



**EKSENEL YÜK ALTINDAKİ ÇELİK LİFLİ VE LİFSİZ  
ETRİYELİ BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞININ  
DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ**

***EXPERIMENTALLY AND ANALYTICAL INVESTIGATION OF AXIALLY  
LOADED TIED COLUMNS WITH AND WITHOUT STEEL FIBERS***

**M.Yaşar KALTAKCI\*, Ali KÖKEN\*, Ülkü S.YIMAZ\***

**ÖZET/ABSTRACT**

Bu çalışmada, eksenel yük altındaki çelik lifli/fiberli ve lifsiz/fibersiz etriyeli betonarme kolonların davranışı, hem deneysel hem de analitik olarak incelenmiştir. Deneysel bölümde 18 adet dikdörtgen kesitli etriyeli betonarme kolon eksenel yük altında test edilmiştir. Deney numunelerinin taşıma güçleri ile eksenel yük-boyuna birim kısalma ilişkisi elde edilmiştir. Analitik çalışmada ise, malzeme için geliştirilmiş olan matematiksel modellerden Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri ile Geliştirilmiş Kent ve Park Modelleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmış, hesap esasları verilmiştir. Ayrıca, söz konusu bu matematiksel modeller kullanılarak deney numunelerinin analitik çözümü yapılmıştır. Elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılarak irdelenmiştir.

*In this study, the behaviour of axially loaded columns with and without steel fibers was investigated experimentally and analytically. In the experimental part, 18 rectangular reinforced concrete columns were tested under the axial load. Load carrying capacity and axial load-strain relationships of the specimens were obtained. In the analytical part, mathematical models (Saatcioglu and Ravzi, Sheikh and Uzumeri, Modified Kent and Park) which were derived for axially loaded column were investigated. In addition, the analytical solution which uses these mathematical models was carried out. Experimental and analytical results were compared and obtained results were discussed.*

**ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS**

Eksenel yüklü kolonlar, çelik lifli beton, betonarme kolonlar için matematiksel modeller  
*Axially loaded columns, concrete with steel fiber, mathematical models for R/C columns*

---

\* Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, KONYA

## 1. GİRİŞ

Kolonlar, yapı sistemindeki önemli taşıyıcı elemanlardır. Bu nedenle, betonarme kolonların davranışının ve taşıma gücünün bilinmesi oldukça önemlidir. Betonarme elemanların davranışlarının gerçekçi olarak belirlenebilmesi için, betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin iyi bilinmesi önem taşır. Betonun gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin, çok sayıda değişkenden etkilendiği, bu nedenle her durum için geçerli tek bir eğrinin tanımlanmasının olanaksız olduğu bilinmektedir. Betonun gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi, enine donatı ile sarılması durumunda, sarılmamış duruma göre önemli farklılıklar gösterir. Sargı donatısının davranış üzerinde iki önemli etkisi vardır; bunlar basınç dayanımını ve sünekliği artırmasıdır. Sargılı betonun basınç gerilmeleri altındaki davranışının belirlenmesi amacı ile çok sayıda deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara rağmen, mevcut deneysel veriler ile önerilmiş olan teorik modellerin verdiği sonuçlar arasında önemli farklılıklar görülebilmektedir. Bunun en önemli nedeni, sargılı betonun davranışını çok sayıda değişkenin etkilemesidir.

Bu çalışmada, betonarmede kesit çözümlemesi yapmak üzere çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş olan sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri ve uygulamalı örneklerle bazı modellerin karşılaştırmaları sunulmaktadır.

Sargılı betonun davranışı, enine donatı hacimsel oranı, aralık, çap ve dayanımı, boyuna donatının kesit içinde dağılımı, beton basınç dayanımı, yükleme hızı ve biçimi gibi pek çok değişkenden etkilendiği için, bu değişkenlerin geniş aralıklarda farklı değerler almaları durumunda geçerliliğini koruyacak davranış modelleri belirlemek oldukça zordur. Önerilen modellerin ortak amacı, sarılmış betonun davranışını farklı durumlar için gerçeğe yakın şekilde yansıtmak ve kullanılan bağintıların fazla karmaşık olmamasıdır.

Çalışmada, Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri ile Geliştirilmiş Kent ve Park Modelleri kullanılarak, farklı özelliklerdeki 18 adet betonarme kolon numunesi için elde edilen sargılı beton aksenal yük-boyuna birim kısalma grafikleri, deneysel veriler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırmalarda göz önüne alınan deneysel çalışma, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada, çelik lifli ve lifsiz aynı kalitedeki normal agregalı hazır betondan üretilmiş, değişik kalitede çelik donatı içeren ve farklı etriye aralıklarına sahip kare enkesitli kolonlar aksenal basınç altında denenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmanın deneysel bölümünde, 18 adet çelik fiberli/lifli ve fibersiz/lifsiz etriyeli betonarme kolon aksenal yük altında test edilmiştir (Yılmaz, 2001; Kaltakçı ve Yılmaz, 2003).

### 2.1. Kullanılan Kolon Numunelerinin Özellikleri

Kolonların üretiminde kullanılan normal betonların tamamı, hazır beton santralinde hazırlanarak, mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Önceden sunta ile hazırlanan tüm kolon kalıpları hazır beton santraline götürülmüştür. Kolonlarda kullanılan donatılar, yine aynı hazır beton tesisinde bulunan hazır demir atölyesinde kesilerek bağlanmıştır.

