yük, b,D = kesitin kenar uzunluklarıdır.

Bir örnek olarak Homojen, donatısız, narin, eksenel yüklü ve elastik malzemeden yapılmış bir kolon için Euler'in kritik burkulma yükü şu biçimdedir:

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E I / A L^2 \quad (1.1)$$

E = Young Modülü, I = Eylemsizlik Momenti, L = Kolon Etkili Boyu

Burada L/I ve L/D geometrik olarak benzer kolonlarda sabit olacağından σ_{cr} de sabittir.

Bir başka örnek olarak homojen, iki ucu mafsallı, sinüsoidal başlangıç kusur eğrisine ve “e” eksantrisitesine sahip bir kolon düşünelim. Eğilme teorisinden, kolondaki maksimum gerilme $\sigma_{NM} = \sigma_N + 6P.z / b.D^2$ dir. Burada $z = e / (1 - (P/P_{cr}))$ ve $P_{cr} = \pi^2 E.b.D^3 / 12L^2 =$ Euler yüküdür.

Sonuç olarak

$$\sigma_{NM} = \frac{P}{b.D} \left(1 + \frac{6e}{D \left(1 - \left(\frac{12}{\pi^2 E} \right) \left(\frac{L^2}{D^2} \right) \left(\frac{P}{b.D} \right) \right)} \right) \quad \text{olur} \quad (1.2)$$

σ_{NM} alıp P yi çözersek yine geometrik olarak benzer kolonlarda, eleman boyutu D'den bağımsız olarak σ_{NM} nin boyut etkisi içermediğini görürüz.

Bu iki örnekten de görüleceği gibi klasik teoride boyut etkisi gözönüne alınmamaktadır. Bu nedenle klasik teorinin geçerli olmadığını kontrol etmenin en iyi yolu boyut etkisi deneylerinin yapılmasıdır.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Eksenel yük altında, farklı boyutlu beton kolonlarda, göçme yükleri deneysel olarak bulunmuştur. Beton kolonların boyut etkisi deneylerinde mikrobeton kullanılmıştır. Kolonların en büyük agrega boyutu 4.76 mm dir. Deney elemanları üç ayrı narinliğe ve üç ayrı kesit boyutuna sahip 27 adet kolondan oluşmaktadır. Bütün elemanlarda boyut ve donatı çapları kesit kenar uzunlukları ile orantılı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada, eksenel yüklü narin beton kolonlarda boyut etkisinin varlığı, Bazant'ın önerdiği boyut etkisi formülünün deney sonuçlarımıza uygunluğu incelenmiştir.

2.1 Bu Konudaki Araştırmalar

Betonun kırılma mekaniğinin önemli bir uygulaması olan boyut etkisi günümüzde dünyada birçok araştırmacı tarafından deneysel ve analitik çalışmalarla zenginleştirilmektedir. Boyut etkisi üzerinde özellikle Amerika'da Northwestern Üniversitesi'nde Prof.Bazant yoğun araştırmalar yapmaktadır. Avrupa'da ise İngiltere'de Prof.Barr, İtalya'da Prof.Carpinteri, Almanya'da Prof.Reinhard, İsviçre'de Prof.Wittmann çalışmaktadır. Japonya'da ise Prof.Mihashi uluslararası çalışmalar yapmaktadır. Konunun önemi dolayısı ile 1995'de ilki düzenlenen I.Boyut Etkisi Konferansı'nın ikincisi ise 1997'de yine Japonya'da yapılmıştır.

Bugüne kadar yapılmış boyut etkisi çalışmaları şöyle özetlenebilir: Öngerilmeli beton kirişlerin kesme göçmesinde boyut etkisi [11], betonarme kirişlerin kesme göçmesinde boyut etkisi [12], agrega boyutunun değişimi ile boyut etkisinin incelenmesi [13], diyagonal kesme göçmesinde boyut etkisi

[14], donatısız boruların kiriş ve çembersel göçmesi [15], kirişlerin burulma göçmesinde boyut etkisinin analitik incelenmesi [16], döşemelerin deneysel zımbalama göçmesi [17], boyuna donatılı ve donatısız kirişlerin deneysel olarak burulma göçmesi [18, 19], çekip çıkarma deneylerinde boyut etkisi [20-22], etriyesiz betonarme kirişlerin diyagonal kesme göçmesi [23], Brezilya yarma deneylerinde boyut etkisi [24], yüksek mukavemetli, çentikli beton kirişlerde boyut etkisi [25], beton silindirlerin çift zımbalama deneylerinde boyut etkisi [26], betonarme kolonların dışmerkez yüklenmesinde boyut etkisi [2], boyut etkisi üzerine yapılmış analitik ve deneysel çalışmalardır. Kırılma mekaniğinin betonarme yapı tasarımında kullanımı yaygınlaşmaktadır [27].

Bu konudaki çalışmalara paralel Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde deneysel ve analitik çalışmalar yapılmaktadır. Bu konudaki çalışmalarından bazıları; Direkt çekme altında aderans ekinde boyut etkisinin araştırılması [28-29], Aderans ekinde dolaylı yükleme altında boyut etkisinin araştırılması [30, 31], Sargılı donatıların aderans ekinde boyut etkisi [32], Dolaylı yükleme altında aderans ekinde sargılı ve sargısız 2 ve 3 boyutlu elemanlarda boyut etkisinin araştırılması [33, 34], Direkt ve indirekt yüklemelerde sabit moment ve kesme bölgelerinde aderans eki deneyleri (spiralli ve spiralsiz) [35-37], Burulma altında betonarme kirişlerde boyut etkisinin araştırılması [38, 39], Yüksek dayanımlı silindirlerde boyut etkisi [40, 41], Eksenel yüklü betonarme kolonlarda boyut etkisi [42], Eksenel yüklü beton kolonlarda boyut etkisi [43] dür. Kolon deneylerinde, Soutwell-plot yardımı ile kolon kusurlarının bulunmasına ait ön çalışmalar başlatılmıştır [44]

2.2. Narinlik

Şekil değiştirmiş sistem üzerinde hesaplanan iç kuvvetlerle, şekil değiştirmemiş sistem arasındaki fark “İkinci Mertebe Etkiler” olarak adlandırılır. Narinlik de kolonda ikinci mertebe etkilerin meydana gelmesinde etkilidir. Narinlik, kolonun düğüm noktasında bağlandığı diğer kolon ve giriş gibi taşıyıcı elemanların rijitliğine bağlı olduğu gibi, tüm taşıyıcı, sistemin özelliğine de bağlıdır. Eğer taşıyıcı sistemin yanal yer değiştirmesi yeterli rijitlikteki perdelerin düzenlenmesi ile veya diğer tedbirlerle önlenmiş veya sınırlandırılmışsa, kolon narinlik etkisiyle taşıma gücüne tek başına erişebilir. Ancak taşıyıcı sistemde, yatay yerdeğiştirme önlenmemişse bir kattaki tüm kolonların narinliği taşıma gücüne erişmede birbirine etkili olurlar. Narinlik, l_k / i olarak hesaplanmıştır [45]. Burada l_k = burkulma boyu, i = eylemsizlik yarıçapıdır.

2.3. Eksenel Yükleme

Numuneler donatısız beton elemandan imal edildikleri için gerilmeler sadece beton tarafından taşınmaktadır. Elemanın taşıma gücüne erişmesi için betonun sınır dayanım değerine ulaşması yeterlidir. Bu nedenle deneylerde kırılmalar sünek değil gevrek olmuştur. Numuneler taşıma gücüne ulaştıktan çok kısa bir süre sonra göçmüştür.

İki ucu mafsallı kolon deney düzeneğinde, kolon uçlarında çelik bilya kullanılarak yükleme yapılmıştır. Malzemenin iç yapısından kaynaklanan, gelişi güzel dağılmış olan çatlaklar, yükleme arttıkça birbirleri ile birleşip daha büyük çatlakları oluşturur. Bu çatlaklar daha sonra elemanın bir yüzüne doğru diğer yüzlerine göre daha fazla yayılır. Bu anda elemanda bir yöne doğru eğilme başlar. Bundan sonra bu çatlaklar yoğunlaşıp lokalize olduktan sonra

tek bir çatlağa dönüşerek elemanı göçmeye götürür. Elemanlar yatay döküldükleri için üst yüzeylerde yerleşimin daha az olması ve daha çok boşluk bulunma olasılığı ile bu yüzeyin daha fazla yerdeğiştirme yapması beklenir. Ancak deney sonuçlarında böyle belirgin bir ilişki görülmemiştir.

Eksenel yüklü elemanda taşıma gücü hesaplanırken beton gerilmesinin %85'i dikkate alınır. Bunun nedeni, silindir numunesinde beton sıkışmasının gerçek yapıya göre daha fazla olabileceği ve gerçek elemanda silindir numuneye göre daha düşük basınç gerilmesi bulunabileceğidir. Yaptığımız hesaplamalarda önerilen $P = 0.85 f_c A_c$ formülünü kullandığımızda bulunan kırılma yükleri ve deney sonuçları Çizelge 2.1 de verilmiştir. Analitik hesaplarla deney sonuçlarının sapma miktarı %0 ile %96 arasında değişmektedir.

2.4. Niçin Boyut Etkisi

Kırılma mekaniğinin homojen gevrek malzemelere uygulanması (cam) bu yüzyılın başlarında 1913'de Ingils, ile başlamış sonra 1921'de Griffith ile devam etmiştir. Betona uygulanması ise çok sonraları 1960'da Prof.Kaplan (Cape Town) [46], tarafından ilk kez başlatılmıştır. Kırılma mekaniğinin betona uygulanmasında en önemli gerekçelerinden biri de geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanlarda göçmedeki gerilmenin boyut arttıkça azalmasıdır. Boyut etkisi üzerindeki çalışmaların yoğunluğu, günümüzde artıp, yayılmaktadır. Araştırma sonuçlarındaki değişimden ötürü bir kaç yıl önceki sonuçlar dahi hızla eskiyip kullanılamaz olmaktadır.

Çizelge 2.1. Kolonların Tasarım ve Göçme Yükleri

Elemanlar	$P = 0.85 f_c A_c$ (kN)	Kırılma Yüğü (kN)	P_{deney} / P_{hesap} (%)
SC11	6.460	11.02	0.71
SC12	6.460	9.11	0.41
SC13	6.460	12.32	0.91
SC21	6.460	8.07	0.25
SC22	6.460	8.59	0.33
SC23	6.460	7.89	0.22
SC31	6.460	9.98	0.54
SC32	6.460	5.64	-0.13
SC33	6.460	12.66	0.96
MC11	25.840	17.26	-0.33
MC12	25.840	25.84	0
MC13	25.840	-	-
MC21	25.840	22.21	-0.14
MC22	25.840	24.23	-0.06
MC23	25.840	20.99	-0.19
MC31	25.840	30.88	0.20
MC32	25.840	18.99	-0.27
MC33	25.840	29.49	0.10
LC11	103.360	129.94	0.26
LC12	103.360	116.49	0.13
LC13	103.360	101.92	-0.01
LC21	103.360	108.60	0.05
LC22	103.360	120.39	0.16
LC23	103.360	124.47	0.20
LC31	103.360	99.50	-0.04
LC32	103.360	120.05	0.16
LC33	103.360	107.73	0.04

Boyut etkisi kullanımı için birçok gerekçe vardır. Bunları aşağıda özetleyebiliriz

- a) Diğer mukavemete dayanan göçme teorileri (elastisite-plastisite) göçmede enerji kullanmazken, boyut etkisi enerji prensibi kullanır ve çatlak gelişmesi, yayılması için ise enerji gereklidir.
- b) Farklı boyutlu yapıların en büyük yük sonrası davranışlarını (süneklik) mukavemet kriterleri göz önüne almaz iken, boyut etkisi bu farklılığı göz önüne alır.
- c) Farklı boyutlu geometrik olarak benzer elemanlarda göçme yüklerine karşı gelen nominal gerilme, mukavemet kriterlerine göre değişmez, sabit kalırken, gerçek davranış boyut etkisi içeren lineer olmayan kırılma mekaniği ile temsil edildiğinde artan boyutla gerilmelerin azaldığı görülür.
- d) Farklı kalınlıklardan (boyut etkisi) ötürü sonuçlar da farklı olabilir. Ancak iki boyutlu elemanlar (kalınlık sabit) test edilirse sonuçlar etkilenmez.
- e) Çeper etkisi ile iri malzeme, çeperlerden uzağa kaçar ve ince taneli malzemeler yüzeye (çepere) toplanır. İri malzemelerin elemanda uniform dağılımı sonuçları etkileyen bir başka boyut etkisidir.

2.4.1 Boyut etkisi

Boyut etkisi uygulamada bir çok şekilde görülür

- 1- Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların maksimum yüklerinde boyut etkisi görülür
- 2- Olasılıksal Boyut Etkisi: Weibull'un 1938'de önerdiği teoridir. Bu teoriye göre zincirin boyu arttıkça zincirde zayıf halka olma olasılığı artar. Zincir uzadıkça zincirin kopma mukavemeti azalacaktır (Şekil 2.1.a). Bu teoride yapı birbirine bağlı halkalar dolayısı ile seri bağlı düşünülmektedir. Bir başka teoriye göre ise (Donell Model 1950) yapı paralel bağlı düşünülmektedir (Şekil 2.1.b).



Şekil 2.1. a) Weibull zincir teorisi, b) Donell paralel bağ teorisi

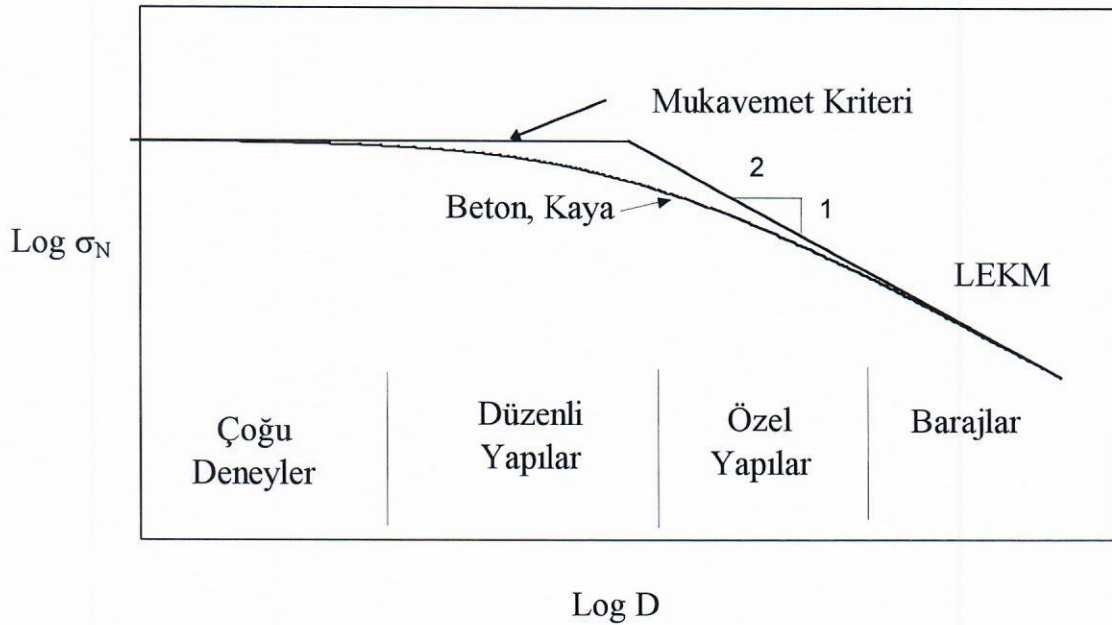
Ancak gerçek yapı davranışı karmaşık (paralel + seri) bağlı bir davranış sergilemektedir. Weibull teorisinin (seri bağlı) beton yapılara uygulanması kabul edilemez.

3- En büyük yük sonrası yerdeğiştirmelerde boyut etkisi görülür.

Boyut etkisi iki farklı biçimde karşımıza çıkar. Birincisinde sonlu eleman analizinde farklı boyut kullanımı sonucu bulunan farklılıklardır. İkinci tip boyut etkisi ise yapısal boyut etkisi olup bu çalışmada incelenmiştir. Boyut etkisi, farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapıların (P) göçme yüklerini (maksimum yük) karşılaştırarak tanımlanır. Burada σ_N , nominal (göçme) gerilme cinsinden belirtilmiştir. İki boyutlu benzerlik için (levha gibi) $\sigma_N = c_n \cdot P/b \cdot D$ ve üç boyutlu benzerlik için (silindir gibi) $\sigma_N = c_n \cdot P/D^2$ dir. Burada: b = iki boyutlu yapının kalınlığı, D = Yapının herhangi boyutu olarak tanımlanan karakteristik boyuttur. Sadece σ_N 'in bağıl değeri gerektiğinden D boyutu, kolonun yüksekliği, kesit kenar uzunluğu olabilir. c_n = Uygunluk için kullanılan boyutsuz katsayıdır.

Beton yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) ile boyut etkisinin olmadığı dayanım, elastik teori ya da taşıma gücü kriteri arasındadır.

Plastik limit analizinde (taşıma gücü) ya da elastik analizde (emniyet gerilmeleri yöntemi), gerilmeler cinsinden kullanılan herhangi bir teoriye göre σ_N göçme gerilmesi, yapı boyutundan bağımsızdır. Dolayısı ile eğilme, kesme ya da burulma elastik ya da plastik teoriye dayanan formüller ile verilmiştir. Betonda göçme, tek bir noktada başlayıp çatlak önünde sonlu bölgede kırılma bölgesi oluşur. Bu da göçmenin yayılarak olduğunu gösterir. Doğrusal elastik kırılma mekaniği'nde (LEKM) göçme ise çatlak tepesindeki küçük noktada olunca eleman göçer kabulü yapılmıştır. Elemanın diğer kısımlarının ise elastik kaldığı kabul edilmektedir.



Şekil 2.2. Boyut Etkisi Yasası

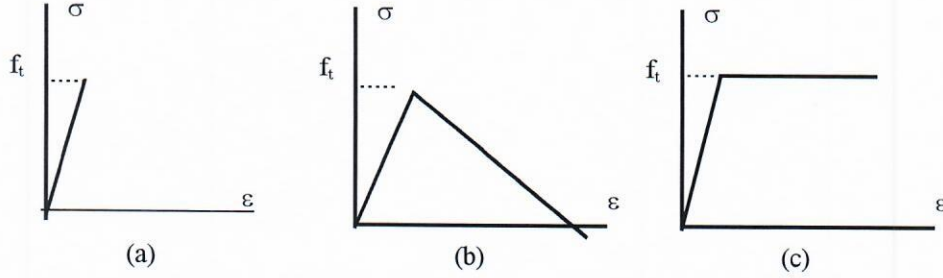
Boyut etkisi, tasarımcılar tarafından gözönünde alınmadığından kırılma mekanikçiler için çok şikayet konusudur. Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların göçme yüklerinden elde edilen σ_N değerleri aynı ise boyut etkisi yoktur denir. σ_N 'in yapı boyutuna bağımlılığı boyut etkisini gösterir.

Elastik analiz (Emniyet Gerilmeleri Yöntemi) ile plastik limit analize (taşıma gücü) dayanan göçme kriterleri yapı boyutundan bağımsız olduğundan boyut etkisi içermezler. Eğer $\log \sigma_N$ 'in $\log D$ 'ye göre değişimi çizilirse elastik ya da plastik göçme kriterleri yatay çizgiyle verilir (Şekil 2.2'deki yatay çizgi). Bu yüzden elastik ya da plastik göçme kriterleri boyut etkisi göstermez. Lineer elastik kırılma mekaniği Şekil 2.2'de gösterildiği gibi $-1/2$ eğimli çizgi ise oldukça kuvvetli boyut etkisini gösterir. Gerçekte beton yapılar Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, dayanım kriteri ile lineer elastik kırılma mekaniği arasındadır. Eğer yapı çok küçükse deney sonuçları yatay doğruya yaklaşır (dayanım kriteri). Eğer yapı çok büyük ise eğimli doğruya yaklaşır (lineer elastik kırılma mekaniği).

Beton yapıların göçmesi, en büyük yüke ulaşmadan önce büyük çatlakların ve çatlama bölgesinin gelişmesi ile olur. Temel kırılma mekaniği teorileri bu yüzyılın ortasında elde edildiği halde henüz tasarım, kırılma mekaniğe dayanmamaktadır. Bunun nedeni kırılma mekaniği son zamanlarda elde edilmiş olup, sadece cam gibi homojen gevrek (Şekil 2.3a) ya da beton, kaya, deniz buzu gibi yarı gevrek (Şekil 2.3b) malzemeye uygulanmasıdır. Kırılma teorilerinin betona uygulaması ilk olarak Kaplan [46] tarafından düşünülmüş fakat başarılı olmamıştır. Beton yapılarda, kırılma sırasındaki çatlak önündeki agreganın ve boşlukların sağladığı gerilme köprüsü ile çatlakların dağılımı sonucu yumuşama gözönüne alınmalıdır.

Betona uygulanan kırılma mekaniği biçimi son on yılda çok gelişmiştir. Beton yapı tasarımı iki devrim görmüştür. İlki beton yapıyı elastik ve betonun çekme almadığı varsayımına dayanan Emniyet Gerilmeleri Yöntemi 1900-1930'larda kullanılmıştır. İkinci devrim 1930'daki önceki teoriye dayanmakta olup, plastik

limit analizin 1940-1970’li yıllarda kullanılması sonucu ortaya çıkan Taşıma Gücüdür. Kırılma mekaniğinin beton yapıların tasarımında kullanılmasına,



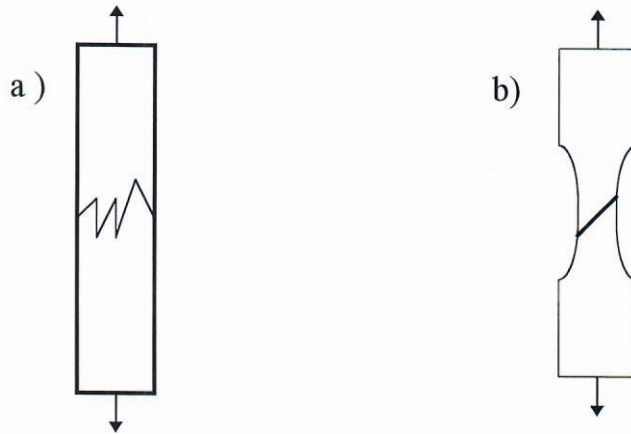
Şekil 2.3.a) Gevrek, b) Yarı Gevrek c) Sünek Malzemeler

üçüncü devrim olarak bakılmaktadır. Kırılma mekaniğinin beton tasarımında kullanılması önemli yararlar sağlayacaktır. Öyle ki farklı boyutlu yapılar için aynı güvenliğe ulaşmak olası olacaktır. Böylece yapısal güvenlik ve ekonomi arttırılır. Bununla yeni beton malzemesi ve yeni tasarımların kullanılması olası olacaktır. Özellikle yüksek dayanımlı betonlar, lifli beton yapılar, çok büyük boyutlu beton yapılar, öngerilmeli yapılar, beton barajlar, nükleer reaktör hücreleri gibi güvenliğin çok yüksek olduğu ve hasarları büyük felaketlere neden olabilecek yapılar için kırılma mekaniğine göre tasarım çok önemlidir. Hawkins [27] betonarme yapı tasarım hesabında kırılma mekaniği kullanmadığı için 1984 yılına kadar Amerikan betonarme yapım yönetmeliğinin (ACI 318) 29 kez düzeltildiğini ya da değiştirildiğini belirtmiştir.

Boyut etkisinin dayandığı kırılma mekaniği yapıda göçmenin yayılmasını gözönüne alan mukavemete dayanan enerji kriteri kullanan, göçme teorisi olarak tanımlanabilir.