Deneyler için üretilen kolonlarda, beton için seçilen malzeme kalitesi C20 ( $f_{ck}=200$  kg/cm<sup>2</sup>), donatıda ise S220 ( $f_{yk}=2200$  kg/cm<sup>2</sup>) ve S420 ( $f_{yk}=4200$  kg/cm<sup>2</sup>)'dir. C20 betonu, 350 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajlı ve su/çimento oranı (E/C)=0,49 olacak şekilde üretilmiş olup; çelik lifsiz ve değişik oranlarda çelik lifli betonlar için üçer adet beton numunesinin 28 günlük

ortalama basınç dayanımı ( $f_{cm,28}$ ) kullanılmış ve değerler Çizelge 1’de verilmiştir (Yılmaz, 2001). Numunelerde kullanılan boyuna ve enine donatılar için ise, üçer adet numuneden elde edilen anma çapları, ortalama deneysel akma dayanımları ( $f_{sy}$ ,  $f_{swy}$ ), ortalama kopma dayanımları ( $f_{su}$ ,  $f_{suw}$ ) ve kopma uzamaları Çizelge 2’de verilmiştir. S220 ve S420 sınıfı donatıdan ayrı ayrı imal edilen kolon numuneleri, kendi içinde etriye sıklaştırması yapılmış ve yapılmamış olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Yılmaz, 2001).

Çizelge 1. Kullanılan beton karışımlarının özellikleri

Numune No	Beton türü	Beton sınıfı	Dozaj ( $\text{kg/m}^3$ )	(E/C)	$f_{cm,28}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
$N_{\text{çelik lifsiz}}$	Çelik lifsiz	C20	350	0.49	204
$N_{\text{çl.20 kg/m}^3}$	20 $\text{kg/m}^3$ Çelik lifli	C20	350	0.49	208
$N_{\text{çl.40 kg/m}^3}$	20 $\text{kg/m}^3$ Çelik lifli	C20	350	0.49	245
$N_{\text{çl.60 kg/m}^3}$	20 $\text{kg/m}^3$ Çelik lifli	C20	350	0.49	232

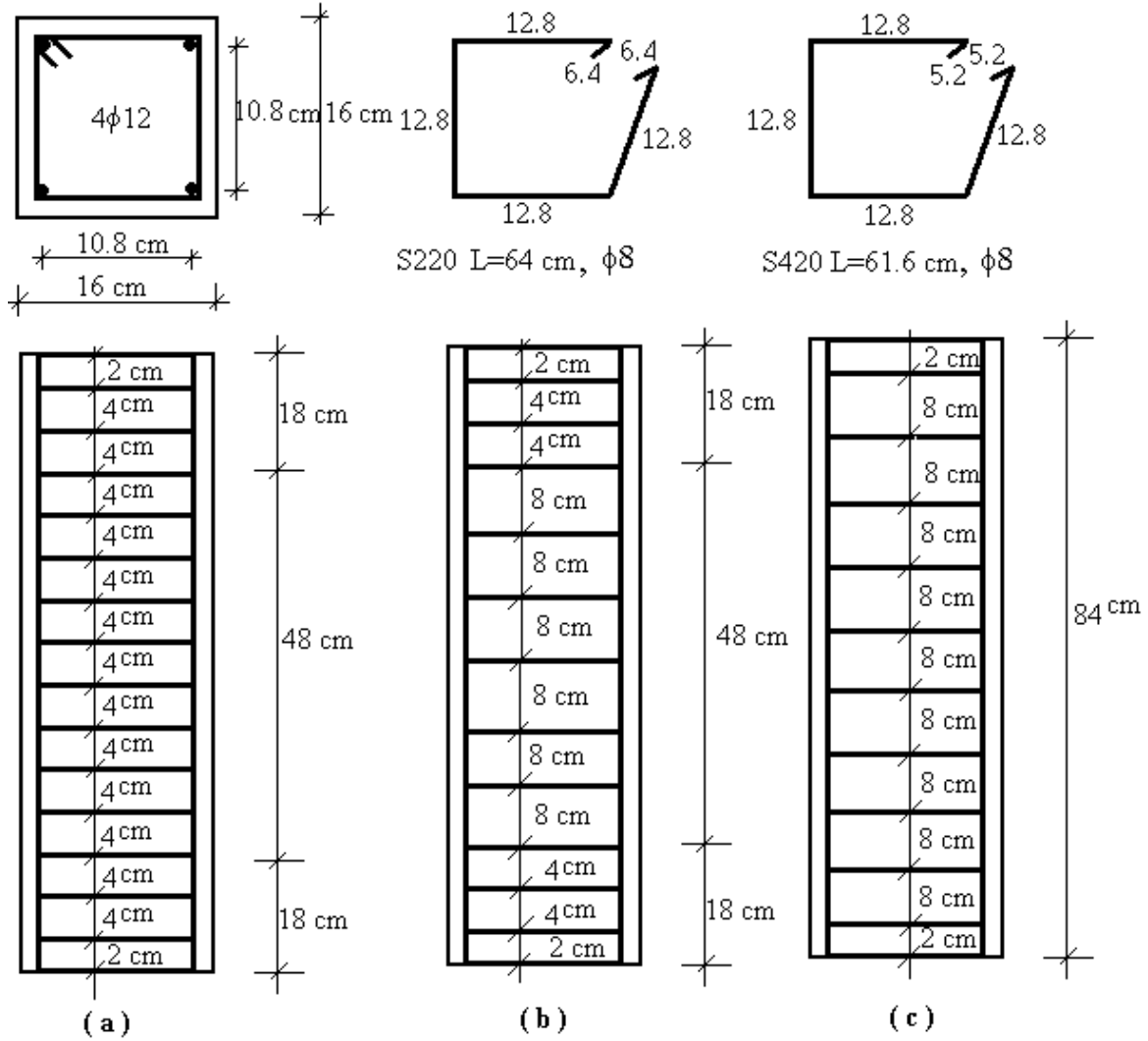
Çizelge 2. Kullanılan donatı çeliğinin çekme deneyi sonuçları