2.5. Gevrek ve Sünek Kırılma Tanımları

Çatlak tepesinde gerilmenin yığılması sonucu gerilme kritik değere ulaşınca (malzeme çekme dayanımına erişince) çatlak ilerlemeye başlar. Kırılma, gerekli enerji miktarına göre sınıflandırılabilir. Gevrek kırılma için az enerji gerekirken, sünek kırılma da ise fazla enerji gerekir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. a) Normal Gerilmede Gevrek b) Kesme Gerilmesinde Sünek Kırılma

Gevrek kırılmada kırılan parçalar genelde orijinal boyutlarındadır. Kalıcı deformasyon yoktur ve davranış elastiktir. Kırılan parçalar tekrar birleştirilirse hiç kırılmamış gibi parçalar birleşebilir. Sünek kırılmada ise, kırılmadan önce geriye dönmeyen büyük plastik deformasyonlar (akma platosu) oluşur ve parçaların tekrar uyumu imkansızdır.

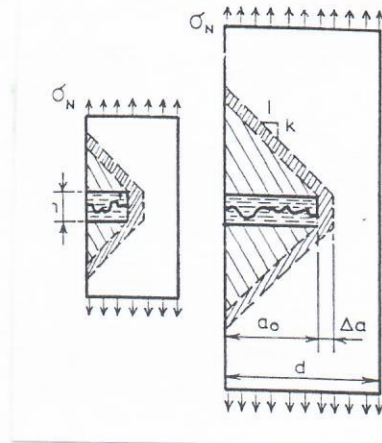
Yüksek sıcaklık ve düşük uzama hızlarında metallerde sünek davranış hakim iken, yüksek uzama hızlarında ve düşük sıcaklıklarda aynı malzemede gevreklik hakim olur. Gevrek malzeme göçmesi ani, habersiz, sesli, az enerji yutulması ile mikroskopik ölçekte göçmede aderans kopması gözlenir. Sünek kırılmada aksine kırılma yavaş, büyük enerji yutulması ile, mikroskopik

ölçekte düzlemler üzerinde kayarak sıcaklığının artması ve büyük deformasyonlar gözlenir.

2.6. Boyut Etkisinin Enerji İle Açıklanması

Kırılma mekaniğinin enerji açığa çıkması yüzünden, boyut etkisiyle olan ilişkisi Şekil 2.5’de gösterilen üniform gerilmeli panel düşünülerek açıklanabilir. Şekil 2.5’de sol kenardaki küçük bölgenin dayanımının levhanın diğer kısmından daha az olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla çatlak bandının oluşumu soldan sağa doğru olacaktır.

Beton gibi gevrek heterojen malzeme için çatlak önünde dağılı çatlakların gözönüne alınması önemlidir. Bu bölgenin boyutu yapı boyutu ile orantılı değil, maximum agrega boyutu ile ilişkilidir. En basit yaklaşımla, kırılma önündeki çatlak bandının h_0 genişliği, yapı boyutundan bağımsız ve yaklaşık sabit varsayılmıştır (Aynı betondan yapılmış benzer yapılar karşılaştırıldığı zaman). Benzer olarak maximum yükde a_0 çatlak uzunluğu, yapı boyutu D ile orantılıdır (a / D). (Eleman analizlerinde ve betonarme yapıların gevrek göçme deneylerinin çoğunda görülmüştür).



Şekil 2.5. Boyut Etkisinin Enerji ile Açıklaması

h_0 genişliği, a_0 uzunluklu çatlak bandı ile kırılmanın oluşumu Şekil 2.5'deki taralı alandan $\sigma_N^2 / 2E$ uzama enerjisinin açığa çıkması ile düşünülebilir (E =betonun Young modülü). a_0 uzunluklu çatlak Δa uzarsa, ek uzama enerjisi Δa yatay genişlikli sık taralı şeritten çatlak önünde açığa çıkar. Büyük yapılarda bu taralı alan şeridi daha büyüktür. $\Delta A = h_0 \Delta a + 2ka \Delta a$, k = Şekil 2.5'te eğim olup yapı biçimine bağlı amprik sabittir (boyut etkisinde önemli olmayan k değeri, sonlu eleman analizlerinde ve deney sonuçlarından $\pi / 2$ bulunmuştur).

W , yapıda depolanan potansiyel enerji; b , kalınlık; G_f , kırılma enerjisidir. (boyut J/m^2). Çatlak bandının birim uzunluğu veya çatlak oluşturan gerekli enerji, büyük yapılarda Δa çatlak uzaması sonucu, aynı σ_N için daha fazla enerji açığa çıkar. Kırılma düzleminin birim alanında kırılma ile kaybolan enerji yaklaşık sabit olduğundan (malzeme özelliği olan G_f kırılma enerjisine eşittir) büyük yapı için σ_N değeri, hacmin aynı kalacağı daha büyük bölgede açığa çıkan toplam enerjiden az olmalıdır. Büyük yapılarda birim çatlak gelişmesi için daha büyük enerji için gerektiğinden σ_N küçülecektir. Dolayısıyla σ_N yapı boyutundan etkilendiğinden boyut etkisinin varlığı görülmektedir.

Dış yüklemeler sonucunda levhadaki taralı şeritten açığa çıkan enerji (Şek.2.5);

$$\Delta W = b(h_0 \Delta a + 2ka \Delta a) \sigma_N^2 / 2E \quad (2.1)$$

Levhada yutulan enerji,

$$\Delta W = G_f b \Delta a \quad (2.2)$$

Dış etkiler (2.1) ile levhanın yuttuğu enerji (2.2) eşitliğinden,

$$\sigma_N^2 [h_0 + 2k(a/D)D] = 2EG_f \quad (2.3)$$

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f}{h_0 + 2k(a/D)D} \right|^{1/2} \quad (2.4)$$

$$Do = \frac{h_0 D}{2ka} \text{ ile gösterirsek} \quad (2.5)$$

pay ve payda f_t ile çarpıldığında,

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f}{h_0(1 + D/Do)} \right|^{1/2} \frac{f_t}{f_t} \quad (2.6)$$

elde edilir. Sonuçta;

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f f_t^2}{h_0 f_t^2 (1 + D/Do)} \right|^{1/2} \quad (2.7)$$

Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasası [8] elde edilir.

$$\sigma_N = B f_t (1 + \beta)^{-1/2}, \quad B = (2EG_f / h_0 f_t^2)^{1/2}, \quad \beta = D/Do \quad (2.8)$$

B, malzeme dayanımına; Do , yapı biçimine bağlı boyutsuz sabitlerdir f_t , betonun çekme dayanımı; B'yi boyutsuz yapabilmek için kullanılmıştır. Daha genel boyut etkisi yasası $\sigma_N = B f_t (1 + \beta^r)^{-1/2r}$, r = geometriye bağlıdır. Bütün geometri ve malzemeler için $r \cong 1$ bulunduğundan bu çalışmada 2.8 denklemi kullanılmıştır.

Denklem 2.8 yaklaşık bir ifadedir, fakat boyut değişiminin 1:20'ye kadar aralığı için yeterlidir. Daha büyük boyut değişimi için karmaşık formüller gereklidir. 2.8 denkleminin elde edilmesinde aşağıdaki varsayımlardan yararlanılmıştır.

1. Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji çatlak uzunluğuna bağlıdır.
2. Açığa çıkan enerji aynı zamanda en büyük agrega boyutu d_a 'nın bir kaç katı olan çatlak bandının genişliğine bağlıdır (deneyler ile kayada $5d_a$, betonda $3d_a$ bulunmuştur).
3. Farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapılarda oluşan kırılma yüzeyleri de geometrik olarak benzerdir.
4. Yapı göçmesi çatlak başlangıcı ile değil, çatlamış bölgenin tüm yapıyı kaplaması ile olur.

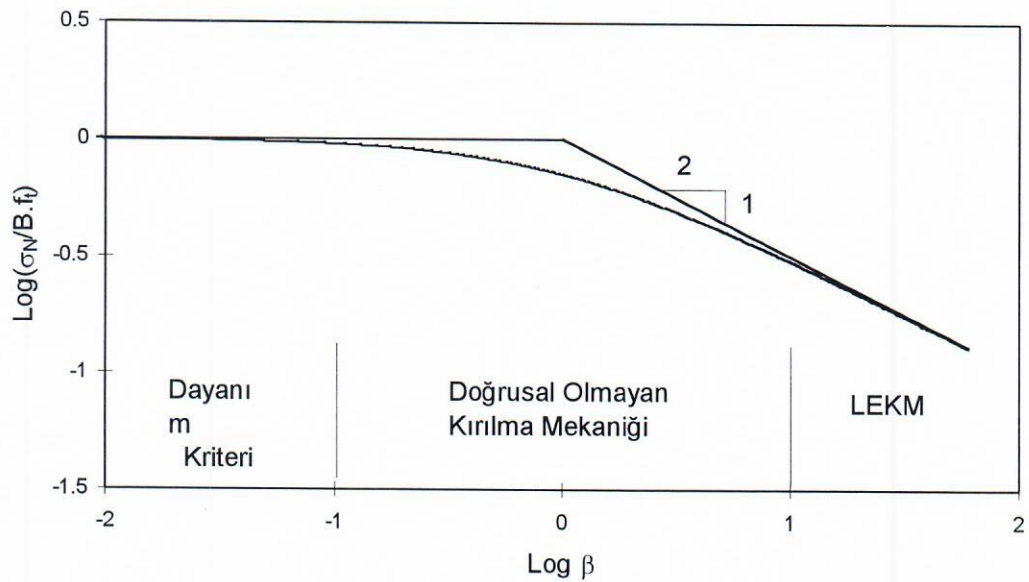
Bazant'ın önerdiği ve boyut etkisi ifadesinde (Denk. 2.8) yapı çok küçük $D \ll D_0$ ise $\beta = d/D_0$ değeri birin yanında küçük olduğundan ihmal edilebilir. $\sigma_N = B.f_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analizi ya da emniyet gerilmeleri yöntemi ile temsil edilmektedir. Eğer yapı çok büyük ise ($D \gg D_0$) bir değeri β değeri yanında çok küçüktür, $\sigma_N = B.f_t \beta^{-1/2}$ olur. Yani göçme gerilmesi doğrusal elastik kırılma mekaniği ile temsil edilmektedir ya da her iki tarafın Logaritması alındığında $\log \sigma_N = -1/2 \log \beta + \text{sabit}$, Şekil 2.1'de logaritmik eksen takımında, eğimi -1/2 olan doğru ile gösterilmektedir (Şekil 2.6).

Asimtotun kesim noktası, plastik analiz ve LEKM teorileri eşitlenerek,

$$B.f_t = B.f_t \beta^{-1/2} \quad (2.9)$$

$\beta^{-1/2} = 1$, buradan $\beta = 1, D = D_0$ bulunur.

β gevreklik sayısıdır [47]. Buradaki gevreklik Gustafsson ve Hillerborg [48] ile Carpinteri [49] gevreklik sayısı (yapı boyutunun çatlak tepesinde oluşan plastik bölge çapına oranı) tanımlarından farklıdır. 2.8 denklemi sadece aynı betondan yapılmış ve aynı en büyük agrega boyutu içeren yapılarda uygulanabilir. Agreganın küçük farklılıklar göstermesi durumunda bu yasa yaklaşık olarak uygulanabilir. Agreganın büyük farklılık göstermesi durumunda 2.8 denkleminde düzeltme terimleri kullanılmalıdır [13].



Şekil 2.6. Boyut Etkisi İfadesinin Grafik Gösterimi

$\text{Log } \beta \gg 1$ ise lineer elastik kırılma mekaniği uygulanır.

$\text{Log } \beta \ll 1$ ise plastik limit analizi uygulanır.

Uygulamada; (Bkz.Şekil 2.6)

$\beta < 0.1$ ise plastik limit analiz

$0.1 < \beta < 10$ ise lineer olmayan kırılma mekaniği

$\beta > 10$ ise lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) geçerlidir.

$\beta < 0.1$ için Şekil 2.6'daki yatay asimtot lineer olmayan eğriden %4.7 oranında sapar. $\beta > 10$ için eğimli asimtot (LEKM) lineer olmayan eğriden %4.7 oranla sapar. Eğer sapmaların %2'den az olması istenirse lineer olmayan bölge için β 'nın değişim aralığı $1/25 \leq \beta < 25$ arasında olmalıdır. $\beta \ll 1$ ya da $\beta \gg 1$ lineer olmayan kırılma mekaniği gereksizdir.

2.7. Göçme Yükleri

Beton çekme dayanımı genelde,

$$f_t = 0.35 \sqrt{f_c} \quad (2.10)$$

alınabilir.

f_c = Beton basınç dayanımıdır. Boyut etkisi denkleminin üstünlüğü lineer regrasyon için düzenlenebilir olmasıdır. Bu düzenlemeler yapılırsa deney sonuçları

$$Y = AX + C \quad (2.11)$$

biçimde bir doğru ile temsil edilebilir. Boyut etkisi denklemi (Denk.2.8) düzenlenirse:

$$(\sqrt{1 + \beta}) / B = f_t / \sigma_N \quad (2.12)$$

her iki tarafın karesi alınırsa,

$$(f_t / \sigma_N)^2 = 1/B^2 (1 + D/D_0) \quad (2.13)$$

Parantez açılarak,

$$(f_t/\sigma_N)^2 = 1/B^2 + 1/B^2 \cdot D/D_0 \quad (2.14)$$

(2.14) denklemi $Y=AX+C$ şeklinde temsil edilebilir.

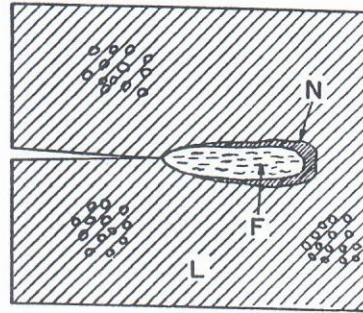
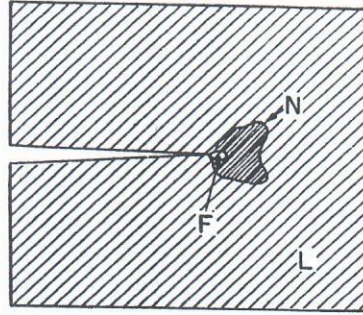
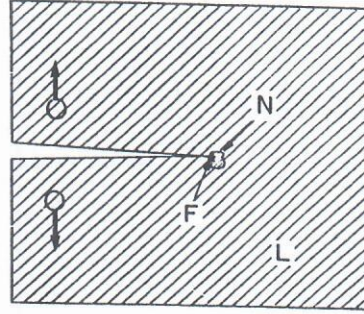
$$Y = (f_t / \sigma_N)^2, C = 1 / B^2, X = D \text{ veya } D, A = C / D_0 \quad (2.15)$$

Bu dönüşüm ile X, Y eksen takımında doğru denklemi elde edilir. Gerçekte sonuçlar dağılım göstereceğinden lineer korelasyon ile A doğru eğimi, C doğrusunun Y eksenini kestiği nokta bulunur. Bunlardan yararlanarak (2.8) denklemi için gerekli olacak B ve D_0 sabitleri bulunarak boyut etkisi yasası elde edilmiş olur.

2.8. Kırılma Bölgesi

Farklı malzemelerde çatlak tepesinde de farklı bölgeler oluşmaktadır. Şekil 2.2' de verildiği gibi betonda boyut etkisinin en büyük gerekçelerinden biri kırılma bölgesinin (F) büyüklüğüdür.

Genelde iki tip lineer olmayan kırılma mekaniği vardır; 1) Sünek (metaller) 2) Sünek olmayan (beton, seramik). Şekil 2.7 lineer elastik kırılma mekaniğinde (cam) (Şek. 2.7.a) lineer olmayan bölge çok küçük olup, tüm yapı hemen hemen elastiktir. Sünek kırılmada (Şek. 2.7. b,c), lineer olmayan bölgenin çoğu plastiktir, ve kırılma bölgesi (F), lineer olmayan kısmın (N), küçük bir kısmıdır. Sünek olmayan betonun kırılmasının (Şek. 2.7.c) aksine, kırılma bölgesi (F), büyük olup lineer olmayan bölgenin (N), hemen hemen tamamını kapsar [50].



Şekil 2.7. Farklı Malzemelerin Kırılma Bölgeleri

a) Cam b) Metal c) Beton

2.9. Boyut Etkisi ve Yapıların Gevrekliği

Boyut etkisi kırılma mekaniği teorisinin çok önemli bir sonucudur. Bu yüzden kırılma özelliklerini buradan bulmak uygundur. Yapı tasarımı için boyut etkisi laboratuvar boyutundan gerçek boyuta geçmek için gereklidir. Maksimum nominal gerilmede boyut etkisi bölüm 2.6'da açıklanmıştır.

2.9.1. Gevreklik sayısı

Denklem 2.8 boyut etkisi yasasını malzeme kırılma parametreleri G_f ve f_t cinsinden verir. Bu gerçek Bazant tarafından belirtilmiş ve β gevreklik sayısı olarak isimlendirilmiş olup yapının biçiminden bağımsızdır. 2.8 Denklemine göre gevreklik sayısı, $\beta = D / D_0$ dır.

Yapının gevrekliğinin diğer tanımları daha önce verilmiştir. Irwin'le (1958) başlayarak, araştırmacılar metallerde yapısal gevrekliği yapı boyutunun, Irwin'in lineer olmayan bölge boyutuna oranı olarak biliyorlardı. Bu tanım beton yapılar için Hillerborg ile D / l_0 oranı ile tanımlanan yapısal gevreklik önerilmiştir. $l_0 = EG_f / f_t^2$ (l_0 = karakteristik uzunluk). Bu yüzden l_0 karakteristik kırılma bölgesi olarak isimlendirilir. Carpinteri gevreklik sayısını $s = G_f / f_t D$ olarak göstermiştir. Benzer tanımlar seramikler için önceden önerilmiştir. Hillerborg, Carpinteri'nin [48, 49], gevreklik sayısı, yapı geometrisinden bağımsız değildir ve genelleştirilemez, mutlak karakteristiktir ($\beta = 3$ bir yapı geometrisi için çok gevrek davranış ve başka geometri için çok sünek davranış verir).

Gevrekliğin genelleştirilmesi Bazant tarafından önerilmiştir, geçerli standart formüle göre limit analizin düzenlenmesinde, lineer olmayan kırılma mekaniği

gözönüne alınarak taşıma yükünde nominal gerilme v_u (boyut etkisiz) şu biçimde verilmiştir.

$$\sigma_N = \frac{v_u}{\sqrt{1+\beta}} \quad (> v_u^{\min}) \quad (2.16)$$

β 'nın bağlı olduğu D_o 'ı hesaplama yöntemi araştırılmalıdır. 2.16 denklemini nominal gerilmede $v_u^{\min}$ düşük limiti gevrek olmayan sürtünmeli göçme mekanizması yüzünden vardır. Böyle bir limite örnek Brazilian silindir deneyleridir.

2.9.2. Diğer boyut etkileri ve sınırlamalar

2.9.2.1. Artık sünek ya da sürtünme limitinin etkisi

Silindirlerin Brazilian yarma deneylerinde, Hasegawa göçmede nominal gerilmenin silindirin artan yarıçapı ile azaldığını, sonra sabit kaldığını görmüştür (Bu davranış Bazant, Kazemi'de (1991) gözlenmiştir [24]). Buna göre belli büyük boyutlarda maksimum yükde gevrek olmayan göçme mekanizmasına geçiş vardır. Bunun nedeni büyük boyutların maksimum yükünde yük uygulaması noktası altındaki bölgede küçük kama biçimli bölge vardır. Küçük çaplılarda yükün neden olduğu ayrılma çatlağı kama biçimli bölgenin sürtünmeli kaymasından büyüktür ve bu yüzden gevrek kırılma mekanizması olur. Halbuki eğer yapı çok büyük olursa ayrılma göçmesindeki nominal gerilme, kamada sürtünmeli kaymaya neden olan σ_N nominal gerilmesinden çok küçüktür. Bu yüzden bu tip göçme için boyut etkisi yasasında σ_N ' in daha fazla azalmayacağı bir limit konmalıdır. Basıncıta ayrılma göçmesi içeren diğer göçme mekanizmaları durumunda da bu artık gerilme doğurabilir.

2.9.2.2. Rastgele dayanım yüzünden istatistiksel boyut etkisi

Malzemenin heterojenliği yüzünden dayanım değişken olup Weibull-tipi istatistik modellerle tanımlanmıştır. Ancak yapının ilk çatlakla göçmesi ya da yapının büyük parçasında gerilmenin uniform olduğu beton yapıda, Weibull teorisinin etkisi, boyut etkisine göre ihmal edilecek kadar azdır.

2.9.2.3. Farklı rutubet ve kuruma yüzünden boyut etkisi

Hidratasyon sırasında açığa çıkan ısı farklı boyutlu elemanlarda farklıdır. Beton barajlarda betonun su yüzünde ısı diğer yüzden ve hidratasyon ısısı yüzünden gövdede çok farklıdır. Farklı ısıdan doğan gerilmenin uniform olmayışı, yapıdaki rutubet ve betonun kuruması sırasında difüzyon yüzünden, önemli yapısal boyut etkisi elde edilir.

2.9.2.4. Çeper etkisinin doğurduğu boyut etkisi

Betonun yüzeyine yakın sınır tabaka, yapının içinden mukavemet ve karışım olarak farklılığı, başka bir boyut etkisi doğurur. Bu sınır tabaka bir agreganın kalınlığında olup, harçın (ince malzeme) oranı büyük agreganın (kaba malzeme) oranından fazladır. Bu tabaka “çeper etkisi” olarak bilinir. Sınır tabakanın kalınlığının yapı boyutundan bağımsızlığı yüzünden bu tabakanın etkisi küçük yapılarda, büyük yapılardan fazladır. Çok büyük kesitlerde bu etki önemsiz olur.

2.9.2.5. Çatlak kenarındaki uçlarda üç boyutlu tekillik yüzünden boyut etkisi

Gerilme şiddet çarpanı sabit değildir plağın yüzeyi ile kesişme noktasında sıfıra düşer (Poisson oranının sıfır olduğu durumlar hariç). Gerilme şiddet çarpanının ortalama değerine plak kalınlığının etkisi vardır. Kalınlık büyük olmamalıdır. Eğer bütün numunelerin kalınlıkları aynı ise bu etki elimine edilir.

2.9.2.6. Agreg a boyutunun etkisi

Boyut etkisi ve kırılma parametreleri aynı agreg a boyutu ve betondan yapılmış yapılar için geçerlidir. Eğer agreg a boyutu değişirse, kırılma parametreleri ve boyut etkisi parametreleri değişir. Boyut etkisi düzeltilmelidir [13].

$$\sigma_N = \frac{B \cdot f_t}{\sqrt{1 + \beta}}, \quad f_t = f_t^o \left(1 + \sqrt{\frac{c_o}{d_a}}\right), \quad \beta = D / D_o \quad (2.17)$$

burada f_t^o referans olarak seçilen betonun çekme dayanımıdır. f_t maksimum agreg a boyutu d_a olan beton için çekme dayanımıdır. c_o amprik sabittir. Bu formül dislokasyon teorisi ile elde edilen çok kristalli metallerin, akma mukavemetinde dane boyutu etkisi için Petek formülü benzeridir. 2.17 denklemini Chama (1981), Taylor (1972) ve Igura'nın (1985) deney sonuçları ile uyumludur [13], ve c_o kalibre edilmiştir.

2.9.2.7. Yüksek dayanımlı beton ve harç dayanımının etkisi

Beton dayanımındaki son gelişmeler matriksin (bağlayıcı harç) dayanımı ve agreg a-matriks aderansını artırma yönündedir. Yüksek dayanımlı betonda

agrega ve matriksin Young Modülleri ve mukavemeti arasındaki fark normal dayanımlı betondan çok küçüktür. Yüksek dayanımlı beton, (daha homojen malzeme olarak davranır ve sonuçta kırılma bölgeleri fracture proses zone) daha küçüktür. Boyut etkisi incelemesinde (özellikle boyut etkisi yasasında d_0 kırılma bölgesi ile ilişkilidir.) aynı yapı boyutu için yüksek mukavemetli beton lineer elastik kırılma mekaniğine daha yakındır yani normal betona göre davranışı daha gevrekler. Bu yüzden kırılma mekaniği analizi ve boyut etkisi, yüksek dayanımlı betonlarda, normal dayanımlı betonlardan çok daha önemlidir.

2.9.2.8. Donatı akmasının boyut etkisine katkısı

Elemanda sünek malzeme (donatı) varlığı ile yükün bir kısmı taşınır, donatının etkisi kırılma bölgesine yayılır. Bu yüzden betonarmede kırılma etkileri ve boyut etkisi donatısız betona göre daha az beklenir.

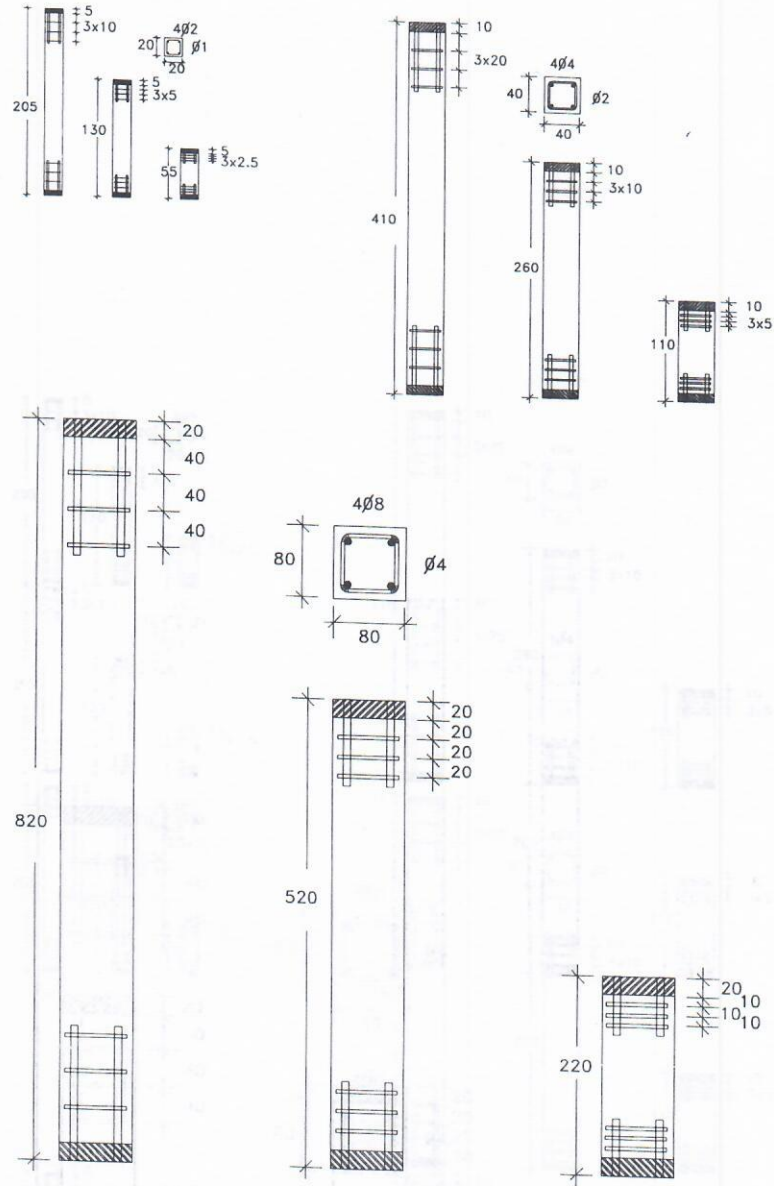
Betonarmede donatı olmasına rağmen beton yapıların çoğu göçmesinin gevrek olduğu bilinmektedir. Donatının varlığı ve onun akması betonun kırılma davranışını değiştirerek, betonun göçme yüküne olan etkisini artırır.

3.DENEY KOLONLARI

3.1. Kolonların Sınıflandırılması

Kolon kesitleri kare ve kenar uzunlukları $D = 20, 40, 80$ mm dir (Şekil 3.1). Kolonlarda $\lambda = 13, 26, 39$ ($\lambda = L / 0.3 D$) seçilmiştir. Buna göre eleman boyları, küçük elemanlar için $L = 75, 150, 225$ mm, orta elemanlar için $L = 150, 300, 450$ mm ve büyük elemanlar için $L = 300, 600, 900$ mm dir. L boyları çelik bilyaların değme noktaları arasındaki uzunluk olarak ölçülmüştür. Kolonların yükleme başlığı olmaksızın sadece çelik başlıklı net boyları da küçük elemanlar için $L = 55, 130, 205$ mm, orta elemanlar için $L = 110, 260, 410$ mm, büyük elemanlar için $L = 220, 520, 820$ mm dir. Yükler, yükleme çerçevesinin çelik plakaları ile çelik bilyalara ve çelik bilyalardan da elemanlarla birlikte dökülmüş olan çelik başlıklara aktarılmaktadır. Deney elemanlarının uç kısımlarındaki donatılar yükleme sırasında beton kolonların kırılmaması için kullanılmışlardır.

Aynı narinlik değerine sahip değişik kesit uzunlukları olan elemanlar geometrik olarak benzerdir. Bu geometrik benzerlik tüm elemanlarda, kolon ve donatı yerlerinde, çaplarında, beton kabuk kalınlığı, sargı donatı aralığı, çapı ve çelik başlık kalınlığı eleman kesit boyutu D ile orantılı olacak şekilde düzenlenmiştir. Yine bu nedenle beton kabuğun kalınlığı tüm elemanlarda sabit değil $d_c = 0.2 D$ olacak şekilde düzenlenmiştir. “ d_c ” donatı merkezinden dış yüze olan uzaklıktır.



(Bütün birimler milimetredir.)

Şekil 3.1.Deney Kolonları

3.2. Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Donatı

Kolonlar iki ucu mafsallı olup eksenel yüklenmiştir. Kolon uçlarında kırılmayı önlemek amacı ile konan boyuna donatının oranı % 3,14 dür. Küçük kesitten büyük kesite doğru sırası ile boyuna donatı çapları $\phi = 2, 4, 8$ mm dir. Boyuna donatıların sarıldığı etriyelerin çapları da sırası ile $\phi = 1, 2, 4$ mm dir. Sargı (etriye) donatıları boyuna donatılara bindirme boylarından ötürü donatı yoğunluğunun artmaması için epoksi ile yapıştırılmıştır. Sargı donatısı aralığı küçük elemanlar için sırasıyla 10, 5, 2.5 mm orta elemanlar için sırasıyla 20, 10, 5 mm ve büyük elemanlar için sırasıyla 40, 20, 10 mm dir. Kullanılan donatıların elastik modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa dır. Akma dayanımı ise $f_y = 220$ MPa dır.

3.2.2. Beton

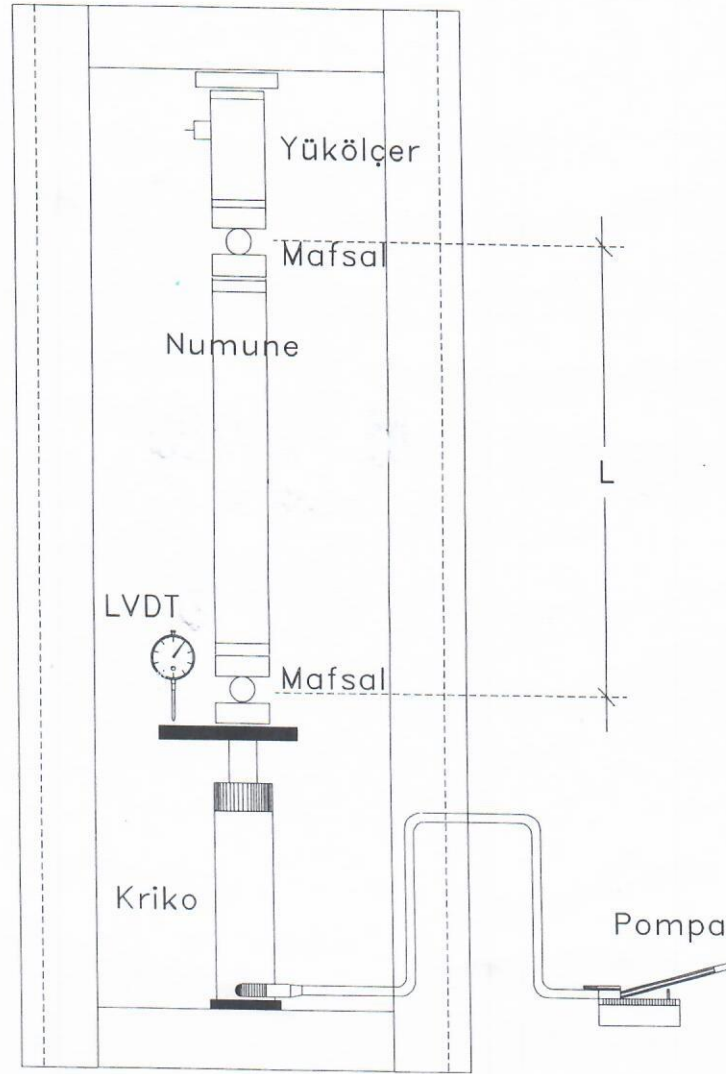
Beton üretiminde normal Portland çimentosu (NPC 32,5) kullanılmıştır. Yapılan karışımın oranı su/ çimento/agrega/kum ($w/c/a/s$) = 0,65 / 1 / 2 / 2 dir. Agregası olarak 4,76 mm ile (4 No'lu elek) 3,35 mm (6 No'lu elek) arasında kalan malzeme ve kum olarak da 3,35 mm altında kalan malzeme kullanılmıştır. Tüm kolonlar ve beton basınç dayanımının bulunacağı silindirler aynı bir karışımdan üç kerede dökülmüş, birlikte kür odasında saklanmış ve kolonlarla aynı gün kırılmışlardır. Deneyler beton döküldükten 45 gün sonra yapılmıştır. Betonun basınç dayanımı standart silindir basınç deneyinden $f_c = 19$ MPa olarak bulunmuştur. Beton silindirler 150x300 mm'lik çelik kalıplardan elde edilmiştir. Kolonlar ise preslenmiş fındık kabuğundan yapılan (MDF) kalıplara dökülmüştür. Kalıpların su emmesinin önlenmesi için

kalıplar yağlıboya ile boyanmışlardır. Elemanlar kalıplardan 1 gün sonra çıkarılmış ve o günden sonra deney gününe kadar ortalama 20°C sıcaklıkta su içinde saklanmışlardır.

Bu çalışmada, beton basınç dayanımını belirlemek amacıyla dökülen silindirler için kükürt başlık kullanılmıştır. Silindir numunelerimizin üst kısmı pürüzlü olduğundan eksenel yük uygulandığında elde edeceğimiz f_c , beton basınç dayanımı pürüzlü yüzeydeki sürtünmeden dolayı gerçeği yansıtmayacaktır. Bunu önlemek için silindirin pürüzlü yüzeyine kükürt başlık yapılmıştır.

3.2.3. Kolon başlıkları

Yüklerin uygulandığı bölgede beton ezilmesini önlemek için numunelere demir başlıklar monte edilmiştir. SC1-3, SC2-3 ve SC3-3 numunelerindeki başlık ölçüleri 20x20x5 mm'dir. MC1-3, MC2-3 ve MC3-3 numunelerindeki başlık ölçüleri 40x40x10 mm'dir. LC1-3, LC2-3 ve LC3-3 numunelerindeki başlık ölçüleri ise 80x80x20 mm'dir. Yükün mümkün olduğu kadar elemana düzgün aktarılmasını sağlamak amacı ile kullanılan çelik başlık plakaların kalınlıkları, küçükten büyüğe doğru sırası ile 5, 10, 20 mm seçilmişlerdir. Yükleme bilyasından gelen gerilmeyi başlık plakalarına aktaran çelik başlıkların kalınlıkları küçük elemanlardan büyük elemanlara doğru sırası ile 10, 20, 40 mm seçilmişlerdir.



Şekil 3.2. Deney Düzeneği

3.3. Deney Düzeneği

Bütün numuneler 2000 kN kapasiteli kapalı çerçevede, yük (150N hassasiyetli 300 kN kapasiteli load cell) ölçümleri deney sırasında alınarak yapılmıştır. Elemanlarda aksenal kısalma ölçümleri LVDT yardımı ile yapılmıştır.

Yalnızca LC11 elemanında, elemanın orta yüksekliğinde komşu iki yüzden yatay yerdeğiştirme ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler deney sırasında gözlenmiş ve bu elemanın eksantrik yükleme alıp almadığı kontrol edilmeye çalışılmıştır. Eksantrik yükleme aldığı gözlemlendiğinde yük boşaltılmış, yükleme düzeneğinde gerekli düzeltmeler yapıp tekrar elemana yük verilmiştir. Bahsedilen eksenel yükleme kontrolü işlemi ancak elemanın tahmini kırılma yükünün % 20 sine denk gelen yük değerine kadar yüklenerek yapılmıştır. Bu yük değeri elastik bölgede kaldığı için elemana kalıcı deformasyon verilmediği kabul edilmiştir. Ancak LC11 elemanın kırılması sırasında LVDT ler hasar görmüş, bu sebeple diğer elemanlarda yatay deformasyon ölçümleri yapılamamıştır.

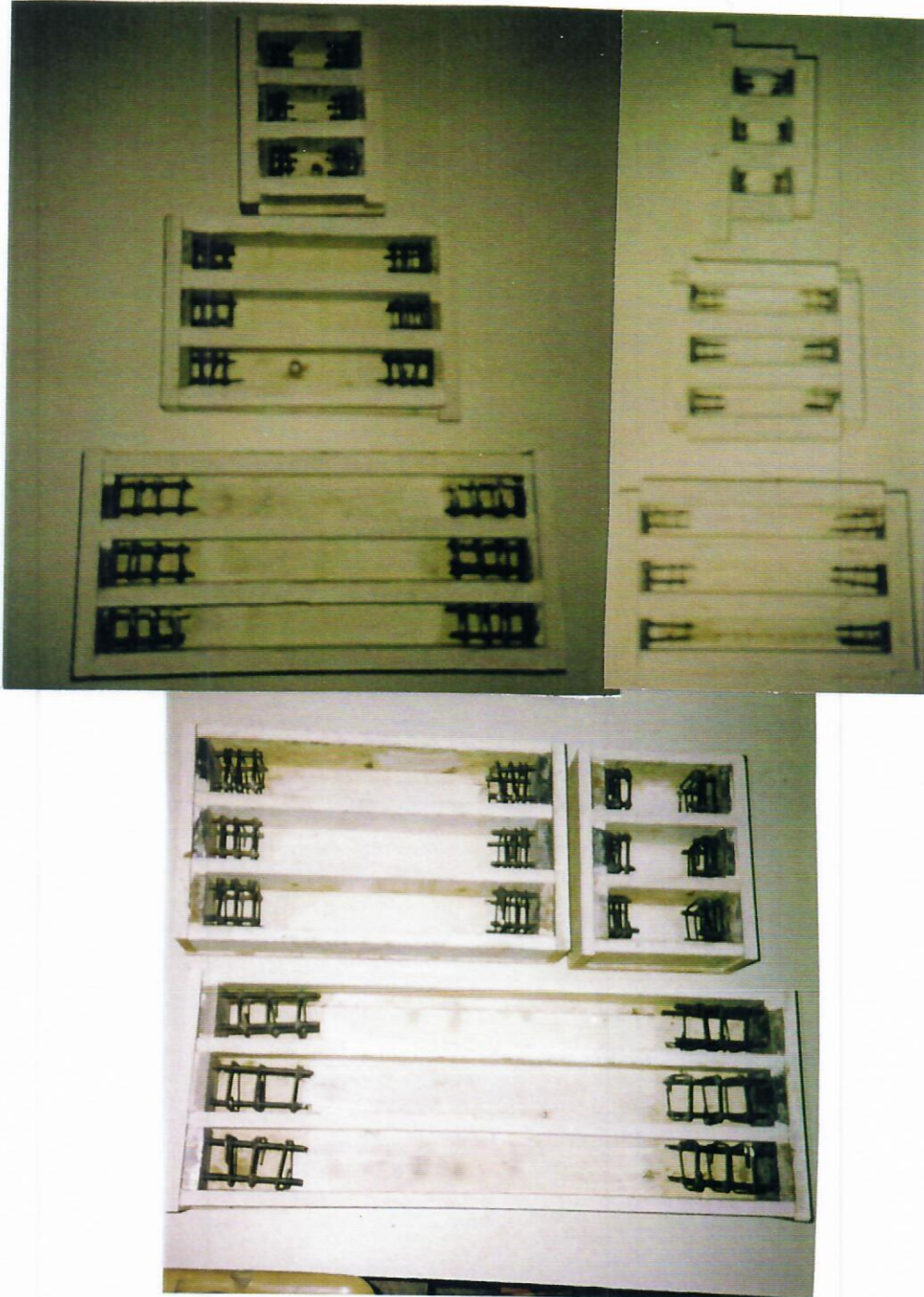
Kolonlar kapalı çerçevede test edilmişlerdir. Deney sırasında bir düşey (eksenel) yerdeğiştirme, yük ile birlikte bilgisayara kaydedilmiştir (Şekil 3.2). Yükleme hızı tüm elemanlar için sabit tutulmaya çalışılmış ve her elemanda 5 dakikada kırılmaya ulaşılacak hızda yükleme yapılmıştır. Elemanlar deneyden hemen önce sudan çıkartılmış bu sebeple yüzey kurumasından dolayı oluşacak farklı boyutlu elemanlardaki farklı çatlakların sonuçlara etkimesi önlenmiştir.

3.4. Deney Kolonlarının Hazırlanması

3.4.1. Kolon kalıpları

Kolon kalıbı olarak kalınlığı 18 mm olan MDF seçilmiştir. Kalıpların su emip deforme olmasını önlemek amacı ile kalıplar boyanmış, yağlanmıştır.

Daha sonra beton dökümü işlemi yapılmıştır. Kolon kalıplarına beton yatayda dökülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kolon Kalıpları

3.4.2. Kolon donatıları

Üç grup kolonların birinci grupta en büyük kesitli (LC), ikinci grupta orta büyüklükteki kesit (MC) ve üçüncü grupta küçük kesitli (SC) kolonlar elde edilmiştir. Boyuna donatı olarak kolonlarda sırası ile $\phi 8$, $\phi 4$, $\phi 2$ mm çaplı, etriye olarak $\phi 4$, $\phi 2$, $\phi 1$ mm çaplı çubuklar kullanılmıştır.

LC1-LC9 adlı kolonlarda $\phi 8$ boyuna, $\phi 4$ sargı (ettriye) donatısı, MC1-MC9 adlı kolonlarda $\phi 4$ boyuna, $\phi 2$ sargı donatısı, SC1-SC9 adlı kolonlarda $\phi 2$ boyuna, $\phi 1$ sargı donatısı kullanılmıştır. Boyuna donatıların uzunlukları her bir kolon ucunda $L / 10$ alınmıştır. Etriye sayısı ise her bir uçta üç adet olacak şekilde yapılmıştır.

3.4.3. Beton karışımının hesabı

Küçük kesitli (V_{SC}), orta kesitli (V_{MC}) ve büyük kesitli (V_{LC}) kolonların hacimleri

$$\sum V_{SC} = (18 + 48 + 78) \times 3 = 432 \text{ cm}^3 \text{ hesaplanmıştır.}$$

$$\sum V_{MC} = (144 + 384 + 624) \times 3 = 3456 \text{ cm}^3 \text{ hesaplanmıştır.}$$

$$\sum V_{LC} = (1152 + 3072 + 4992) \times 3 = 27648 \text{ cm}^3 \text{ hesaplanmıştır.}$$

$$V = \sum V_{SC} + \sum V_{MC} + \sum V_{LC} = 432 + 3456 + 27648 = 31536 \text{ cm}^3$$

Üç tane kontrol silindiri her karışımda alınacağından,

$$\text{Silindir hacmi } V_S = \pi R^2 / 4 \times D = \pi \times 15^2 / 4 \times 30 = 5301.4 \text{ cm}^3$$

$$\sum V_S = 3 \times 5301.4 = 15904.2 \text{ cm}^3$$

$$\text{Toplam Hacim } V_T = \sum V_S + \sum V_T = 31536 + 15904.2 = 47440.2 \text{ cm}^3$$

$$V_T \cong 47440 \text{ cm}^3 = 47.44 \text{ dm}^3$$

$$\text{Gerekli kum ağırlığı} \quad M_T = V_T \cdot \delta : \delta = 1.75 \text{ kg/dm}^3$$

$$M_T = 47.44 \times 1.75 = 83.02 \text{ kg} = 830.2 \text{ N}$$

Su çimento oranı 0.65 ve agrega / kum / çimento oranı 2 / 2 / 1'dir (ağırlık olarak).

$$\text{Çimento} = 415 \text{ N} : \text{Su} = 269.75 \text{ N} : \text{Agrega} = 830.2 \text{ N} : \text{Kum} = 830.2 \text{ N}$$

olarak betoniyerde üç kere de hazırlanmıştır.

3.4.4. Betonun yerleştirilmesi

Betoniye önce kum, agrega ve çimento ölçülerek konulduktan sonra kuru olarak yaklaşık iki dakika karıştırılmıştır. Sonra su eklenerek beton karışımı betoniyerde elde edilmiştir. Her karışımdan sonra çökme deneyleri yapılmıştır. Çökme miktarının 3-4 cm arasında olduğu görülmüştür. Beton kalıplara özenle döküldükten sonra sarsma tablası kullanılarak kolon betonlarının boşluksuz olmasına çalışılmıştır. Bu arada numunenin üst yüzeyleri iyice düzeltilerek pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir.

3.4.5. Kolonların kalıptan çıkarılması

Üç grup numune, üç karışımdan hazırlanan beton kalıplara döküldükten sonra ertesı gün kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numunelerin 28 günlük dayanıma erişmesi için numunelerin bakımı (kür) yapılmıştır. Farklı kalınlıklar yüzünden rutubet etkilerinin sonuçları etkilememesi için gerek kolonlar gerekse silindir numuneler laboratuvar sıcaklığında su içinde aynı koşullarda tutulmuşlardır. Kalıpların sökümü sırasında MC13 adlı eleman çatlamış ve denenememiştir.

3.5. Deneylerin yapılması

3.5.1. Yükleme ve ölçümler

Deneydeki kolonları yüklemek için Yapı Mekaniği Laboratuvarındaki çerçeveden yararlanılmıştır (Bkz.Şekil 3.2). Çerçevenin içinde önceden hazırlanmış levhalar üzerine kolonlar yerleştirilmiştir. Yükün betonu ezmesini önlemek için kolonların boyutlarına uygun çelik levhalar konulmuştur. Numuneler çerçeve içerisine krikonun üzerine yerleştirildikten sonra üstüne ve altına yükleme kafaları ve döner mafsallar konmuş en üste de yük-ölçer (load cell) konulmuştur. Kolonların aksinel kısalmasının ölçülmesi için LVDT yerleştirilmiştir.

Deney düzeneği Şekil 3.2’de görüldüğü gibi oluşturulduktan sonra numune göçene kadar eleman yüklenmiştir.

Yükleme hızı krikoda, en büyük yüke her numunede 5 dakikada erişilecek şekilde yükleme hızı sabit (yük kontrolü) olarak yapılmıştır.