Donatı çapı (mm)	Donatı sınıfı	Anma çapı (mm)	Akma dayanımı $f_{yk}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		Kopma dayanımı $f_{su}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		Akma birim uzaması ( $\epsilon_{sy}$ )	Kopma birim uzaması ( $\epsilon_{su}$ )	
			Min.	Deneysel	Min.	Deneysel		Teorik	Deneysel
8	S220	8.1	2200	2680	3400	3400	0.0013	0.18	0.14
12	S220	11.76	2200	2669	3400	3465	0.0013	0.18	0.12
8	S420	7.74	4200	4400	5000	6000	0.0022	0.12	0.09
12	S420	11.6	4200	4486	5000	6400	0.0022	0.12	0.08

Çizelge 3. Kullanılan kolon numunelerinin özellikleri

Deney No	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Etriye Sıklaştırması	Çelik Lif Miktarı ( $\text{kg/m}^3$ )
1	C20	S220	Sıklaştırmaz	Çelik lifsiz
2	C20	S220	Sıklaştırmalı	Çelik lifsiz
3	C20	S220	Tamamı sıklaştırmalı	Çelik lifsiz
4	C20	S420	Sıklaştırmaz	Çelik lifsiz
5	C20	S420	Sıklaştırmalı	Çelik lifsiz
6	C20	S420	Tamamı sıklaştırmalı	Çelik lifsiz
7	C20	S220	Sıklaştırmaz	20
8	C20	S220	Sıklaştırmalı	20
9	C20	S420	Sıklaştırmaz	20
10	C20	S420	Sıklaştırmalı	20
11	C20	S220	Sıklaştırmaz	40
12	C20	S220	Sıklaştırmalı	40
13	C20	S420	Sıklaştırmaz	40
14	C20	S420	Sıklaştırmalı	40
15	C20	S220	Sıklaştırmaz	60
16	C20	S220	Sıklaştırmalı	60
17	C20	S420	Sıklaştırmaz	60
18	C20	S420	Sıklaştırmalı	60

Kullanılan kolon numunelerinin her birinden dörder adet imal edilmiştir. Daha sonra bu kolon numuneleri çelik lifsiz, 20 kg/m<sup>3</sup> çelik lifli, 40 kg/m<sup>3</sup> çelik lifli ve 60 kg/m<sup>3</sup> çelik lifli olarak hazırlanmıştır (Yılmaz, 2001). Ayrıca, tüm kolon boyunca etriye sıklaştırması uygulanmış ve S220, S420 sınıfı donatıdan imal edilmiş çelik lifsiz iki adet kolon numunesi de hazırlanmıştır (Şekil 1). Kolon numunelerinin özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir (Yılmaz, 2001).



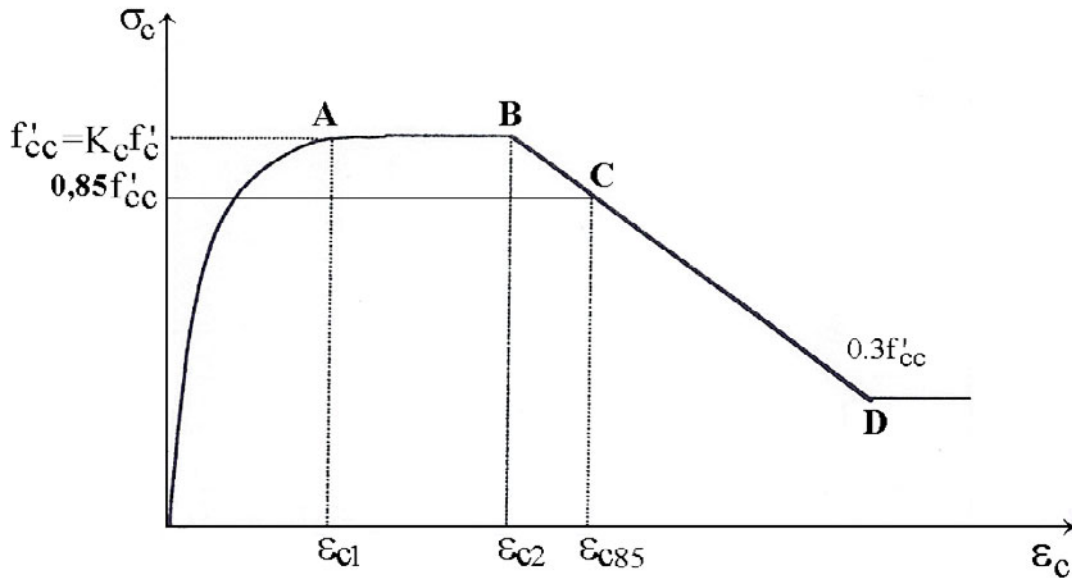
Şekil 1. Kullanılan kolon numunelerinin boyutları ve donatı şemaları  
 (a) Tamamı etriye sıklaştırmalı kolon numunesi, (b) Sıklaştırma bölgesi kolon numunesi,  
 (c) Etriye sıklaştırmaz kolon numunesi

### 3. ANALİTİK ÇALIŞMA

Eksenel yüklü kolonların davranış ve taşıma güçlerinin elde edilmesi amacıyla sunulmuş olan matematiksel modellerden Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri ile Geliştirilmiş Kent ve Park Modelleri kullanılmıştır. Aşağıda bu üç modelin kabulleri, hesaplama esasları verilmiştir.

### 3.1. Sheikh ve Üzümeri Modeli

Sheikh ve Üzümeri, sargı donatılı kare kesitli kolonlarda davranış özelliklerini belirlemek üzere 305x305x1960 mm boyutlarında numuneleri aksel basınç altında denemişlerdir (Sheikh ve Üzümeri, 1980). Yazarlar, elde ettikleri deneysel sonuçlara dayanarak sargı donatılı kolonlar için bir gerilme-birim şekil değiştirme modeli önermişlerdir (Şekil 2). Bu modelde sarılmış kesitlerde dayanım artışı, beton basınç dayanımı, hacimsel sargı donatısı oranı, enine donatı aralığı, sargı donatısında gerilme, boyuna donatının kesit etrafında dağılımı ve etriye konfigürasyonu ile kesit boyutları göz önüne alınarak belirlenmektedir. Elde ettikleri deneysel sonuçların regresyon analizine tabi tutulması ile sarılmış beton dayanımı için aşağıdaki bağıntılara ulaşmışlardır. Bu ifadeler, sarılmış beton kesitin, etriye seviyesinde ve iki etriye arasında farklı olacağını göz önüne alınması ve boyuna donatıların kesit çevresine düzgün aralıklarla yerleştirildiği kabulüne dayanmaktadır (İlki, 1999; İlki ve Kumbasar, 2001).



Şekil 2. Sheikh ve Üzümeri Modeli'ne ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

$$K_c = 1 + \frac{b_c^2}{140P_{occ}} \left[ \left( 1 - \frac{nC^2}{5,5b_c^2} \right) \left( 1 - \frac{s}{2b_c} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_{sh} f_{sh}} \quad (1)$$

$$P_{occ} = 0,85 f'_c (b_c^2 - A_s) \quad (2)$$

$$f'_{cc} = K_c f'_c \quad (3)$$

Burada;

$b_c$  : Sarılmış kesit genişliği

$s$  : Enine donatı aralığı

$\rho_{sh}$  : Sargı donatısının sarılmış kesitte hacimsel oranı

$A_s$  : Boyuna donatı enkesit alanı

$f'_c$  : Sarılmamış beton silindir basınç dayanımı

- $f'_{cc}$  : Sarılmış beton basınç dayanımı  
 $\rho_{sh}$  : Sargı donatısının sarılmış kesitte hacimsel oranı  
 $f_{sh}$  : Enine donatı gerilmesi  
 $A_s$  : Boyuna donatı enkesit alanı  
 $n$  : Kesitteki boyuna donatı sayısı  
 $C$  : Enine donatılar tarafından düzlem dışı hareketi önlenmiş boyuna donatılar arası mesafe  
 $\sigma_c$  : Beton basınç gerilmesi  
 $\varepsilon_c$  : Beton birim şekil değiştirmesi  
 $\varepsilon_{c1}$  : Eşitlik 4 ile hesaplanan birim şekil değiştirme  
 $\varepsilon_{c2}$  : Eşitlik 5 ile hesaplanan birim şekil değiştirme  
 $\varepsilon_{c85}$  : Eşitlik 6 ile hesaplanan birim şekil değiştirme

Eşitlik 1,  $f_{sh}$  ve  $P_{occ}$ 'nin sırası ile MPa ve kN birimleri ile kullanılması durumunda geçerlidir. Bu modelde kullanılan karakteristik şekildeğiştirme değerleri aşağıdaki bağıntılarda verilmiştir. Bu bağıntılarda gerilmeler MPa, uzunluklar mm birimlerinde kullanılmalıdır.

$$\varepsilon_{c1} = 80K_c f'_c \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