3.5.2. Silindir basınç dayanımları

Silindire başlık yapmak için eritilen kükürt grafit karışımı, başlık kalıbının yardımıyla silindirlerin pürüzlü başlığına konulmuştur. Ayrıca kalıp kükürdün kalıba yapışmasını önlemek için yağlanmıştır. Başlıkları yapılan silindirlere,

f_c 'nin bulunması için eksenel basınç uygulanmıştır. Numuneler kalıba dökülürken üç adet 150x300 mm'lik kontrol silindirleri alınmıştır.

Üç adet silindirin ortalama basınç dayanımı $f_c = 19 \text{ N/mm}^2$ olarak deney sonuçlarından bulunmuştur. Silindir basınç dayanımlarının standart sapması 0.75 MPa olarak hesaplanmıştır.

3.6. Deney Grupları

Laboratuvar çalışmalarındaki deneyler 9 farklı tipte ve her bir tipte 3 numune olarak $9 \times 3 = 27$ adet kolon hazırlanmış, MC13 adlı kolon kalıptan çıkarılırken çatladığı için 26 adet kolon test edilmiştir. Bütün elemanlar aynı gün kırılmıştır.

3.6.1. Küçük narinlikli ($\lambda=13$) kolonlar

Küçük narinlikli kolonlar grubu LC31-33, MC31-33 ve SC31-33 kolonlarından oluşmaktadır. Narinlikleri $\lambda=13$ 'tür. Herbir kolondan üçer tane denenmiştir. LC31-33'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 300 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu ise başlıklar hariç 180 mm, kesiti ise $80 \times 80 \text{ mm}^2$ dir. MC31-33'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 150 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu ise başlıklar hariç 90 mm, kesiti ise $40 \times 40 \text{ mm}^2$ dir. SC31-33'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 75 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu ise başlıklar hariç 45 mm, kesiti ise $20 \times 20 \text{ mm}^2$ dir.

3.6.2. Orta narinlikli ($\lambda=26$) kolonlar

Orta narinlikli kolonlar grubu LC21-23, MC21-23 ve SC21-23 kolonlarından oluşmaktadır. Narinlikleri $\lambda=26$ 'dır. Herbir kolondan üçer tane denenmiştir. LC21-23'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 600 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu 480 mm, kesiti ise $80 \times 80 \text{ mm}^2$ dir. MC21-23'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 300 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu 240 mm, kesiti ise $40 \times 40 \text{ mm}^2$ dir. SC21-23'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 150 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu 120 mm, kesiti ise $20 \times 20 \text{ mm}^2$ dir.

3.6.3. Büyük narinlikli ($\lambda=39$) kolonlar

Büyük narinlikli kolonlar grubu LC11-13, MC11-13 ve SC11-13 kolonlarından oluşmaktadır. Narinlikleri $\lambda=39$ 'dır. Herbir kolondan üçer tane denenmiştir. LC11-13'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 900 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu 780 mm, kesiti ise $80 \times 80 \text{ mm}^2$ dir. MC11-13'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 450 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu 390 mm, kesiti ise $40 \times 40 \text{ mm}^2$ dir. SC11-13'ün L uzunluğu başlıklar ile birlikte mafsaldan mafsala 225 mm, kolonun beton parçasının uzunluğu 195 mm, kesiti ise $20 \times 20 \text{ mm}^2$ dir.

4.DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Sonuçların Analizi

Deney sonuçlarının irdelenmesi bu bölümde verilmiştir. Sonuçların analizinde Bazant'ın önerdiği yaklaşık boyut etkisi denklemi kullanılmıştır. Boyut etkisi denklemini lineer regresyon ile düzenledikten sonra daha önce bulunan sonuçların $Y=AX+C$ biçimine getirilmesi, dolayısıyla ilgili çizelgelerin ışığında grafiklerin oluşturulması bu bölümde sunulacaktır.

X ve Y eksen takımında X ile gösterilen bölge boyut değişimini $X = d_b$, Y ise $(v_c/v_u)^2$ değerini göstermektedir. Bu ifadeler $Y=AX+C$ ile tanımlandığından C'nin pozitif ve sıfırdan farklı olması gerekmektedir. Boyut etkisini en açık bir şekilde gösteren Bazant'ın logaritmik eğrisidir. Burada da önce sözü edilen betonarme elemanların dayanım kriteri ile LEKM arasındaki geçiş bölgesini bu grafikten görmek olası olacaktır.

Lineer Regresyon analizi için Excel 7.0 programı kullanılmıştır.

4.1.1. Küçük narinlikli ($\lambda=13$) kolonların deney sonuçları

Aşağıda Çizelge 4.1'de kolon yükleri, göçme değerleri ile göçmeye karşı gelen nominal kırılma değerleri verilmiştir.

Burada P =Kırılma yükü (kN): σ_N =Kırılma Basıncı : f_c = Standart Beton Basınc Dayanımı : f_t =Betonun Çekme Dayanımı : $b=D$ =Kolon kesiti kare seçilmiştir : L =Kolon yüksekliğidir

Çizelge 4.1. Küçük Narinlikli ($\lambda=13$) Kolonların Deney Sonuçları

Numune	KIRILMA YÜKÜ kN	f_c MPa	$b=D$ mm	L mm	σ_N MPa
SC31	9.98	19	20	75	24.95
SC32	5.64	19	20	75	14.1
SC33	12.66	19	20	75	31.65
MC31	30.88	19	40	150	19.3
MC32	18.99	19	40	150	11.87
MC33	29.49	19	40	150	18.43
LC31	99.50	19	80	225	15.54
LC32	120.05	19	80	225	18.75
LC33	107.73	19	80	225	16.83

4.1.1.1. Küçük narinlikli ($\lambda=13$) kolonların lineer regresyon sonuçları

Küçük Narinlikli kolonlarının lineer korelasyon sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Buradaki verilen deney sonuçlarının, Bazant’ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Çizelgelerde, kolonların kırılma yükleri, silindir basınç dayanımı (f_c), kolon kesitinin genişliği (b), yüksekliği (D), kolon uzunluğu (L) ve göçme gerilmesi verilmektedir. Bu amaçla bu Çizelgelerden yararlanılarak veriler, $Y=AX+C$ ile temsil edilir. Dolayısıyla, B ve D malzeme ile yapı biçimine bağlı sabitler belirlenip, Bazant'ın önerdiği boyut etkisi araştırılır.

Çizelge 4.2. Küçük Narinlikli ($\lambda=13$) Kolonların Lineer Regresyon Sonuçları

Numune	f_t MPa	$(f_t/\sigma_N)^2$	$\log(\sigma_N/Bf_t)$	Log β
LC31	1.525615	0.009629	-0.07554734	-0.452297735
LC32	1.525615	0.006615	0.005991742	-0.452297735
LC33	1.525615	0.008214	-0.04103376	-0.452297735
MC31	1.525615	0.006248	0.01836686	-0.753327731
MC32	1.525615	0.016523	-0.19278547	-0.753327731
MC33	1.525615	0.006851	-0.00163566	-0.753327731
SC31	1.525615	0.003739	0.129880101	-1.054357726
SC32	1.525615	0.011707	-0.11797134	-1.054357726
SC33	1.525615	0.002323	0.233183265	-1.054357726

Excel 7.0' den elde edilen lineer regresyon sonucu bulunan değerler aşağıda verilmiştir.

$$Y = AX + C$$

$$C = 0.0068, \quad A = 0.00003,$$

$$D_0 = C / A = 226.6667 \text{ mm},$$

$$r = 0.159 \quad \text{bulunmuştur.}$$

4.1.2. Orta narinlikli ($\lambda=26$) kolonların deney sonuçları

Çizelge 4.3’de Orta Narinlikli kolonların deney sonucunda bulunan kolon yükleri, göçme değerleri ile göçmeye karşı gelen nominal kırılma değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Orta Narinlikli ($\lambda=26$) Kolonların Deney Sonuçları

Numune	KIRILMA YÜKÜ kN	f_c MPa	$b=D$ mm	L mm	σ_N MPa
SC21	8.07	19	20	150	20.175
SC22	8.59	19	20	150	21.475
SC23	7.89	19	20	150	19.725
MC21	22.21	19	40	300	13.88125
MC22	24.29	19	40	300	15.18125
MC23	20.99	19	40	300	13.11875
LC21	108.60	19	80	450	16.96875
LC22	120.39	19	80	450	18.81094
LC23	124.47	19	80	450	19.44844

Çizelgede her bir kolonun kırılma yükü yanında hesaplanan $\sigma_N = P/D^2$, göçmedeki nominal gerilme değeri de verilmiştir.

4.1.2.1. Orta narinlikli ($\lambda=26$) kolonların lineer korelasyon sonuçları

Orta narinlikli kolonların lineer korelasyon sonuçları Çizelge 4.4' de gösterilmiştir. Buradaki verilen deney sonuçlarının Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Çizelge 4.4. Orta Narinlikli ($\lambda=26$) Kolonların Lineer Regresyon Sonuçları

Numune	f_t MPa	$(f_t/\sigma_N)^2$	$\log(\sigma_N/Bf_t)$	Log β
SC21	1.525615	20.175	0.075611	-1.82930377
SC22	1.525615	21.475	0.102731	-1.82930377
SC23	1.525615	19.725	0.065815	-1.82930377
MC21	1.525615	13.88125	-0.08677	-1.52827378
MC22	1.525615	15.18125	-0.04789	-1.52827378
MC23	1.525615	13.11875	-0.11131	-1.52827378
LC21	1.525615	16.96875	0.000447	-1.22724378
LC22	1.525615	18.81094	0.045208	-1.22724378
LC23	1.525615	19.44844	0.059682	-1.22724378

Excel 7.0 yardımı ile yapılan lineer regresyon sonuçları aşağıda verilmiştir.

$$Y = AX + C$$

$$A = 0.000006,$$

$$C = 0.0081,$$

$$Do = C / A = 1350 \text{ mm},$$

$$r = 0.014 \text{ bulunmuştur.}$$

4.1.3. Büyük narinlikli ($\lambda=39$) kolonların deney sonuçları

Çizelge 4.5’de Büyük Narinlikli kolonların deney sonuçları, kolon yükleri, göçme değerleri ile göçmeye karşı gelen nominal kırılma değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5: Büyük Narinlikli ($\lambda=39$) Kolonların Deney Sonuçları

Numune	KIRILMA YÜKÜ kN	f_c MPa	b=D mm	L mm	σ_N MPa
SC31	12.32	19	20	225	30.8
SC12	9.11	19	20	225	22.775
SC13	11.02	19	20	225	27.55
MC11	25.84	19	40	450	16.15
MC12	17.26	19	40	450	10.7875
LC11	101.92	19	80	900	15.925
LC12	116.49	19	80	900	18.20
LC13	129.94	19	80	900	20.30

4.1.3.1. Büyük narinlikli ($\lambda=39$) kolonların lineer regresyon sonuçları

Büyük narinlikli kolonların lineer regresyon sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Buradaki verilen deney sonuçlarının Bazant’ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

Çizelge 4.6: Büyük Narinlikli ($\lambda=39$) Kolonların Lineer Korelasyon Sonuçları

Numune	f_t MPa	$(f_t/\sigma_N)^2$	$\log(\sigma_N/Bf_t)$	Log β
LC11	1.525615	0.005646	0.002057562	-0.250724877
LC12	1.525615	0.007025	-0.045396655	-0.250724877
LC13	1.525615	0.009178	-0.103425885	-0.250724877
MC11	1.525615	0.020001	-0.272584517	-0.551754873
MC12	1.525615	0.008924	-0.097332799	-0.551754873
SC11	1.525615	0.003067	0.134616277	-0.852784869
SC12	1.525615	0.004487	0.05195306	-0.852784869
SC13	1.525615	0.002453	0.18304539	-0.852784869

Excel 7.0'dan elde edilen lineer regresyon sonuçları aşağıda verilmiştir.

$$Y = AX + C$$

$$A = 0.00004,$$

$$C = 0.0057,$$

$$D_0 = C / A = 142.5 \text{ mm} \quad \text{malzeme sabiti,}$$

$$r = 0.197 \text{ bulunmuştur.}$$

4.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

Basınç kuvveti altında, çekme için elde edilen boyut etkisi denkleminin (Denk. 2.8) sonuçlara uygunluğu $\sigma_N = Bf_t (1+\beta)^{-1/2}$, $\beta=D/D_0$ denenmiştir. Bu çalışmada $(f_t / \sigma_N)^2$ nin b veya D'ye göre çizilmiş grafiklerde boyut etkisi açıkça görülmektedir. Eğer deney sonuçları dayanım kriteri ya da plastik limit

analiz ile uyuyşsaydı doğrunun yatay olması gerekirdi. Lineer regresyon ile elde edilen doğru $(f_t/\sigma_N)^2$ değerinin karakteristik boyut b veya D 'ye göre değişimi düşey eksen $1/B^2$ noktasında kesmektedir ve doğru eğimi $1/B^2 \cdot D_0$ dır.

Şekil 4.1.a, 4.2.a, 4.3.a'da $(f_t/\sigma_N)^2$ 'nin D 'ye karşılık çizilen regresyon doğrusundan elde edilen B ve D_0 sabitleri yardımıyla $\log(\sigma_N/Bf_t)$ 'ye karşılık $\log \beta$ değişimleri çizilmiştir (Şekil 4.1b, 4.2b, 4.3b).

Şekilde r = korelasyon katsayısı, A =doğrunun eğimini, C =doğrunun Y eksenini kestiği noktayı göstermektedir. Grafiklerdeki deney sonuçlarının eğimli doğru ile temsil edilmesi boyut etkisinin varlığının göstergesidir. $1/2$ eğimli çizgi, lineer elastik kırılma mekaniğini göstermektedir.

4.2.1. Küçük narinlikli ($\lambda=13$) kolonların deney sonuçlarının grafiklerle gösterilmesi

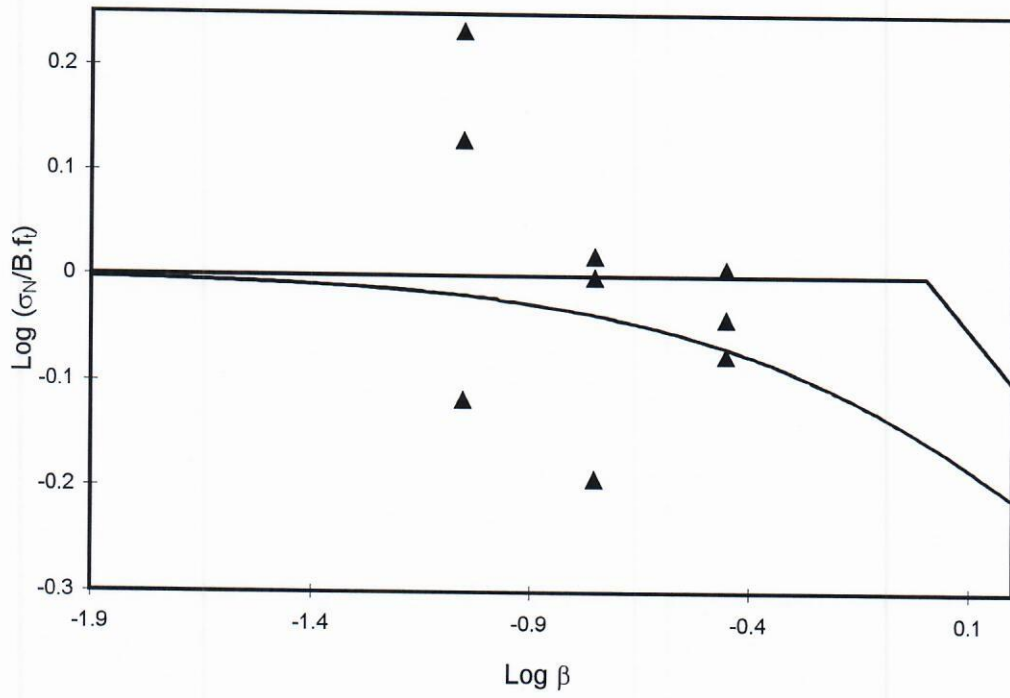
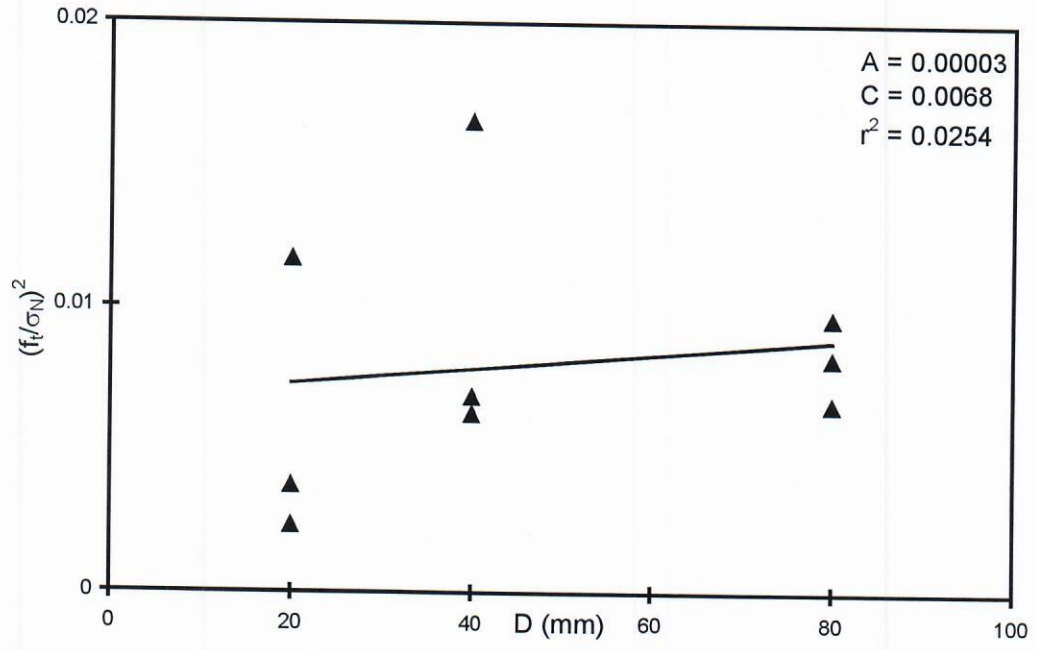
Küçük narinlikli kolonlarda Bazant'ın önerdiği Boyut Etkisi Yasasının deney sonuçlarıyla değişimi Şekil 4.1 deki grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 4.1a'da lineer regresyon sonuçları $Y=AX+C$ biçiminde bir doğru ile temsil edilmiştir.

Denklem 2.14' e göre $Y = (f_t / \sigma_N)^2$, $X = D$ 'ye karşı gelmektedir. Bu veriler ışığında Boyut Etkisi Yasasının ifadesindeki B ve D_0 sabitleri Şekil 4.1a'dan bulunarak boyut etkisi ifadesi Şekil 4.1b'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde düşey eksen olarak σ_N / Bf_t , yatay eksen olarak D / D_0 seçilerek boyut etkisinin

geçiş bölgesi logaritmik ölçekte gösterilmeye çalışılmıştır. $B = 12.1 \text{ MPa}$ bulunmuştur.

Küçük narinlikli kolonların deney sonuçları irdelendiğinde boyut etkisinin varlığını görmek olasıdır. Şekil 4.1a'daki lineer doğrunun belirli bir A eğimli olması boyut etkisinin varlığını göstermektedir.

Eğer boyut etkisi olmasaydı $A = 0$ yani, doğrunun yatay olması gerekirdi.



Şekil 4.1 a) Küçük Narinlikli Kolonlarda Lineer Regresyon b) Boyut Etkisi

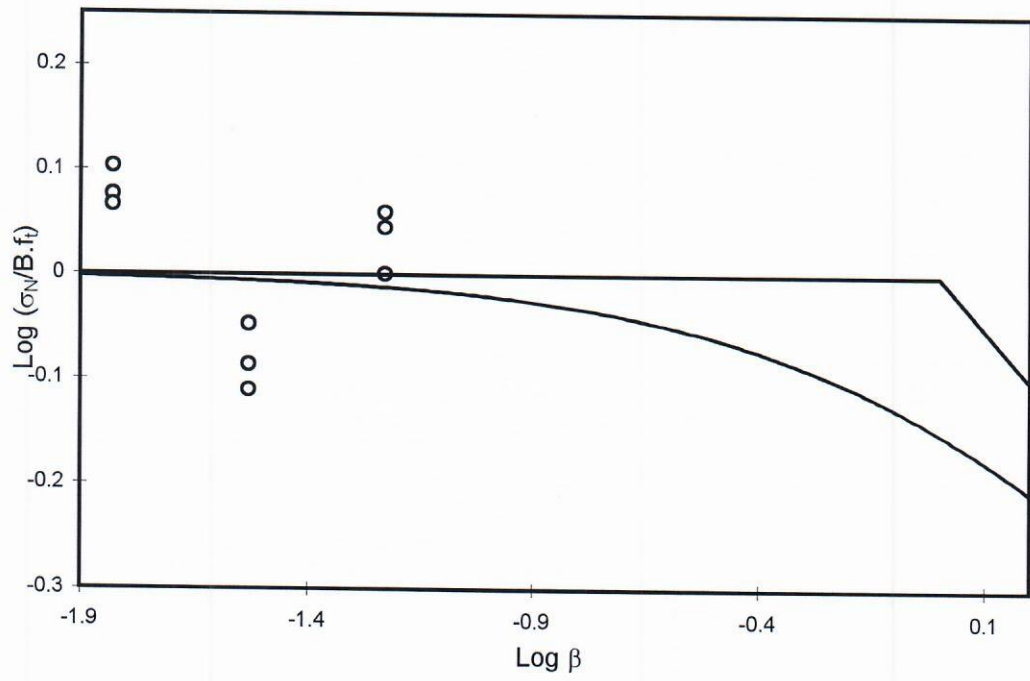
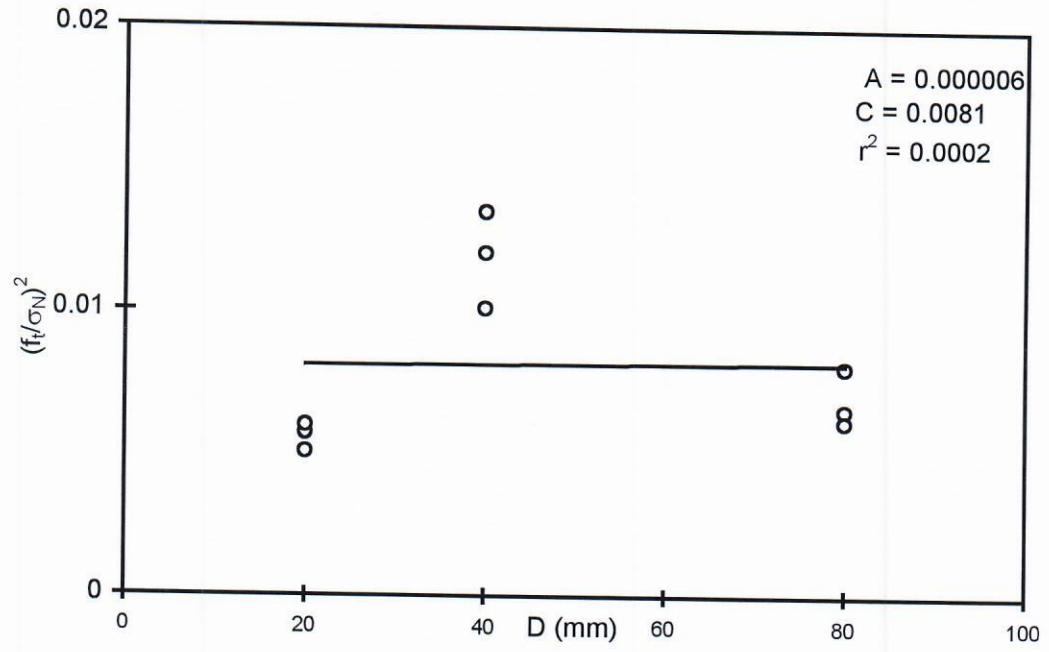
4.2.2. Orta narinlikli ($\lambda=26$) kolonların deney sonuçlarının grafiklere gösterilmesi

Orta narinlikli kolonlarda Bazant'ın önerdiği Boyut Etkisi Yasasının deney sonuçlarıyla değişimi Şekil 4.2'deki grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 4.2a'da lineer regresyon sonuçları $Y = AX + C$ biçiminde bir doğru ile temsil edilmiştir.