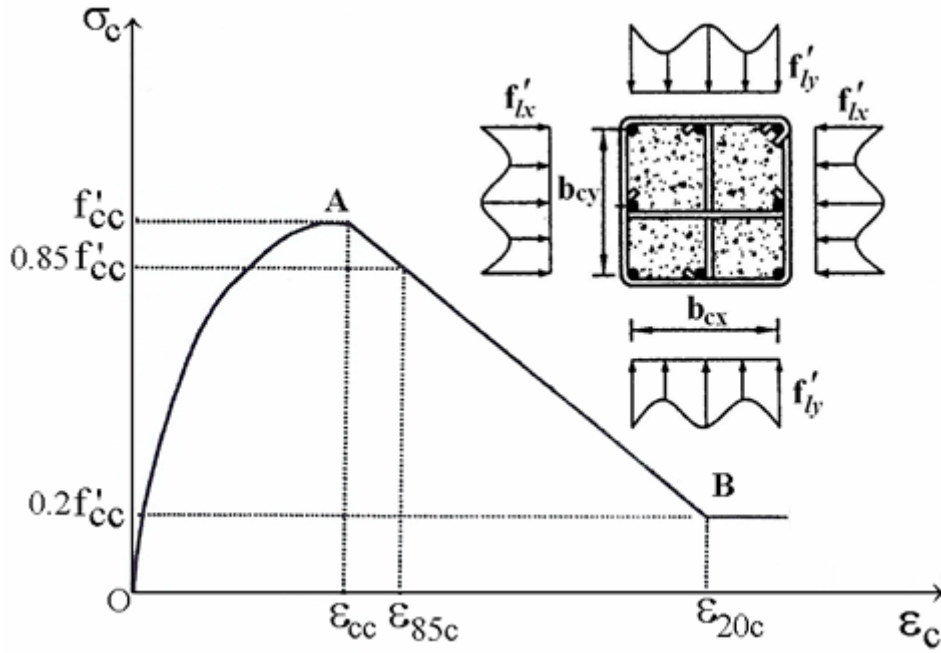
$$\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + \frac{248}{C} \left( 1 - 5 \left( \frac{s}{b_c} \right)^2 \right) \frac{\rho_{sh} f_{sh}}{\sqrt{f'_c}} \right] \quad (5)$$

$$\varepsilon_{c85} = 0,225 \rho_{sh} \sqrt{\frac{b_c}{s}} + \varepsilon_{c2} \quad (6)$$

Sheikh ve Üzümeri, çalışmasında o güne kadar önerilmiş olan önemli sarılmış beton modelleri üzerinde yaptığı karşılaştırmalarda, boyuna donatının kesit çevresinde dağılımını ve buna bağlı olarak oluşan enine donatı yapılandırmasını göz önüne alan Sheikh ve Üzümeri modelinin, diğer modellere göre deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiğini belirlemiştir (Sheikh ve Üzümeri, 1982). Sheikh'e göre, boyuna donatının kesit çevresinde iyi dağılmış olması ve sık enine donatı, gerek dayanıma, gerekse süneklığe önemli katkı sağlamaktadır.

### 3.2. Saatçioğlu ve Ravzi Modeli

Saatçioğlu ve Ravzi, çok sayıda deneysel sonuca dayanarak dairesel ve dikdörtgen sargı donatısı durumlarında kullanılabilen bir model önermişlerdir (Saatçioğlu ve Ravzi, 1992). Bu model parabolik olarak yükselen bir kol, dayanımın % 20'sine kadar doğrusal bir düşen kol ve dayanımın % 20'sinden sonra yatay bir koldan oluşmaktadır (Şekil 3). Saatçioğlu ve Ravzi, sargılı beton dayanımı ve karşı gelen birim şekil değiştirme için aşağıdaki ifadeleri önermişlerdir (İlki, 1999; İlki ve Kumbasar, 2001).



Şekil 3. Saatçioğlu ve Ravzi modeli'ne ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

$$f'_{cc} = f_{co} + k_1 f'_l \quad (7)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} (1 + 5K) \quad (8)$$

Genelde,  $\varepsilon_{co} = 0,002$  alınabilir.

$$K = \frac{k_1 f'_l}{f_{co}} \quad (9)$$

Bu ifadelerde,

$$k_1 = 6,7 (f'_l)^{-0,17} \quad (\text{Gerilme MPa birimi ile kullanılmalıdır.}) \quad (10)$$

$$f'_l = k_2 f_1$$

$$f_1 = \frac{2A_{sh} f_{yh}}{d_c s} \quad (\text{dairesel çekirdek}) \quad (11)$$

$$f_1 = \frac{\sum A_{sh} f_{yh} \sin \alpha}{s b_c} \quad (\text{kare çekirdek}) \quad (12)$$

$$f'_l = \frac{f'_{lx} b_{cx} + f'_{ly} b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}} \quad (\text{dikdörtgen çekirdek}) \quad (13)$$

Bu ifadelerde;

$f_{co}$  : Elemanda sarılmamış beton basınç dayanımı

$f_l'$  : Etkili yanal basınç

$\alpha$  : Etriye kolunun  $b_c$  kenarı ile yaptığı açı

$k_2$  : Dairesel ve küçük aralıklı sargı donatılı karesel kesitlerde 1 değerini alırken, diğer durumlar için aşağıda verilen bağıntı yardımı ile belirlenmelidir.

$\sigma_c$  : Beton basınç gerilmesi

$\varepsilon_c$  : Beton birim şekil değiştirmesi

$\varepsilon_{cc}$  : Eşitlik 8 ile hesaplanan birim şekil değiştirme

$\varepsilon_{85c}$  : Eşitlik 16 ile hesaplanan birim şekil değiştirme

$\varepsilon_{20c}$  :  $0,2 f_{cc}'$  gerilmeye karşı gelen birim şekil değiştirme

$f_{lx}'$  :  $b_{cx}$  kenarına dik olarak etki eden etkili yanal basınç

$f_{ly}'$  :  $b_{cy}$  kenarına dik olarak etki eden etkili yanal basınç

$b_{cx}$  : Dikdörtgen kesitte çekirdek alanı boyutları (Etriye merkezinden etriye merkezine)

$$k_2 = 0,26 \sqrt{\left(\frac{b_c}{s}\right)\left(\frac{b_c}{s_l}\right)\left(\frac{1}{f_l}\right)} \leq 1,0 \quad (\text{Gerilme MPa birimi ile kullanılmalıdır.}) \quad (14)$$

Burada;

$s_l$  : Boyuna donatılar arasındaki uzaklık

$b_c$  : Sarılmış kesit genişliği (Etriye merkezinden etriye merkezine)

$f_l$  : Yanal basınç

Grafikteki yükselen kol için önerilen parabol ifadesi Eşitlik 15'teki bağıntıda verilmiştir.

$$f_c = f_{cc}' \left[ 2 \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{(1+2K)}} \quad (15)$$

Düşen doğrusal kol için ise, bu kol üzerinde dayanımın % 85'ine karşı gelen birim şekil değiştirme aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_{85c} = 260 \rho_{sh} \varepsilon_{cc} + \varepsilon_{85u} \quad (16)$$

$$\rho_{sh} = \frac{\sum A_{sh}}{s(b_{cx} + b_{cy})} \quad (17)$$

Bu ifadelerde,

$\varepsilon_{85u}$  : Sarılmamış betonda düşen kol üzerinde dayanımın %85'ine karşı gelen birim şekil değiştirme (Deneysel veri olmaması durumunda, Saatçioğlu ve Ravzi  $\varepsilon_{85u}$  için 0,0038 değerini önermektedir).

$\varepsilon_{85c}$  :  $0,85 f_{cc}'$  ye karşılık gelen ve Eşitlik 16 ile bulunan birim şekil değiştirme (sargılı)

$\rho_{sh}$  : Sargı donatısının sarılmış kesitte hacimsel oranı

$b_x$  : Enine donatının x doğrultusundaki kol uzunluğu

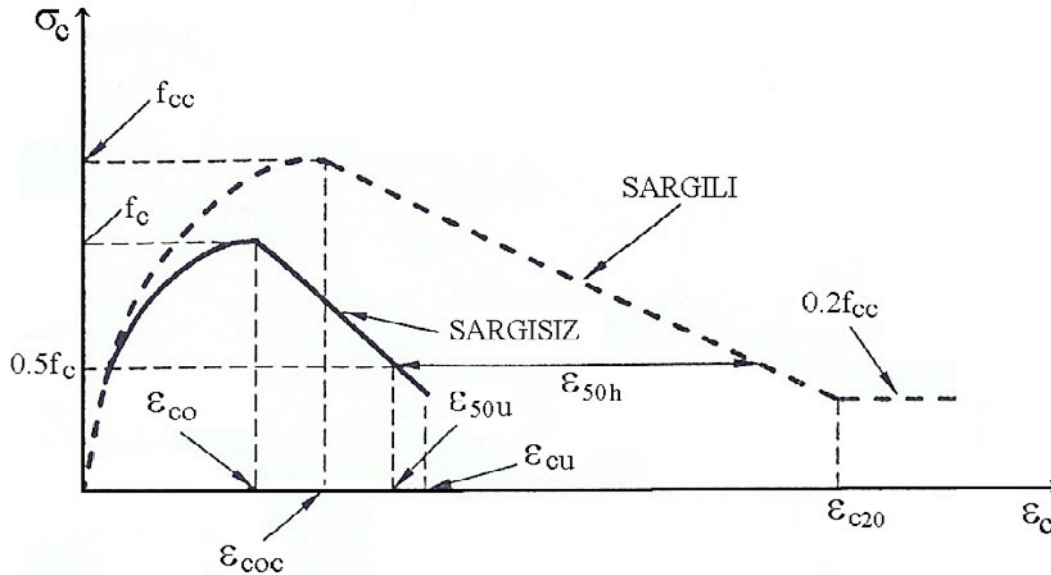


$b_y$  : Enine donatının y doğrultusundaki kol uzunluğu  
 $s$  : Enine donatı aralığı  
 $A_{sh}$  : Enine donatı enkesit alanı

Saatçioğlu vd., dışmerkezlikle uygulanan basınç kuvvetine maruz sarılmış kolonların davranışını deneysel olarak araştırarak, salt aksenal basınç altındaki sarılmış beton için önerilmiş olan Saatçioğlu ve Ravzi modelinin bu durumda geçerliliğini belirlemek üzere analitik bir çalışma yapmıştır (Saatçioğlu vd., 1995). Deneysel çalışmada 210x210x1640 mm boyutlarında farklı sargı donatı özelliklerine sahip 12 adet kolonu farklı dış merkezlikler altında test etmişlerdir. Analitik çalışmada sargılı beton için Saatçioğlu ve Ravzi modelini, çelik için ise pekleşmenin de göz önüne alındığı bir model kullanarak analitik moment-eğrilik ilişkilerini elde etmişlerdir.