Denklem 2.14' e göre $Y=(f_t / \sigma_N)^2$, $X=D$ 'ye denk gelmektedir. Bu veriler ışığında Boyut etkisi Yasasının ifadesindeki B ve D_0 sabitleri Şekil 4.2a'daki

lineer korelasyondan elde edilmiştir. Boyut Etkisi ifadesi Şekil 4.2b'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde (Bkz.Şekil 4.2b) düşey eksen σ_N / Bf_t , yatay eksen olarak D / D_0 seçilerek boyut etkisinin geçiş bölgesi gösterilmeye çalışılmıştır. $B = 11.1$ MPa bulunmuştur.

Orta narinlikli kolonların deney sonuçları irdelendiğinde boyut etkisinin varlığını görmek olasıdır. Şekil 4.2a'daki lineer doğrunun belirli bir A eğimli olması boyut etkisinin varlığını göstermektedir.



Şekil 4.2 a) Orta Narinlikli Kolonlarda Lineer Regresyon b) Boyut Etkisi

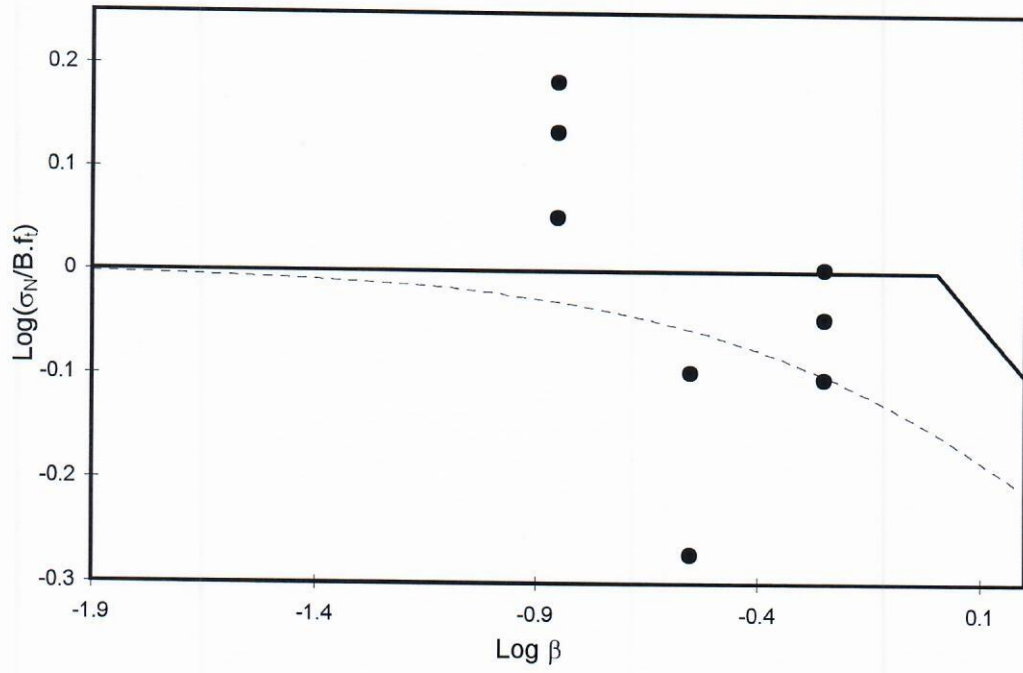
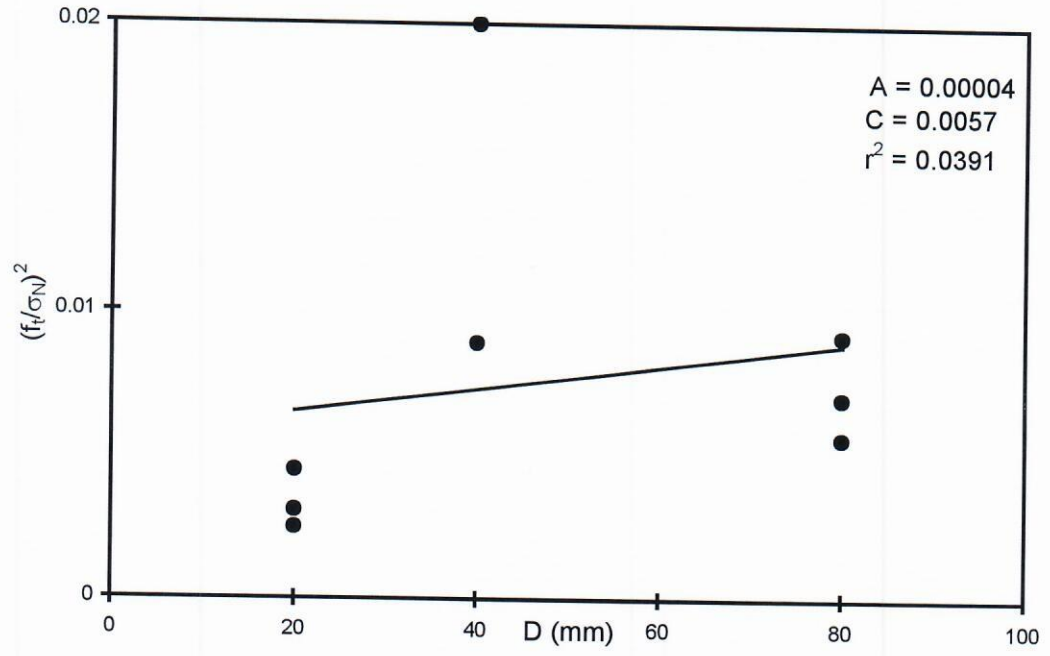
4.2.3. Büyük narinlikli ($\lambda=39$) kolonların deney sonuçlarının grafiklerle gösterilmesi

Büyük narinlikli kolonlarda Bazant'ın önerdiği Boyut Etkisi Yasasının deney sonuçlarıyla değişimi Şekil 4.3'teki grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 4.3a'da lineer regresyon sonuçları $Y=AX+C$ biçiminde bir doğru ile temsil edilmiştir.

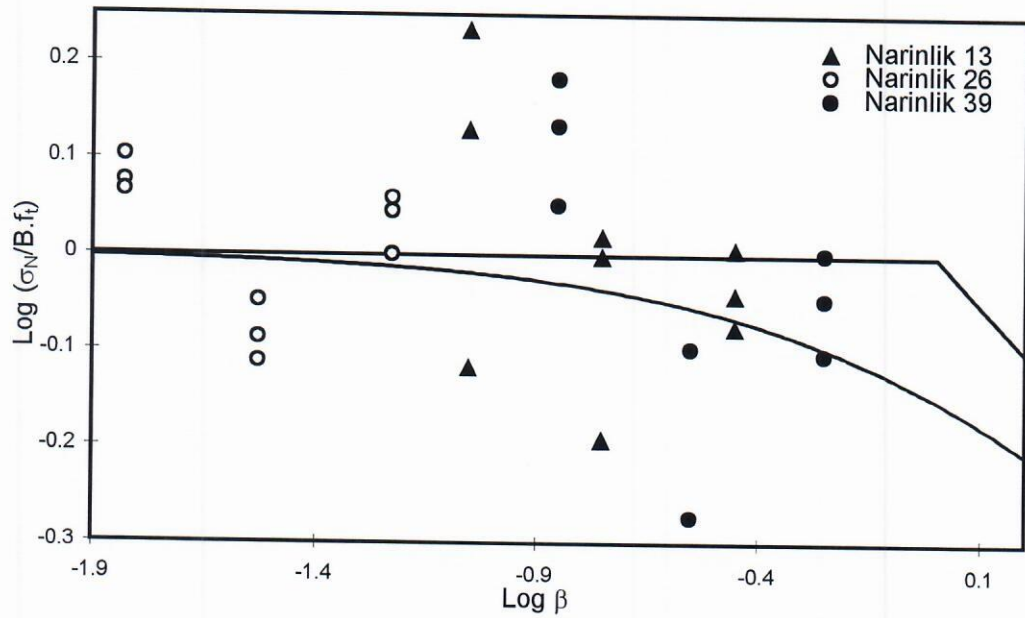
Denklem 2.14' e göre $Y=(f_t / \sigma_N)^2$, $X=D$ 'ye denk gelmektedir. Bu veriler ışığında Boyut etkisi Yasasının ifadesindeki B ve D_0 sabitleri Şekil 4.3a'daki lineer korelasyondan elde edilmiştir. Boyut Etkisi ifadesi Şekil 4.3b'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde (Bkz.Şekil 4.3b) düşey eksen σ_N / Bf_t , yatay eksen olarak D / D_0 seçilerek boyut etkisinin geçiş bölgesi gösterilmeye çalışılmıştır. $B = 13.2$ MPa bulunmuştur.

Büyük narinlikli deney sonuçları irdelendiğinde boyut etkisinin varlığını görmek olasıdır. Logaritmik ölçekte sonuçların sağa kaydığı yani gevreklik sayısının $\beta=D / D_0$ daha büyük bulunduğu görülmektedir.

Bütün kolonların boyut etkisi eğrileri birlikte Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3 a) Büyük Narinlikli Kolonlarda Lineer Regresyon b) Boyut Etkisi



Şekil 4.4 Bütün Kolonların Boyut Etkisi Grafiği

4.3. Eksenel Yerdeğıştirmeler

Kolon eksenini boyunca alınan LVDT okumaları olabildiğince kolonun tüm boyunu kapsayacak biçimde, fakat LVDT'lerin deney sırasında zarar görmemesi için numune dışında alınarak bilgisayara her üç saniyede kaydedilmiştir..

4.3.1. Küçük narinlikli ($\lambda=13$) kolonlarda eksenel yerdeğıştirmeler

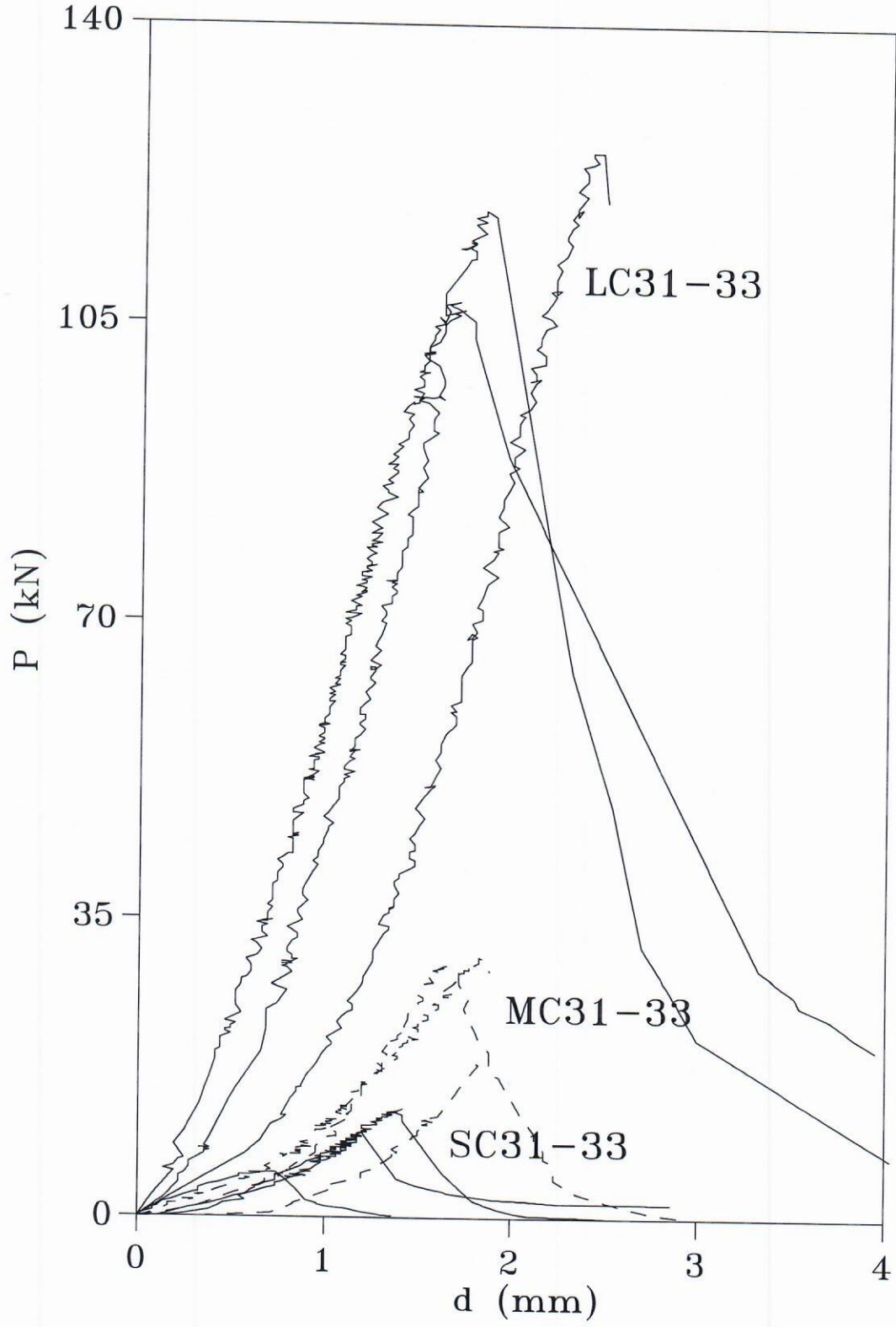
Şekil 4.5' de bütün küçük narinlikli kolonların eksenel yer değıştirme diyagramları ($\lambda=13$) grafiklerle gösterilmiştir. Buradan da görüleceğii gibi kolonların yumuşayan (softening) bölgesi numuneler küçüldükçe plastik davranış göstermişlerdir.

4.3.2. Orta narinlikli ($\lambda=26$) kolonlarda aksenal yerdeğiştirmeler

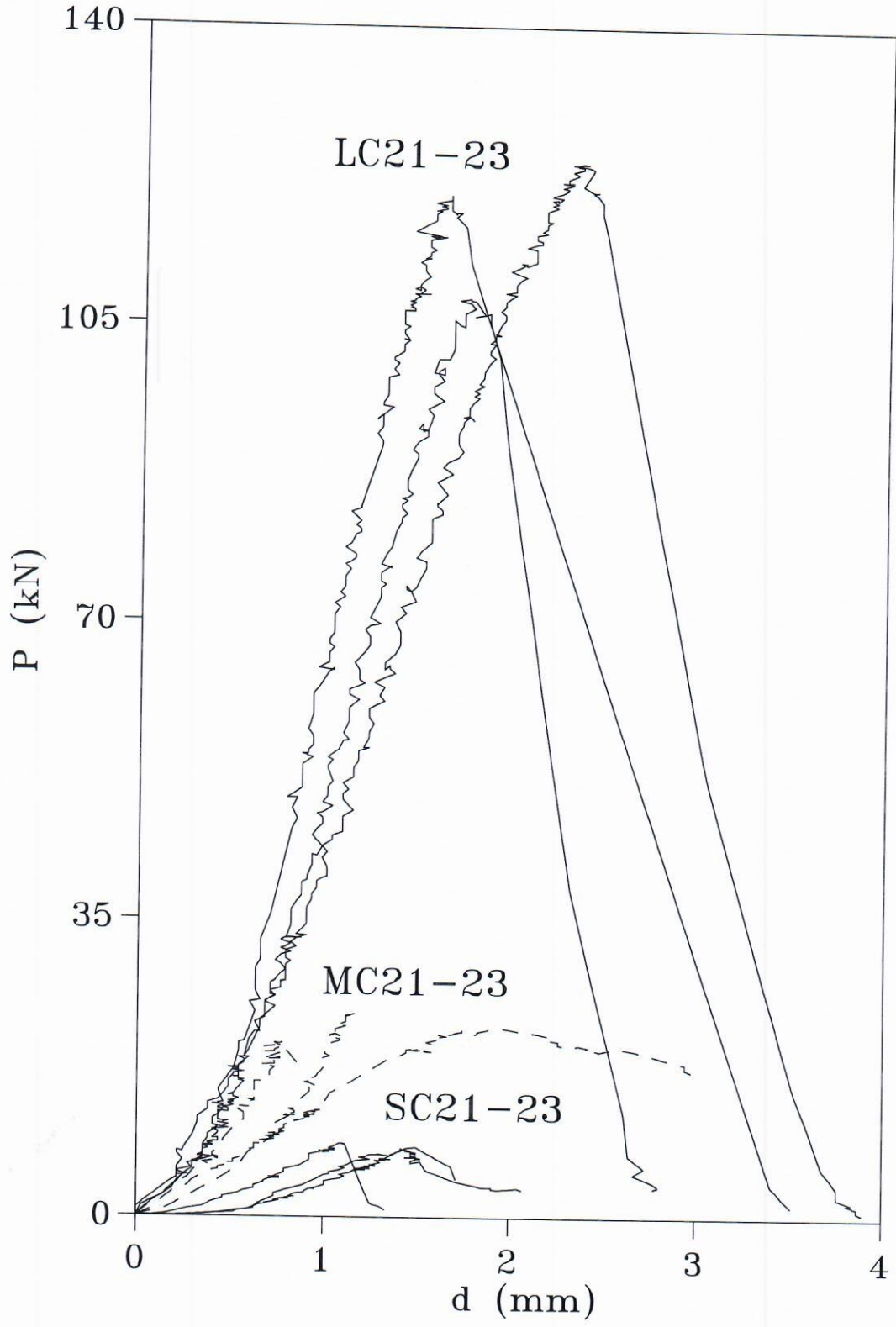
şekil 4.6' da bütün orta narinlikli kolonların aksenal yer değiştirme diyagramları ($\lambda=26$) grafiklerle gösterilmiştir. Görüldüğü gibi burada da yumuşayan bölge küçük numunelerde daha plastik davranış vermektedir.

4.3.3. Büyük narinlikli ($\lambda=39$) kolonlarda aksenal yerdeğiştirmeler

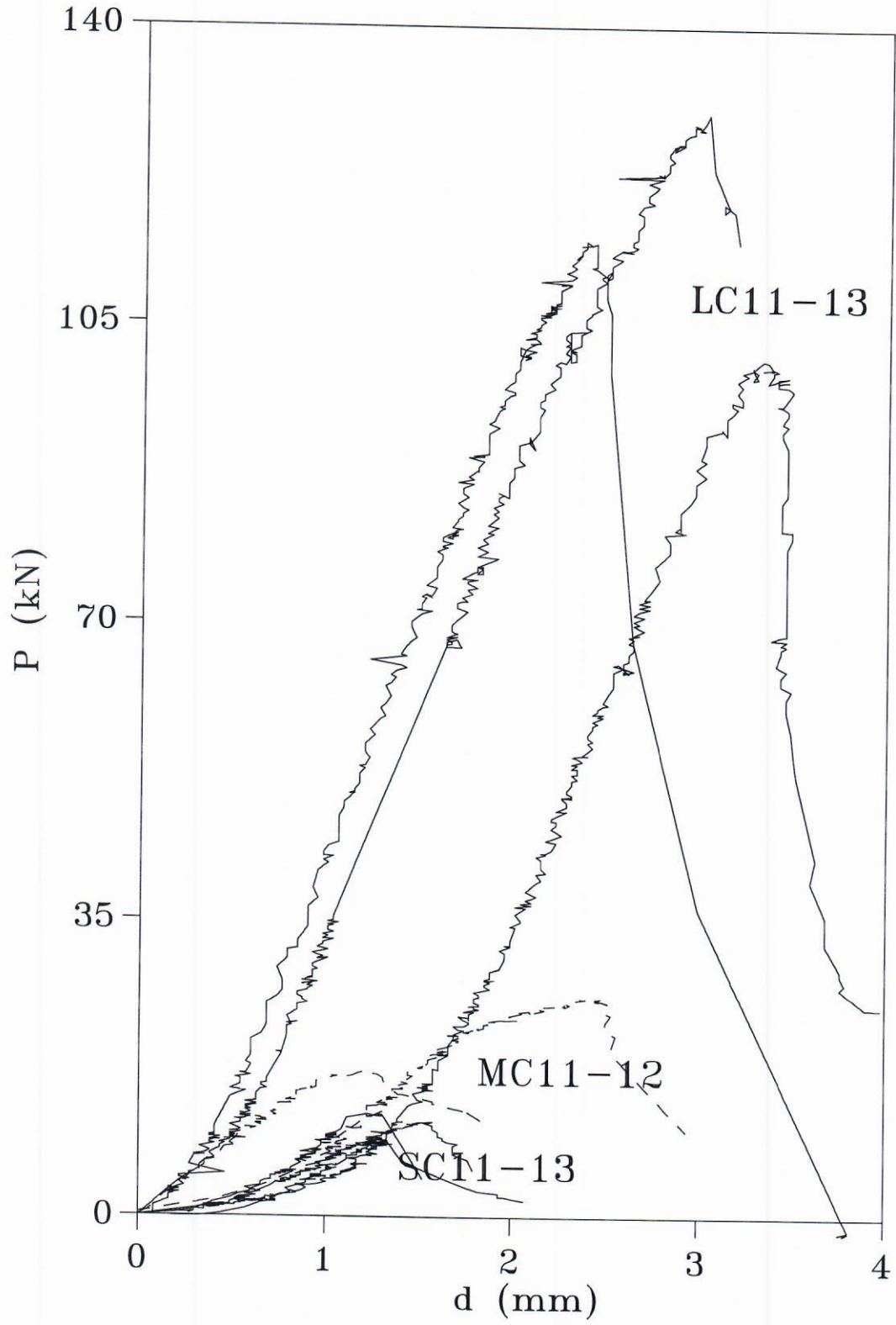
şekil 4.7' de bütün büyük narinlikli kolonların aksenal yer değiştirme diyagramları ($\lambda=39$) grafikte gösterilmiştir. Büyük narinlikli kolonlarda da küçük numunelerin kırılmaları büyüklere göre daha plastik davranış göstermiştir.



Şekil 4.5. Küçük narinlikli kolonların aksenal yer değiştirme diyagramları



Şekil 4.6. Orta narinlikli kolonların aksenal yer değiştirme diyagramları



Şekil 4.7 Büyük narinlikli kolonların aksenal yer değiştirme diyagramları

4.4. Kırılma Mekanizmaları

Deneylerdeki kare kesitli değişken boyutlu beton kolonların eksenel basınç altında ilk çatlakların oluşması en büyük yük değeri civarında olmuştur. Çatlakların oluşumu bazı numunelerde kolon ortalarında, bazılarında ise başlıklara yakın, donatıların bittiğı yerde olmuştur. Bu bölgede meydana gelen çatlamaların nedeni gerilme yığılmalarına bağlanabilir.