### 3.3. Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli

Bu model, Roy ve Sözen tarafından sargılı beton için önerilen gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinden esinlenerek geliştirilmiştir (Roy ve Sözen, 1964). Şekil 4'de gösterildiği gibi, sargılı ve sargısız beton için iki ayrı gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi önerilmektedir (Kent ve Park, 1969). Sargı nedeni ile beton dayanımının  $f_c$ 'den  $f_{cc}$ 'ye, maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmenin ise  $\epsilon_{co}$ 'dan  $\epsilon_{coc}$ 'ye yükseldiği varsayılmaktadır. Hem sargılı hem de sargısız beton için önerilen eğrilerin ilk bölümleri Hognestad modelindeki gibi ikinci derece bir parabol varsayılmıştır. Eğrilerin gerilme azalmasını gösteren ikinci bölümleri ise, eğimi eksi olan düz çizgilerle gösterilmiştir. Sargılı betonun eğimi, sargısız betona oranla daha küçüktür. Sargısız betonda maksimum birim şekil değiştirme  $\epsilon_{cu}$  iken, sargılı betonda böyle bir sınır yoktur. Sargısız beton için  $\epsilon_{cu} = \epsilon_{50u}$  veya daha basit olarak  $\epsilon_{cu} = 0,004$  alınabilir (Ersoy ve Özcebe, 2001).



Şekil 4. Geliştirilmiş Kent ve Park modeli'ne ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği

Sargılı beton modeli çekirdek olarak tanımlanan ve fret veya etriye ile sınırlanan beton kütlesi için, sargısız beton modeli ise çekirdek dışında kalan kabuk betonu için geçerlidir. Geliştirilmiş Kent ve Park modelindeki gerilme-şekildeğiştirme eğrilerini tanımlayan bağıntılar Eşitlik 18-Eşitlik 27'de verilmiştir (Kent ve Park, 1969).

$$\sigma_c = f_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (\text{Sargısız beton için}) \quad (18)$$

$\varepsilon_{co}$  : Normal dayanımlı betonlar için yaklaşık 0,002 alınabilir.

$$\sigma_c = f_{cc} \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right] \quad (\text{Sargılı beton için}) \quad (19)$$

$$\varepsilon_{coc} = K\varepsilon_{co} \quad (20)$$

Doğrusal eğri (Gerilmenin azaldığı bölüm)

Sargısız beton

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \quad (21)$$

$$Z_u = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad (22)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (23)$$

Sargılı beton

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (24)$$

$$\sigma_c = f_{cc} [1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0,2 f_{cc} \quad (25)$$

$$Z_c = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (26)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0,75 \rho_s \left( \frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (27)$$

Bu ifadelerde;

$f_c$  : Sargısız betonun basınç dayanımı (Genelde  $f_c = f_{ck}$  alınır.)

$f_{cc}$  : Sargılı beton dayanımı  $f_{cc} = f_{cl} = K f_c$

$\varepsilon_{coc}$  : Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme

$\varepsilon_{co}$  : Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme

$Z_u$  : Sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi

- $Z_c$  : Sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi  
 $b_k$  : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm)  
 $h_k$  : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanını büyük boyutu (mm)  
 $\rho_s$  : Sargı donatısının hacimsel oranı  
 $\sigma_c$  : Beton basınç gerilmesi  
 $\varepsilon_c$  : Beton birim şekil değiştirmesi  
 $\varepsilon_{cu}$  : sargısız beton için en büyük birim şekil değiştirme  
 $\varepsilon_{c20}$  : sargılı beton için  $0.2 f_{cc}$  gerilme değerine karşılık gelen birim şekil değiştirme

$$\rho_s = \frac{A_0 l_s}{s b_k h_k} \quad (28)$$

Burada;

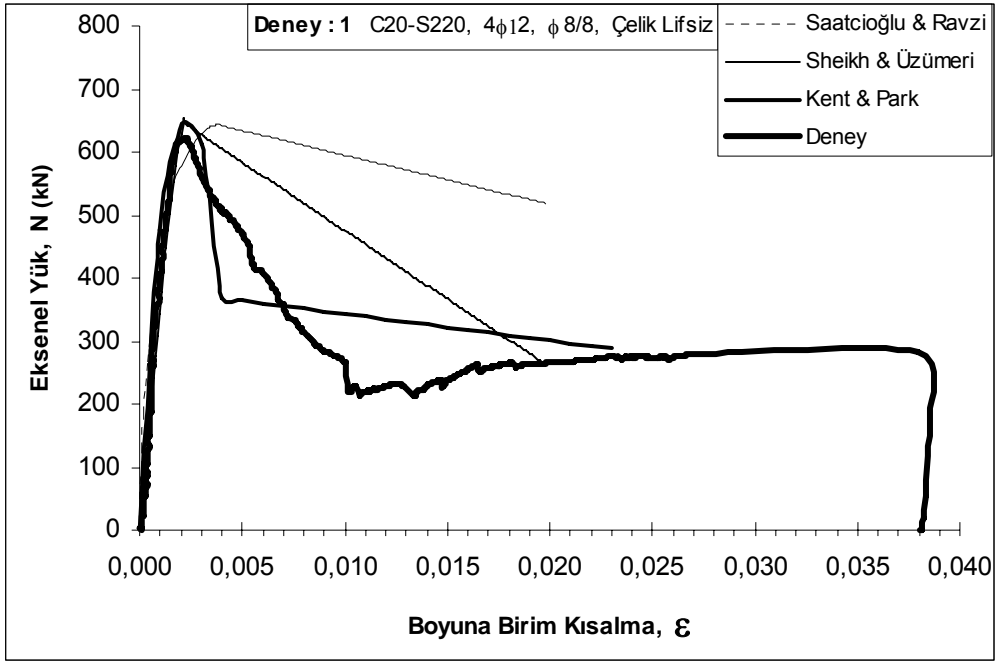
- $A_0$  : Sargı donatısı kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )  
 $l_s$  : Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu (mm)  
 $f_{ywk}$  : Sargı donatısının minimum akma dayanımı (MPa)  
 $s$  : Sargı donatısı aralığı (mm)