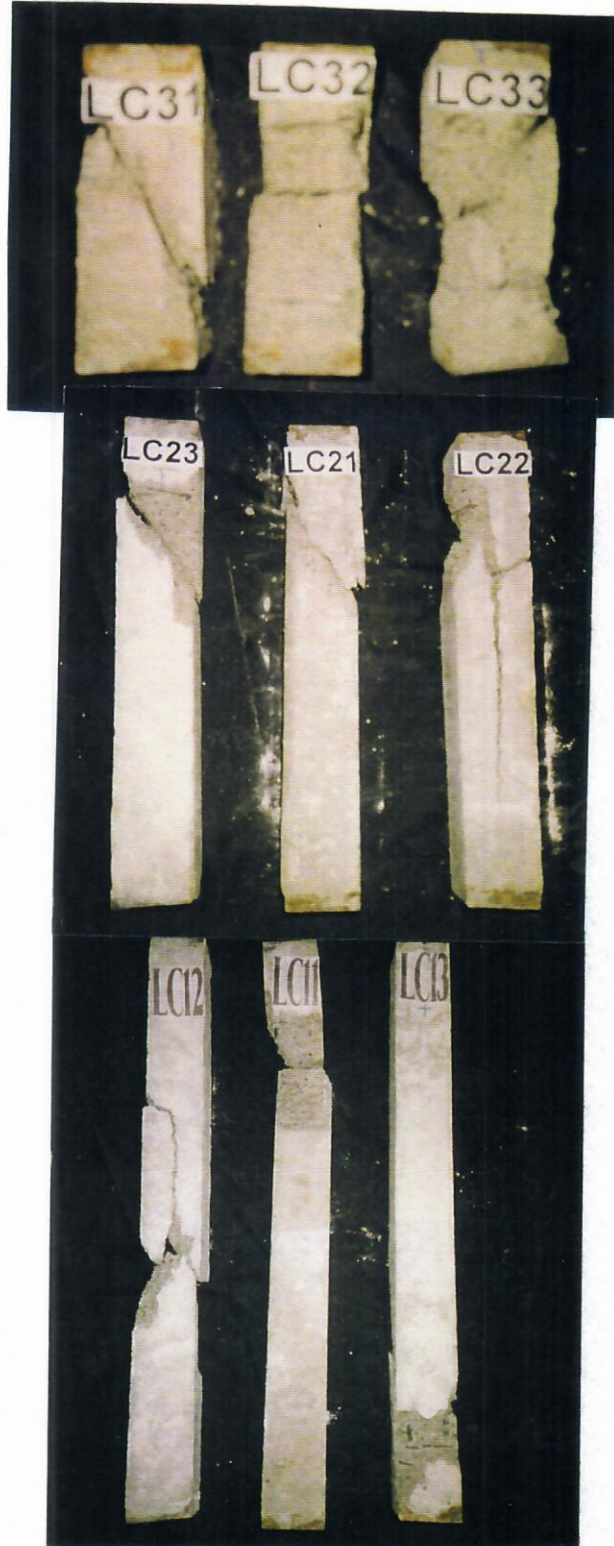
Şekil 4.8.a.'da LC11, LC12, LC13 b'de LC21, LC22, LC23 c'de LC31, LC32, LC33 kolonlarının kırılma sonrası resimleri verilmiştir.

Şekil 4.9.a.'da MC31, MC33, MC33 b'de MC21, MC22, MC23 c'de MC11, MC12 kolonlarının kırılma sonrası resimleri verilmiştir.

Şekil 4.10.a.'da Orta kesitli, b'de büyük kesitli kolonlarının kırılma sonrası resimleri verilmiştir.

Şekil 4.11.a'da Küçük narinlikli, b'de orta narinlikli, c'de büyük narinlikli kolonlarının kırılma sonrası resimleri verilmiştir.

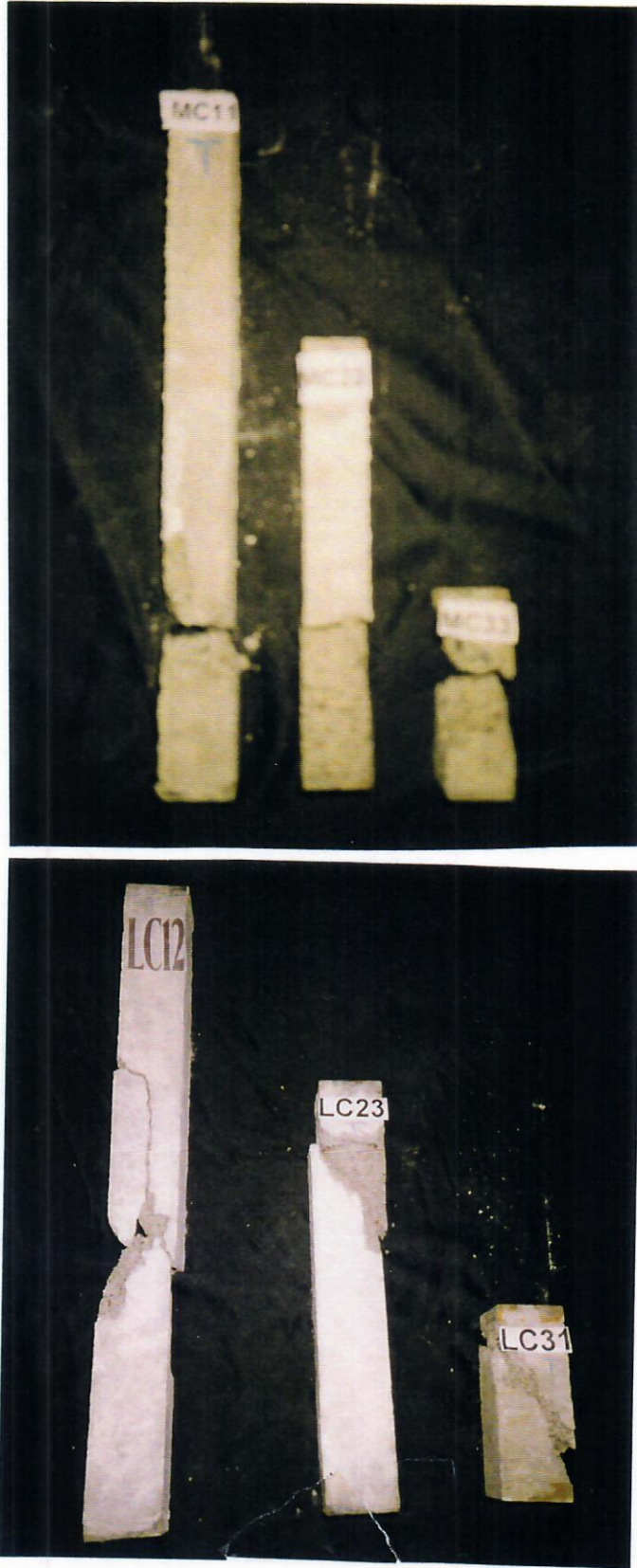
Şekil 4.12'de Farklıkesit ve uzunluklu bütün kolonların kırılma sonrası resimleri verilmiştir.



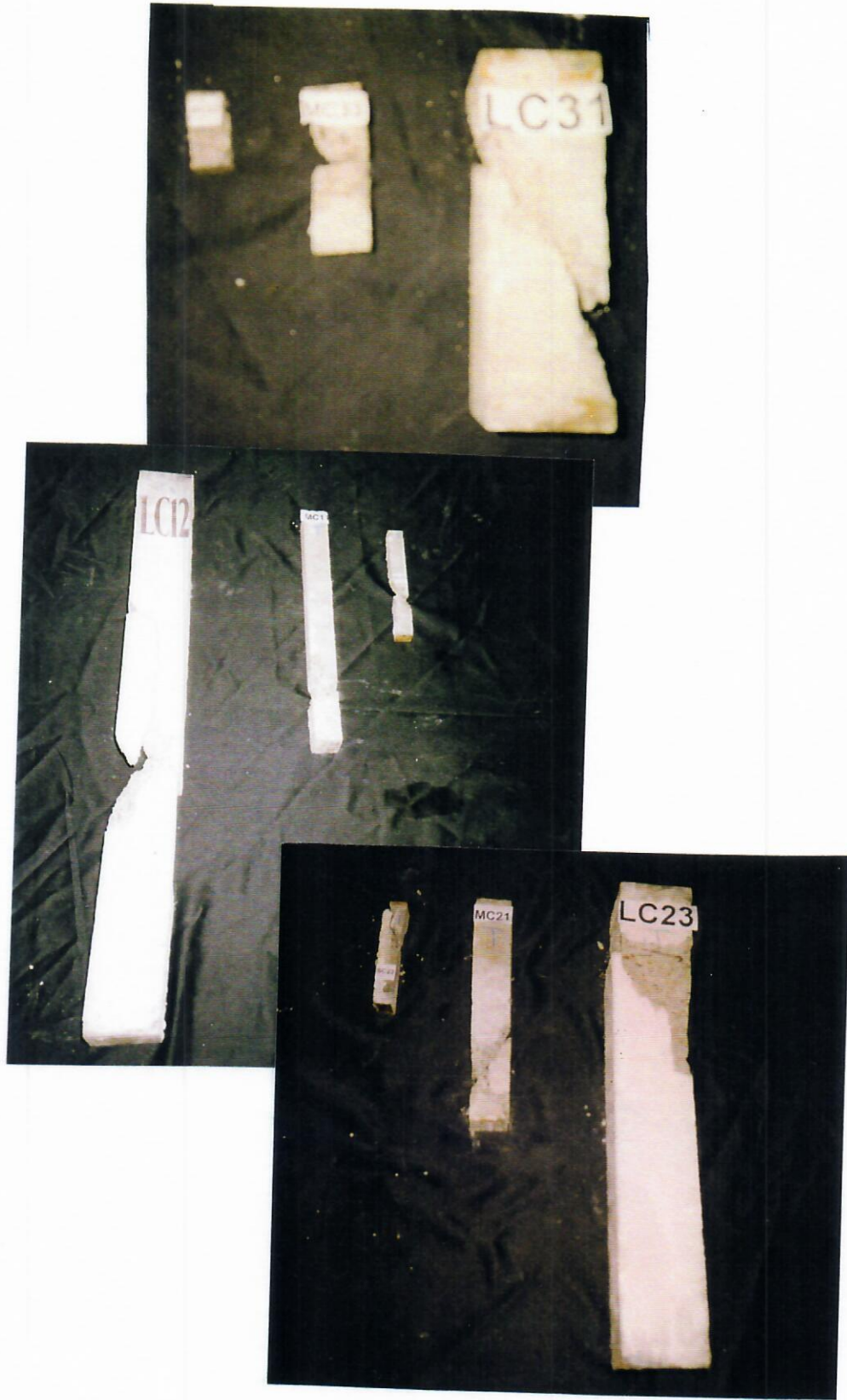
Şekil 4.8. a) LC11, LC12, LC13 b) LC21, LC22, LC23 c) LC31, LC32, LC33 kolonlarının kırılma sonrası resimleri verilmiştir.



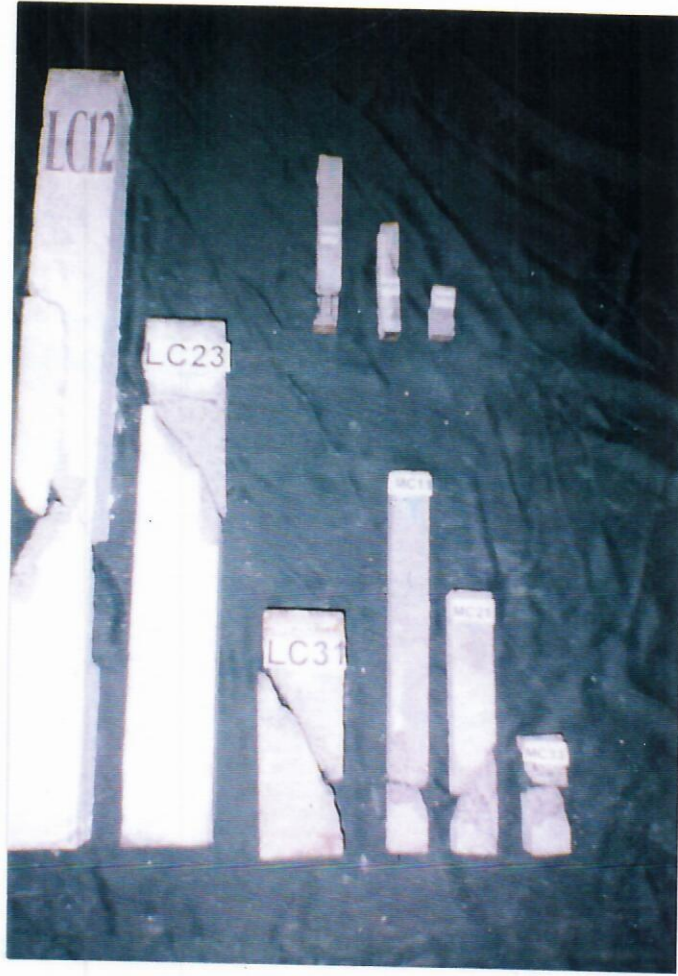
Şekil 4.9. MC31-33, MC21-23, MC11-13
kolonlarının kırılma sonrası resimleri



Şekil 4.10.Orta kesitli, büyük kesili kolonların kırılma sonrası resimleri



Şekil 4.11 Nainliği 13, 26, 39 olan kolonların kırılma sonrası resimleri



Şekil 4.12 Farklı kesit ve uzunluktaki kolonların kırılma sonrası resimleri

5. SONUÇLAR

Toplam 26 adet üç değişik kesit ve narinlikli kolonların eksenel yük altındaki göçme yükleri ile eksenel yerdeğiştirme sonuçlarından aşağıdakiler çıkarılabilir.

1. Deney sonuçlarından beton kolonların göçme yüklerinde boyut etkisinin varlığı görülmüştür.
2. Beton için normal sayılabilecek deney sonuçlarındaki dağılıma rağmen Bazant'ın önerdiği yaklaşık boyut etkisi formülü (Bkz.Denklem 2.8) deney sonuçlarını temsil etmede yeterlidir.
3. Deney numunelerinde, büyük kolonlar büyük kırılma enerjisi depolayarak gevrek (elastik), küçük kolonlar ise daha az kırılma enerjisi depolayarak sünek kırılma (plastik) göstermişlerdir.
4. Küçük narinlikli ($\lambda=13$) kolon deneylerinde $D_0 = 226.67$ mm, orta narinlikli ($\lambda=26$) kolon deneylerinde $D_0 = 1350$ mm, büyük narinlikli ($\lambda=39$) kolon deneylerinde $D_0 = 142.5$ mm bulunmuştur.
5. Eksenel yerdeğiştirme miktarları eleman narinlikleri arttıkça artmış ve en büyük yüke karşı gelen yerdeğiştirmelerde farklı yerlerde olmuştur.

Aralarında ilişki kurmak için çok daha fazla ve değişik boyutta kolon denemek gerekmektedir.

5.1. Gelecek Araştırmalara İlişkin Öneriler

Deneyssel olarak yapılması programlanan bir dizi kolon deneylerinden donatısız olan bu çalışmada karşımıza bazı problemler çıkmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda özellikle bu konularda daha dikkatli olunması gerekmektedir.

1. Boyutlar arasındaki değişime dikkat edilmelidir. Bir sonraki numune bir öncekinden her yönüyle aynı ölçüde büyümüş veya küçülmüş olması gerekmektedir.
2. Elemanın geometrisi önemlidir. Eldeki formüller aynı agrega boyutuna sahip aynı beton karışımından elde edilen numuneler için geçerlidir. Buradaki farklılıklar denklemde yeni parametreler gerektirecektir.
3. Büyük kolonlar gerek kalıpları sökülürken, gerek bakımı ve taşınması sırasında zorluklarla karşılaşıldığından daha küçük kolonlar ya da taşımada daha güvenli ekipmanlar seçilmelidir.
4. Bazı kolon numunelerinde meydana gelen mesnet göçmelerini önlemek için mesnete yakın etriyelerin sayısı ya da çapı arttırılmalıdır. Etriyelerin ana donatılara bağlantıları tel yerine kaynak ya da tutkal ile yapılması kolon başlarındaki donatı sıkışıklığından ötürü beton yerleşiminin güçlüğünü ortadan kaldıracak, daha homojen kolon elde etmeyi sağlayacaktır.
5. Silindir numunesi alınırken silindir kalıbının içerisinde boşluklar kalmakta bu da dayanımı etkilemektedir. Oldukça iyi sıkıştırma yapılmalıdır.
6. Daha büyük agrega çapı olan beton kullanılarak elde edilecek kolon deneyleri ile gerçek betona yakın özellikler elde edilebilir [51].

KAYNAKLAR

1. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1984, 75 sayfa.
2. Bazant, Z.P., Kwon, Y.W. "Failure of Slender and Stocky Reinforced Concrete Columns: Tests of Size Effect", Materials and Structures, 1994, 27, 79-90.
3. Nilson, A.H., Winter, G., "Design of Concrete Structures", 10th Edn. McGraw-Hill, New York, 1986.
4. McGregor, J.G. "Reinforced Concrete: Mechanics and Design", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1988.
5. Bazant, Z.P., Cedolin, L., "Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories", Oxford University Press, NY, 1991.
6. Bazant, Z.P., Cedolin, L., Tabbara, M.R. "New Method of Analysis for Slender Columns", ACI Struct. Journal 88(4), 1991, 391-401.
7. Barenblatt, G.I., "Dimensional Analysis", Gordon & Breach, NY, 1987.
8. Bazant, Z.P., "Size Effect in Blunt Fracture: Concrete, Rock, Metal", J.Engng. Mech. ASCE, 110, 1984, 518-535.
9. Bazant, Z.P., Xi, Y., Reid, S.G., "Statistical Size Effect in Quasi-Brittle Structures: is Weibull Theory Applicable?", Ibid. 117 (11), 1991, 2609-2622
10. Bazant, Z.P., Xi, Y., ., "Statistical Size Effect in Quasi-Brittle Structures: non-local theory", Ibid. 117 (11), 1991, 2623-2640
11. Bazant, Z.P., and Cao, Z., "Size Effect in Shear Failure of Prestressed Concrete Beams", ACI Journal, Proceedings, Vol. 83, No.2, Mar-Apr. 1986, pp. 260-268.
12. Bazant, Z.P., and Kim, J.K., "Size Effect in Shear Failure of Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, Proceedings, Vol.81, No. 5, Sept-Oct. 1984, pp. 456-468, and Discussion, Vol. 82, No.4, July-Aug. 1985, pp. 579-583.
13. Bazant, Z.P., and Kim, J.K., Şener, S., Discussion of paper 12, ACI Journal, Vol.82, No.4, July 1985, pp. 579-583.

14. Bazant, Z.P., and Sun, H.H., "Size Effect of Diagonal Shear Failure; Effect of aggregate Size and Stirrups. "ACI Materials Journal, Vol.84, No.4, July-Aug. 1987, pp. 259-272.
15. Bazant, Z.P., Cao, Z., "Size Effect in Brittle Failure of Unreinforced Pipes", ACI Journal, Proceedings, Vol.83, No.3, May-June 1986, pp.369-373.
16. Bazant, Z.P., and Şener, S., "Size Effect in Torsional Failure of Concrete beam", J. Struct. Eng. Proc. ASCE Vo.113, 1987, pp.2125-2136.
17. Bazant, Z.P., and Cao, Z., "Size Effect in Punching Shear Failure of Slabs", ACI Structural Journal, Vol.84, No.1, Jan-Feb. 1987, pp. 44-53.
18. Bazant, Z.P., Şener, S., and Prat, P., "Size Effect Tests of Torsional Failure of Plain and Reinforced Concrete Beams", RILEM & Materials and Structures, Vol.21, 1988, pp. 425-430.
19. Şener, S., "Betonda Dağlı Çatlakların Doğurduğu Boyut Etkisi", VI. Ulusal Mekanik Kongresi, Kirazlıyayla, Bursa, Eylül 1989, İTÜ 1990, s. 642-650.
20. Bazant, Z.P., and Şener S., "Size Effect in Pull-out Tests", ACI Materials Journal, Vol.85, No.5, Sept.-Oct. 1988, pp. 347-351.
21. Bazant, Z.P., and Şener, S., "Tests of Size Effect in Pull-Out of Reinforcing Bars from Concrete" Computational Mechanics of Concrete Structures-Advances and Applications, IABSE Colloquium, Delft, Netherland August 1987, pp.139-142.
22. Şener, S., "Beton Küplerde Demir Çubukların Çekip Çıkarılma Yüklerinde Boyut Etkisi", V. Ulusal Mekanik Kongresi, Bursa, Eylül 1987, TUMTMK 1992, s. 866-867.
23. Bazant, Z.P., and Kazemi, M.T., "Size Effect on Diagonal Shear Failure of Concrete Beams Without Stirrups", ACI Structural Journal, Vol. 88, No.3, May-June 1991, pp.268-276.
24. Bazant, Z.P., Kazemi, M.T. Hasegawa, T., and Mazars, J., "Size Effect in Brazilian Split-Cylinder Tests; Measurements and Fracture Analysis", ACI Materials Journal, Vol.88, No.3, May-June 1991, pp. 325-332.
25. Bazant, Z.P., and Scheil, W.F., "Fatigue Fracture of High-Strength Concrete and Size Effect", ACI Materials Journal, Vol.90, No.5 Sept-Oct. 1992, pp. 472-478.

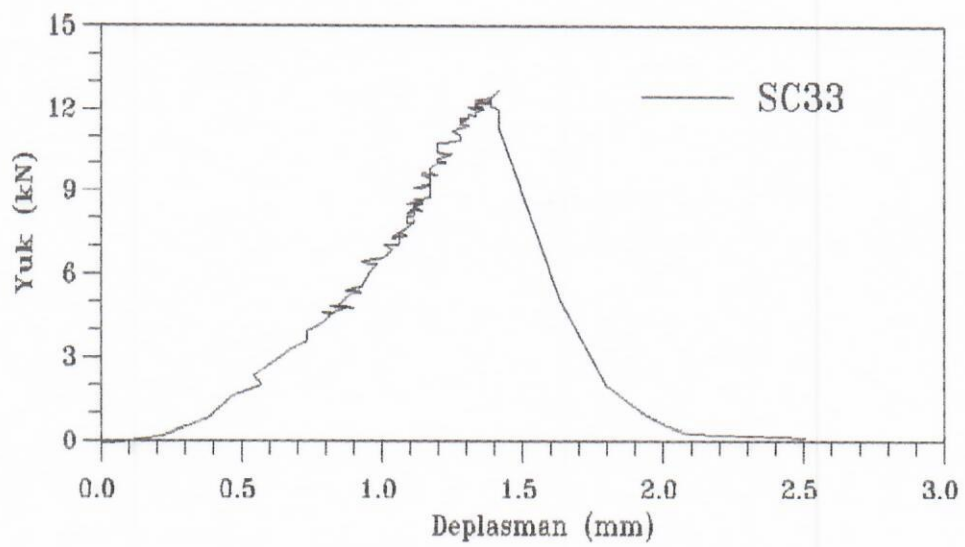
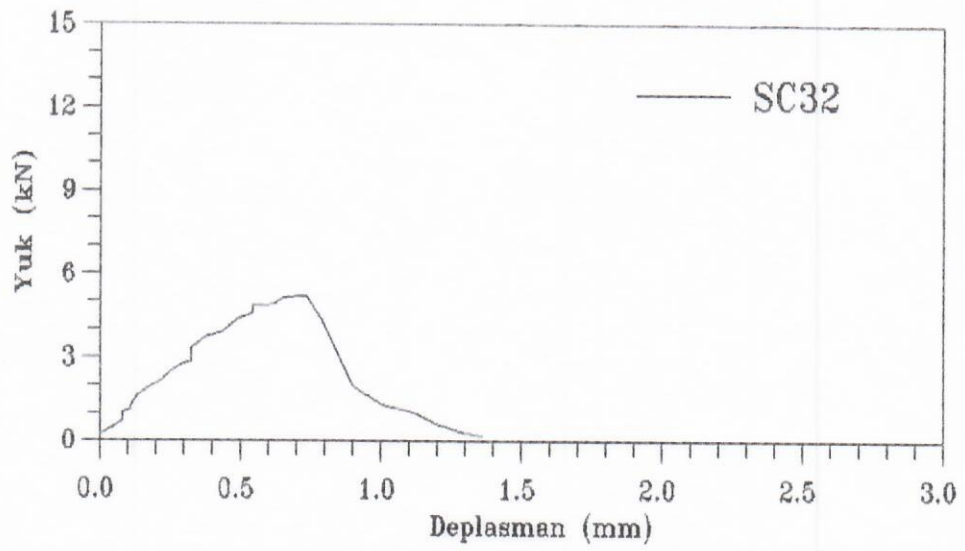
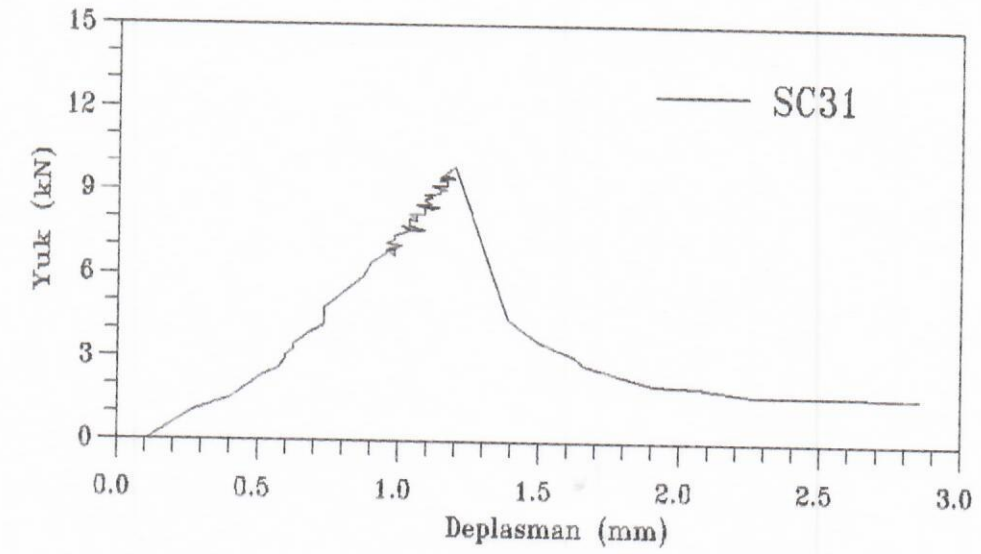
26. Marti, P., "Size Effect in Double-Punch Tests on Concrete Cylinders", ACI Materials Journal, Vol. 86, 1989, pp. 597-601.
27. Hawkins, N.M., "The Role for Fracture Mechanics in Conventional Reinforced Concrete Desing", NATO workshop, of Fract. Mech., Sept Northwestern Univ., 1989, Evanston, III.
28. Şener, S., "Betonarme Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi," İMO XI Teknik Kongre, İstanbul Ekim, 1991, s. 117-128.
29. Şener, S., "Size Effect in the Direct Loading Tests", Advances in Civil Engineering, First Technical Congress Gazimagusa. North Cyprus, October 25-27, 1993. pp.720-727.
30. Şener, S., "Size Effect in Bond Splices Tests", FIP'92 Symposium. Budapest, Hungary, May 1992, pp. 357-362.
31. Şener, S., "Gevrek Malzeme Göçmesinde Boyut Etkisi", VII. Ulusal Mekanik Kongresi, Antalya, Eylül 1991, s.567-576.
32. Şener, S., "Sargılı Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi", İMO XII. Teknik Kongresi, Ankara, Mayıs 1993, s. 481-494.
33. Şener, S., Timur, İ., "Size Effect in Bond Splices Tests Under the Indirect Loading", Advances in Civil Engineering First Technical Congress. Gazimagusa, North Cyprus, October 25-27, 1993, pp. 728-735.
34. Şener, S., "Bond Splices Tests Based on Fracture Mechanics", The Fourth International Symposium on Brittle Matrix Composites, Warsaw 1994, pp.569-576.
35. Şener, S., "Concrete Structures Desing based on Fracture Mechanics", The Third Inter Kerensky Conference on Global Trends in Structural Engineering, Singapore, 1994, pp. 563-567.
36. Şener, S., Belgin, Ç., "Load Controlled Tests for Bond Splices, "Ist. Turkish International Syposium on Deformations, September 5-9, İstanbul 1994.
37. Şener, S., "Size Effect in Failure of Splices of Reinforcing Bars in Concrete, "Bulletin of the Technical University of İstanbul, Vol.47, No.1, İstanbul 1994, pp. 337-355.

38. Şener, S., Aydın, İ., "Beton Kirişlerin Tasarımında Kırılma Mekanizmasının Kullanılması", "IX. Ulusal Mekanik Kongresi", 4-8 Eylül 1995 Ürgüp, pp. 878-879.
39. Şener, S., Belgin, Ç., Aydın, İ., Selçuk, E., "Burulma Altında Boyuna Donatılı ve Donatısız Betonarme Kirişlerde Boyut Etkisi", "I. Sistem Müh. ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu" 1995 Ankara, s. 56-64.
40. Şener, S., "Yüksek Dayanımlı Betonda Kırılma Mekanizması" İTÜ Prof. Turgan Sabis Sempozyumu 1995, İstanbul, s. 209-219.
41. Şener, S., "Size Effect High Strength Concrete" Journal of Materials in Civil Eng. ASCE, Vol.9, No.1, 1997, pp.46-48.
42. Şener, S., Belgin Ç., Akyıldız A., Okkalı, S., Köybaşı, "Size Effect in Axially Loaded Reinforced Concrete Columns, "Concrete Technology for Developing Countries Fourth International Conference, Eastern Mediterranean University, 1996, North Cyprus, pp. 640-646.
43. Belgin, Ç., Şener, S., "Narin Beton Kolonlarda Boyut Etkisi Deneyleri", İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, 147-155, 1997.
44. Şener, S., Belgin Ç., Öztürk A., "Betonarme Kolonlarda Yapım Kusurlarının Deneysel Bulunması", 10. Ulusal Mekanik Kongresi, 85-86, 1997.
45. Celep, Z., Kumbasar, N., "Betonarme Yapılar", Beta dağıtım, İstanbul, 1996, 851 s.
46. Kaplan, M.F., "Crack Propagation and the Fracture of Concrete, "Am. Con. Ist. J., Vol, 58, 11, 1961.
47. Bazant, Z.P., "Fracture Energy of Heterogeneous Materials and Similitude, "Proceedings, RILEM-SEM International Conference on Fracture of Concrete and Rock (Houston, June 1987), Springer-Verlag, New York 1989, pp. 229-241.
48. Gustafsson, P.J., and Hillerborg, A., "Sensitivity in Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 85, No.3, May-June 1988, pp. 286-294.
49. Carpinteri, A., "Decrease of Apparent Tensile and Bending Strength With Specimen Size: Two Different Explanations Based on Fracture

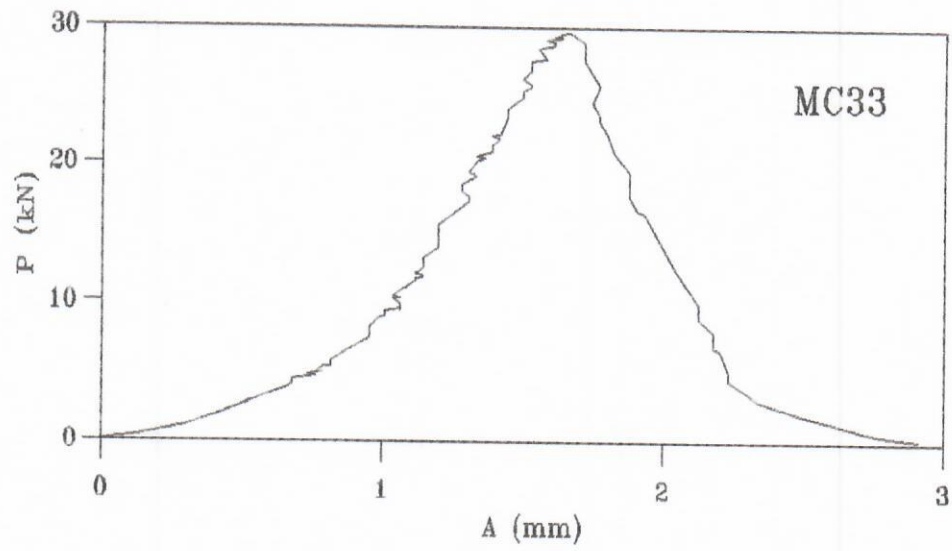
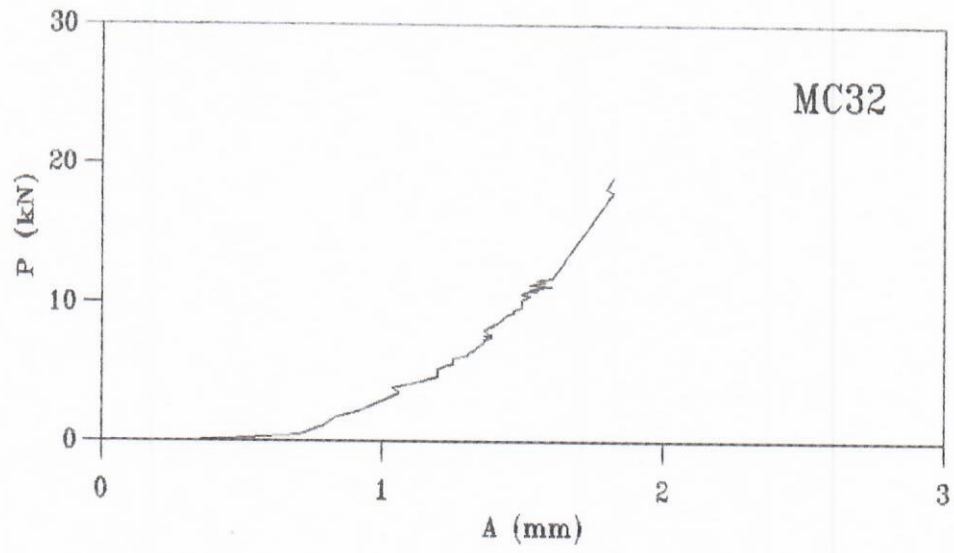
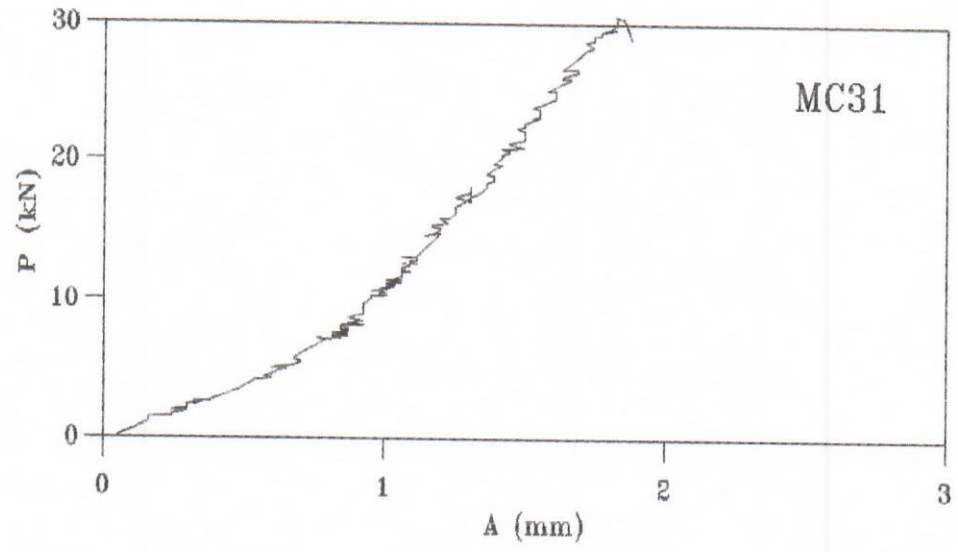
- Mechanics", International Journal of Solids and Structures, Vol. 25, No.4, 1989, pp. 407-429.
50. Report by ACI Committee 446, Fracture Mechanics, "Fracture Mechanics Of Concrete: Concepts, Models and Determination of Material Properties"
51. Hadi, A., Şener,S., Barr,B., "Size Effect Tests for Plain and Reinforced Concrete Columns", Report, University of Wales, Cardif, 1996.

EKLER

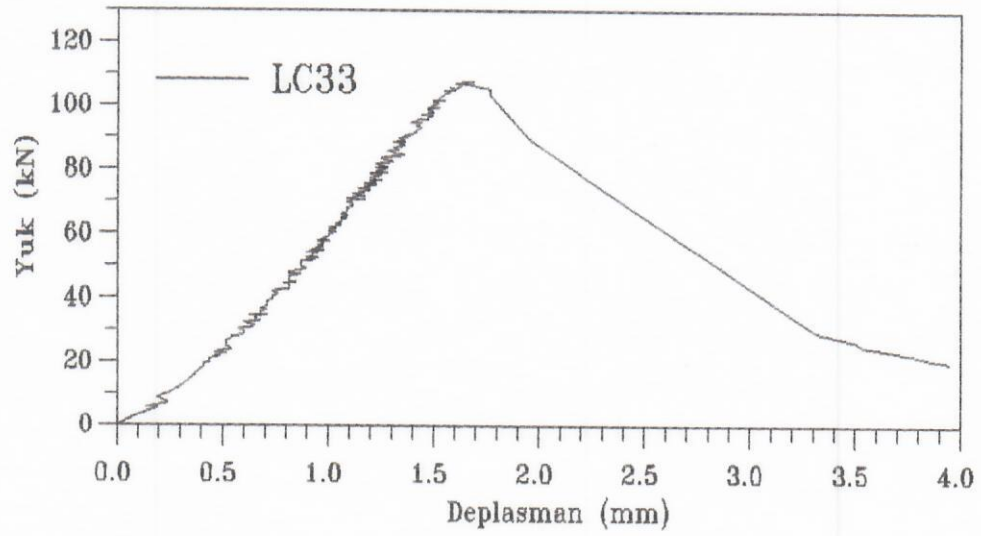
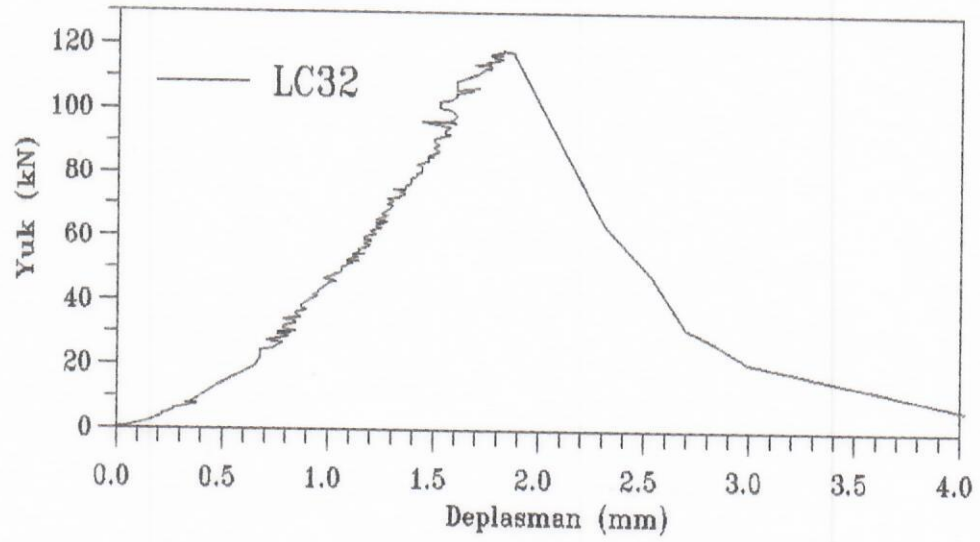
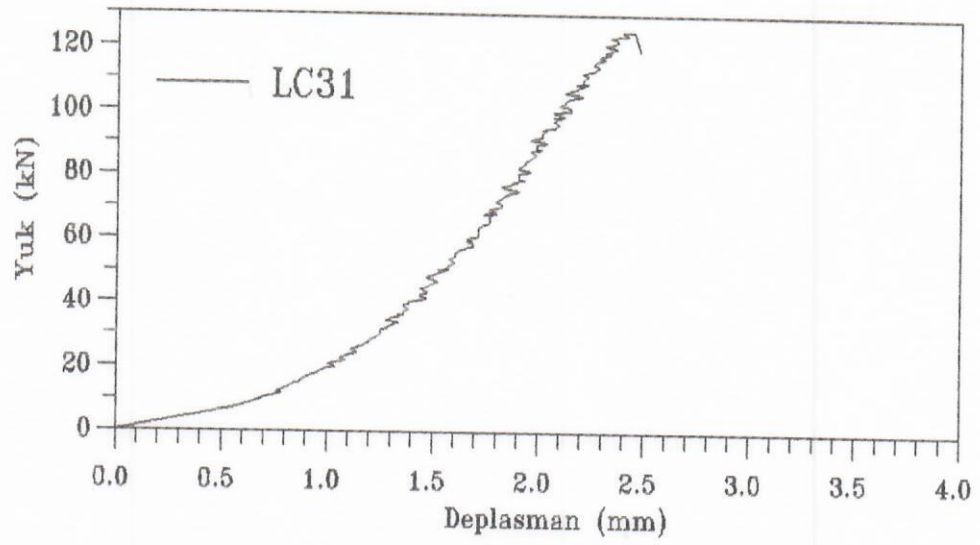
- Şekil E1.'de küçük kesitli kısa kolonların yük-deplasman diyagramları
- Şekil E2.'de orta kesitli kısa kolonların yük-deplasman diyagramları
- Şekil E3.'de büyük kesitli kısa kolonların yük-deplasman diyagramları.
- Şekil E4.'de küçük kesitli orta kolonların yük-deplasman diyagramları.
- Şekil E5.'de orta kesitli orta kolonların yük-deplasman diyagramları.
- Şekil E6.'de büyük kesitli orta kolonların yük-deplasman diyagramları.
- Şekil E7.'de küçük kesitli uzun kolonların yük-deplasman diyagramları.
- Şekil E8.'de orta kesitli uzun kolonların yük-deplasman diyagramları.
- Şekil E9.'de büyük kesitli uzun kolonların yük-deplasman diyagramları.



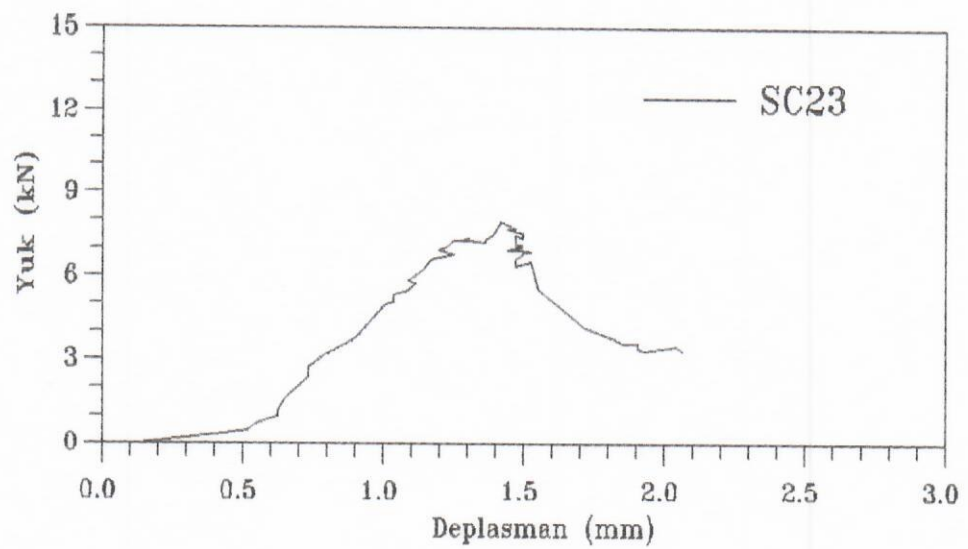
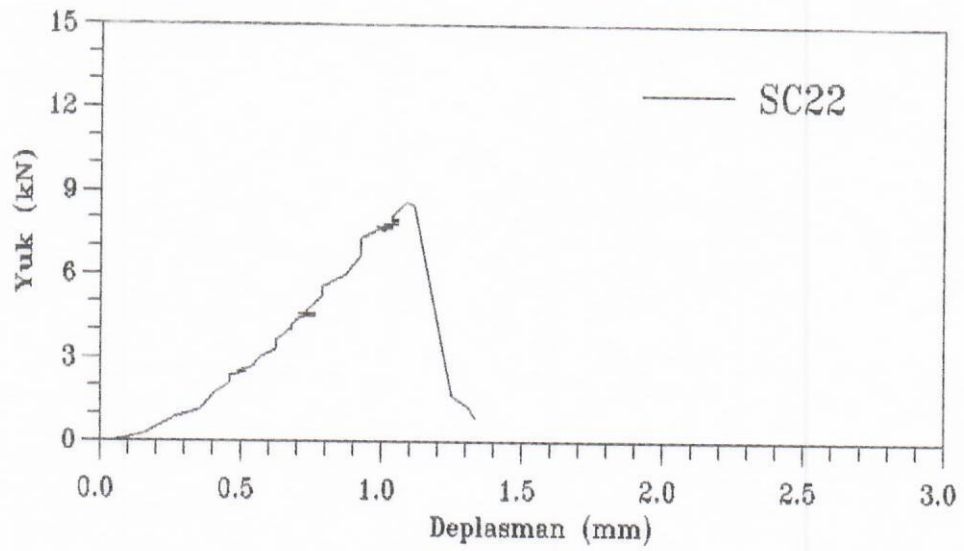
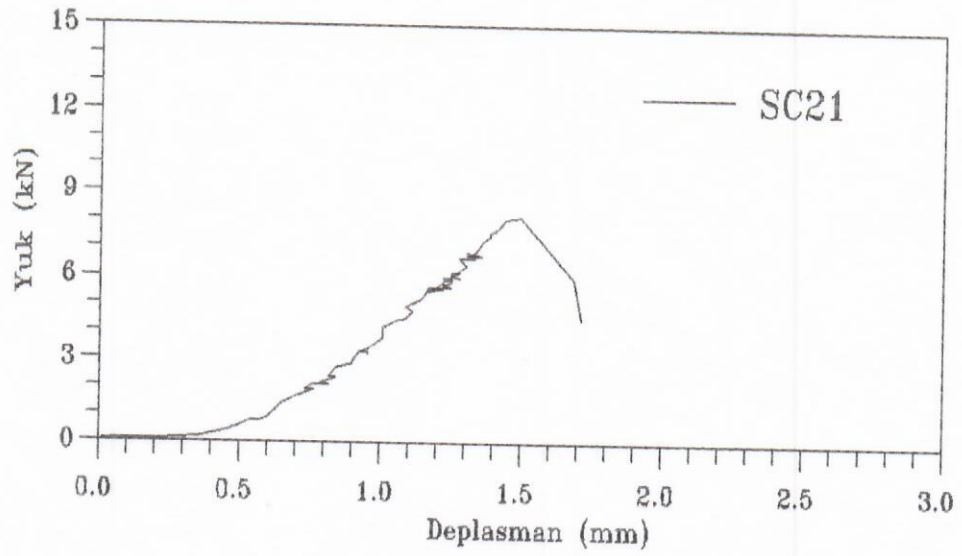
Şekil E1 Küçük kesitli kısa kolonlar



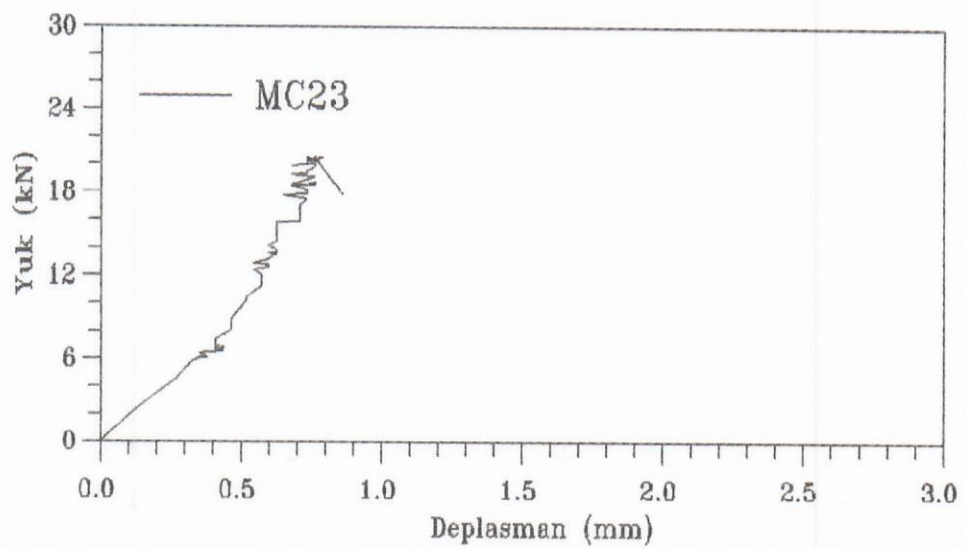
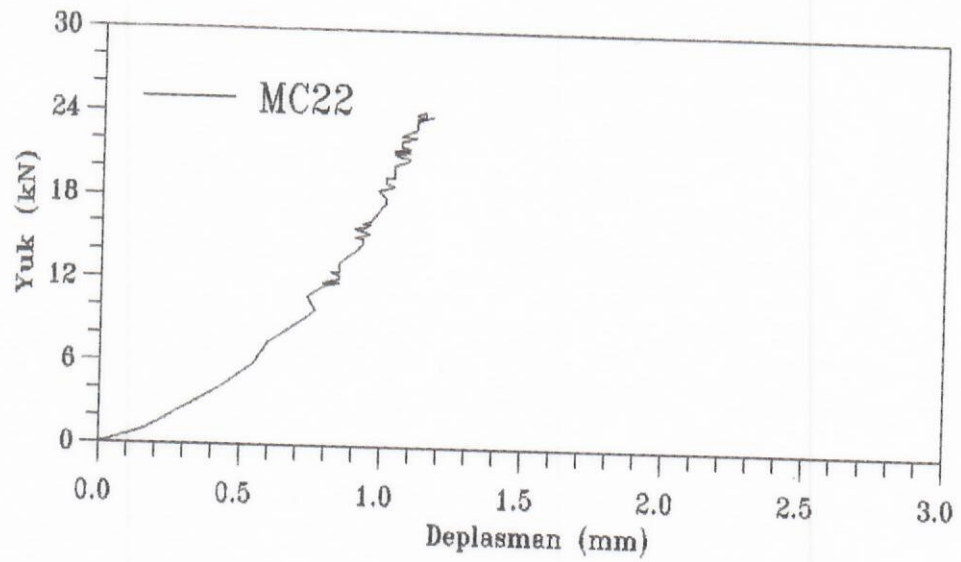
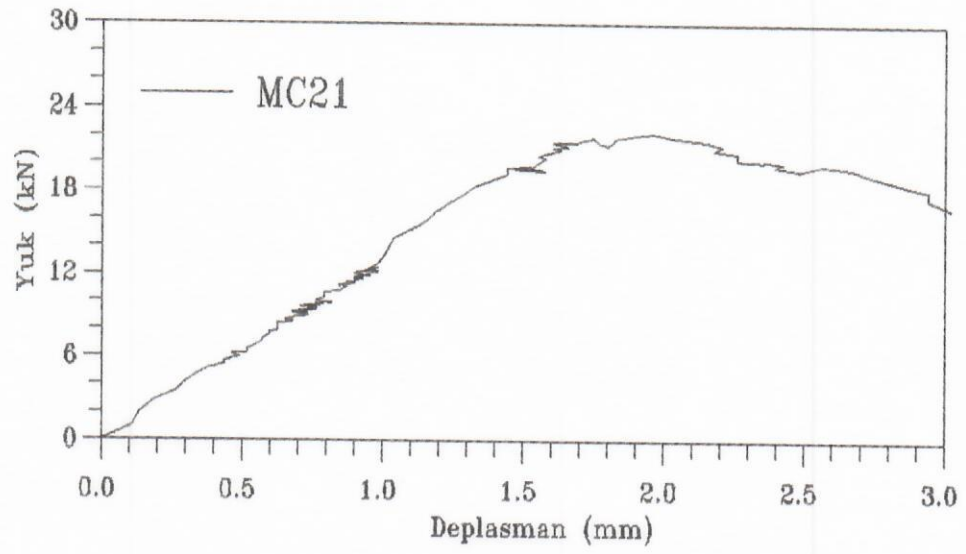
Şekil E2 Orta kesitli kısa kolonlar



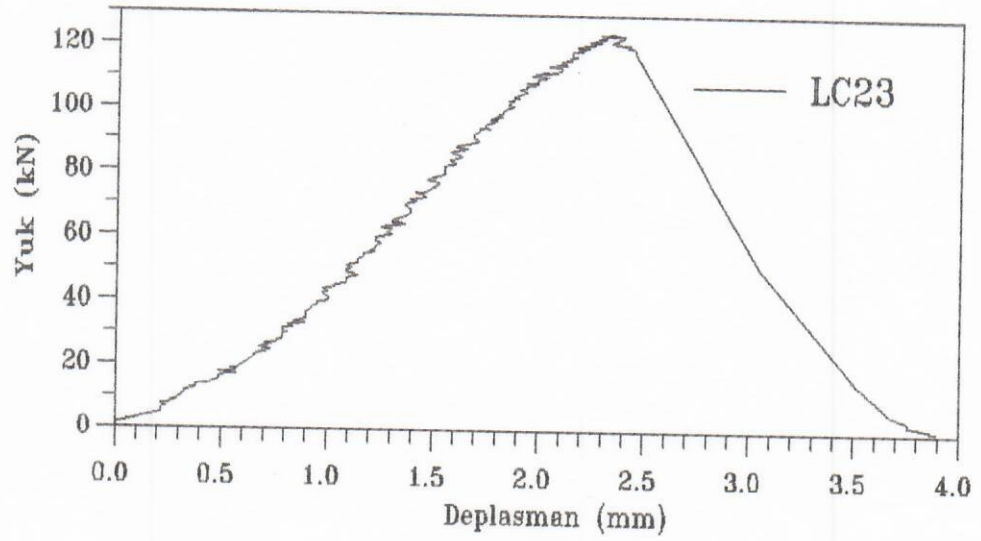
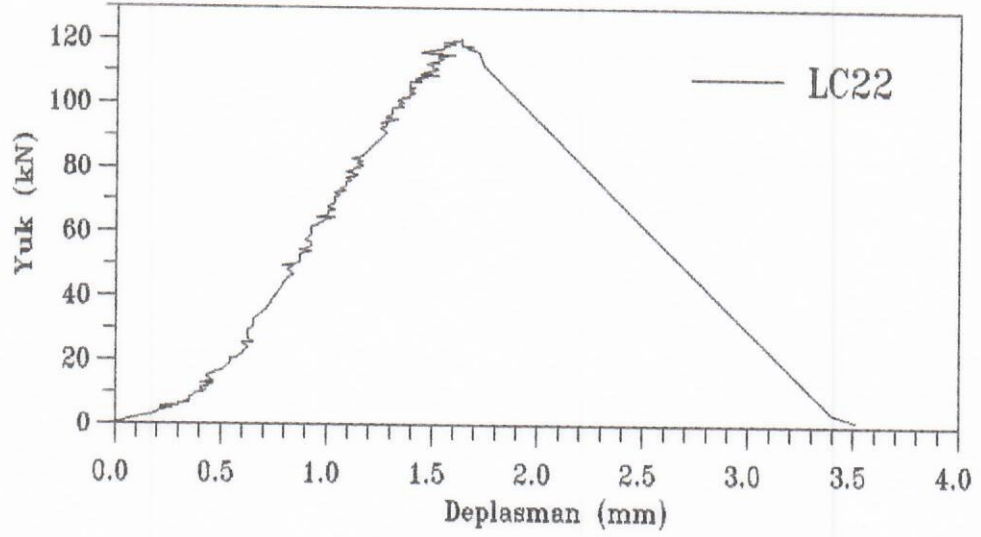
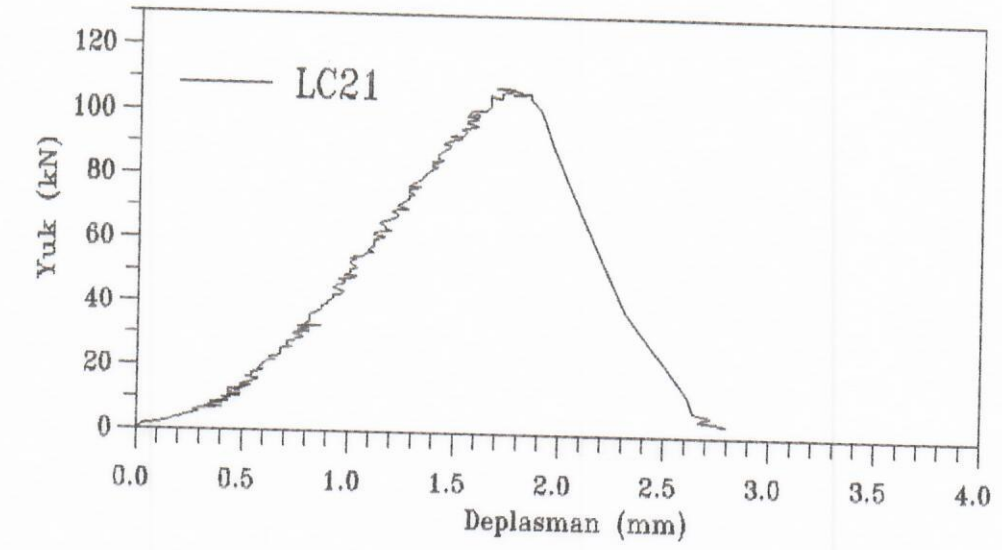
Şekil E3 Büyük kesitli kısa kolonlar



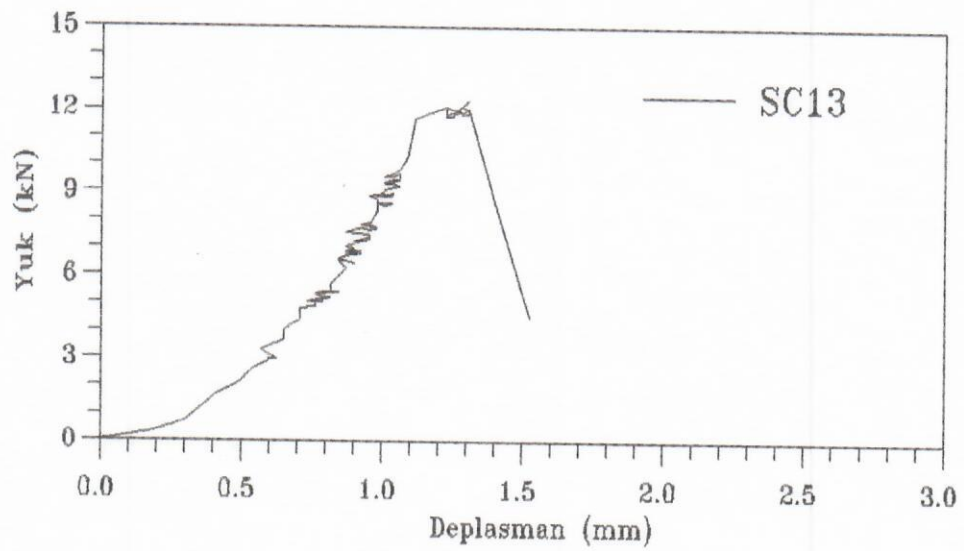
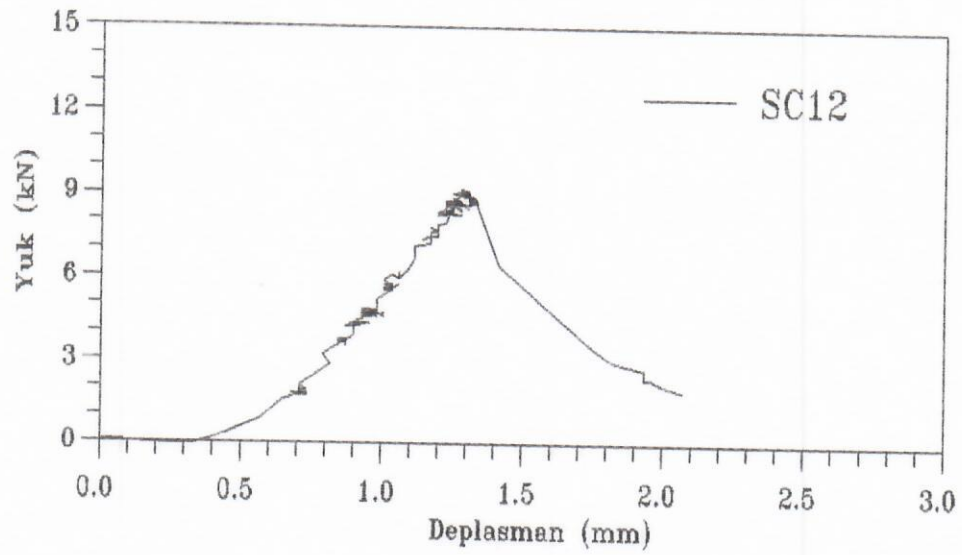
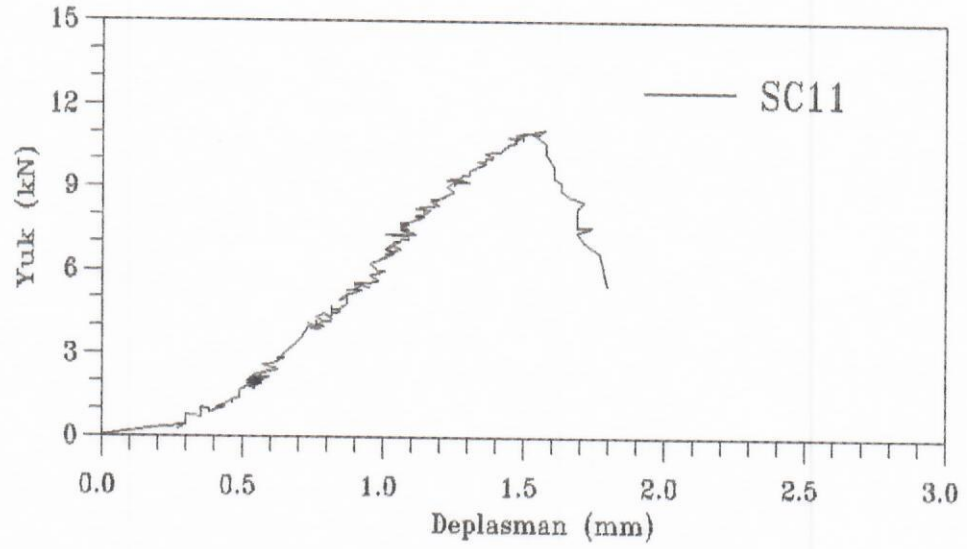
Şekil E4 Küçük kesitli orta kolonlar



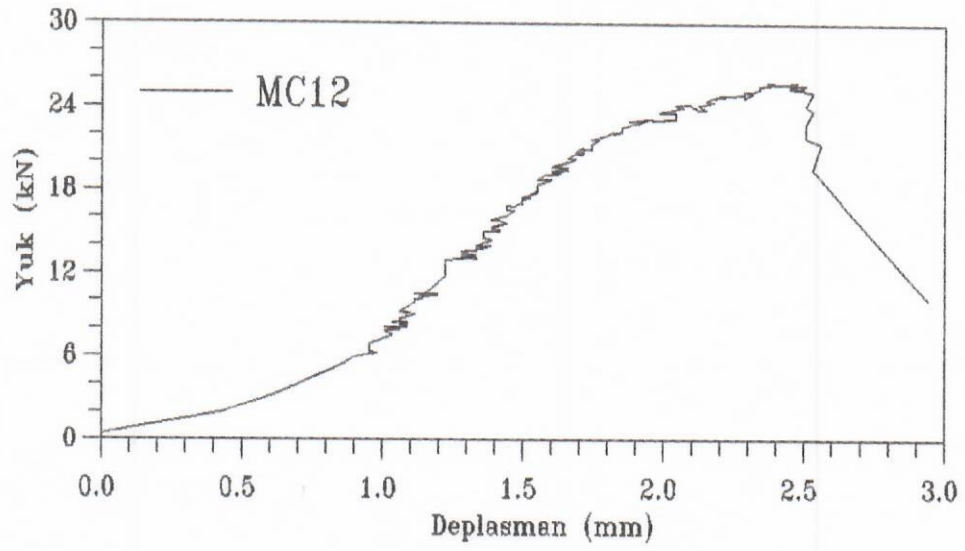
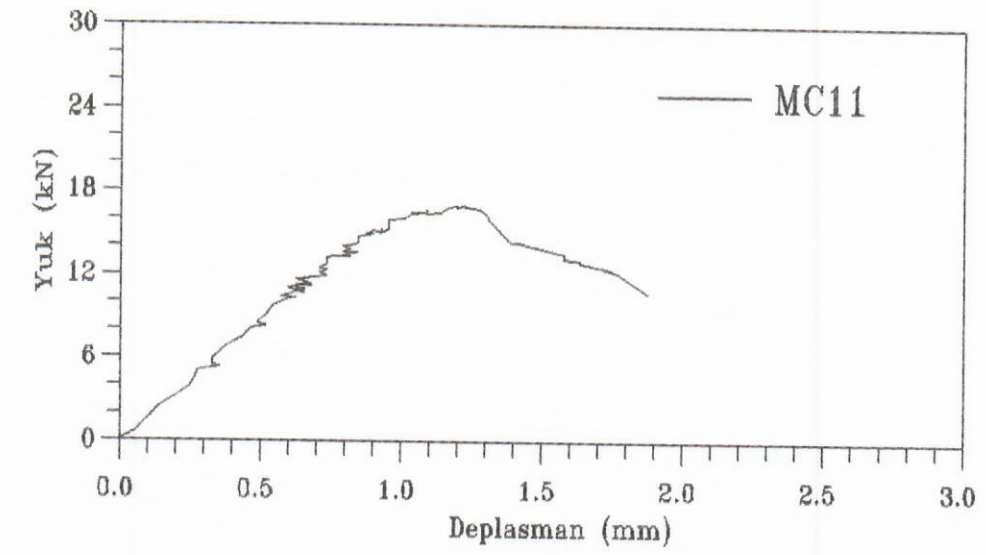
Şekil E5 Orta kesitli orta kolonlar



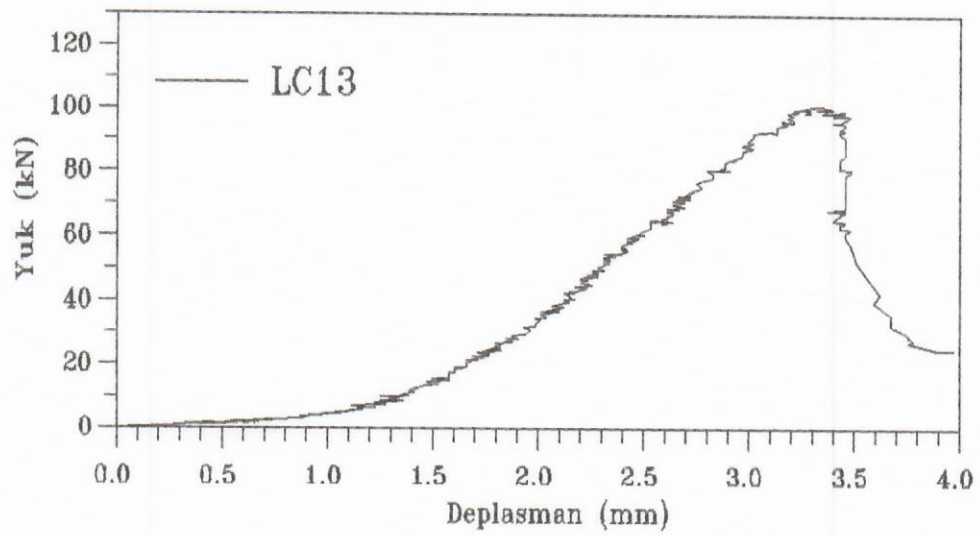
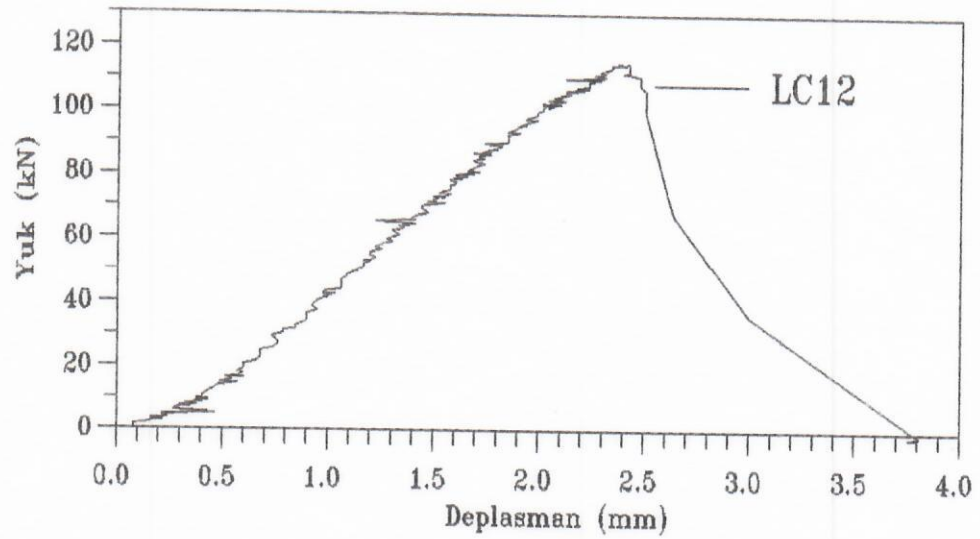
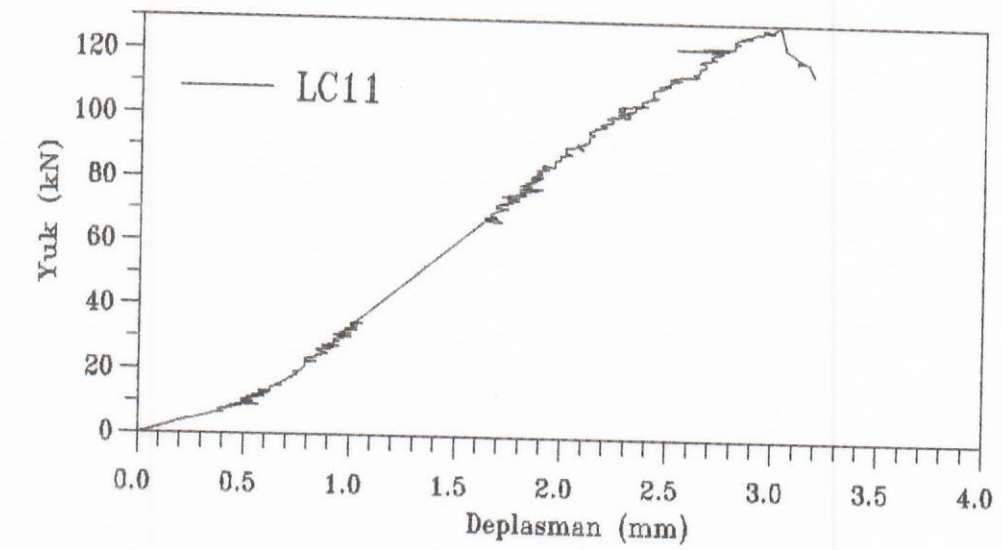
Şekil 4. E6 Büyük kesitli orta kolonlar



Şekil 4. E7 Küçük kesitli uzun kolonlar



Şekil 4. E8 Orta kesitli uzun kolonlar



Şekil 4. E9 Büyük kesitli uzun kolonlar