#### 4. DENEY NUMUNELERİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜ

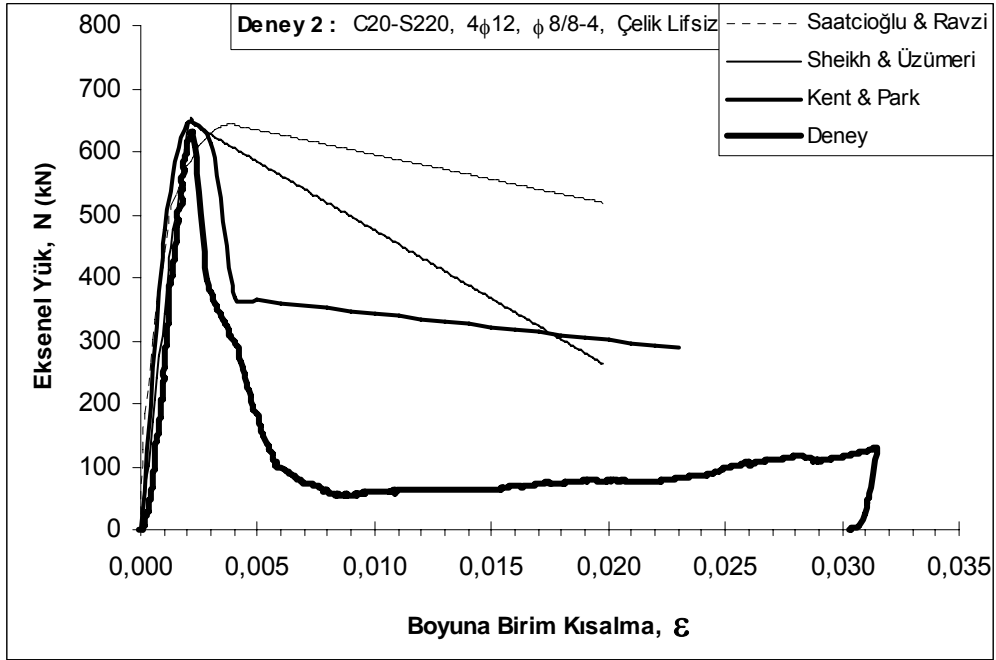
Eksenel basınç deneyine tabi tutulan kolon numunelerinin davranışını matematiksel olarak incelemek üzere, yapılan modellemelerde, beton için Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri ile Geliştirilmiş Kent ve Park Modelleri kullanılmıştır. Her üç model için, FORTRAN programlama dili kullanılarak basit programlar yazılmış; elde edilen eksenel yük-boyuna birim kısalma grafikleri, kendi aralarında ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yazılan bilgisayar programlarında, eksenel yük deneyine tabi tutulan kolonların kesit ve malzeme özellikleri dikkate alınmıştır ( Köken ve Kaltakçı, 1998).

##### 4.1. Kolon Numuneleri İçin Çizilmiş Karşılaştırmalı Eksenel Yük-Boyuna Birim Kısalma Grafikleri

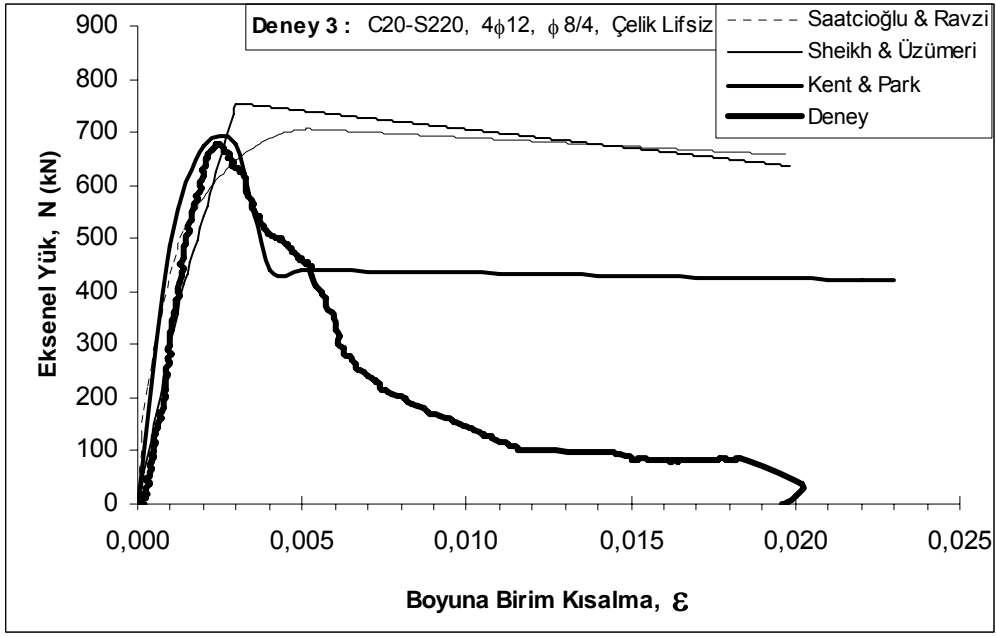
Bu çalışma için yazılan bilgisayar programları ile çizilen grafikler, deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Şekil 5-Şekil 22 arasında verilmiştir.



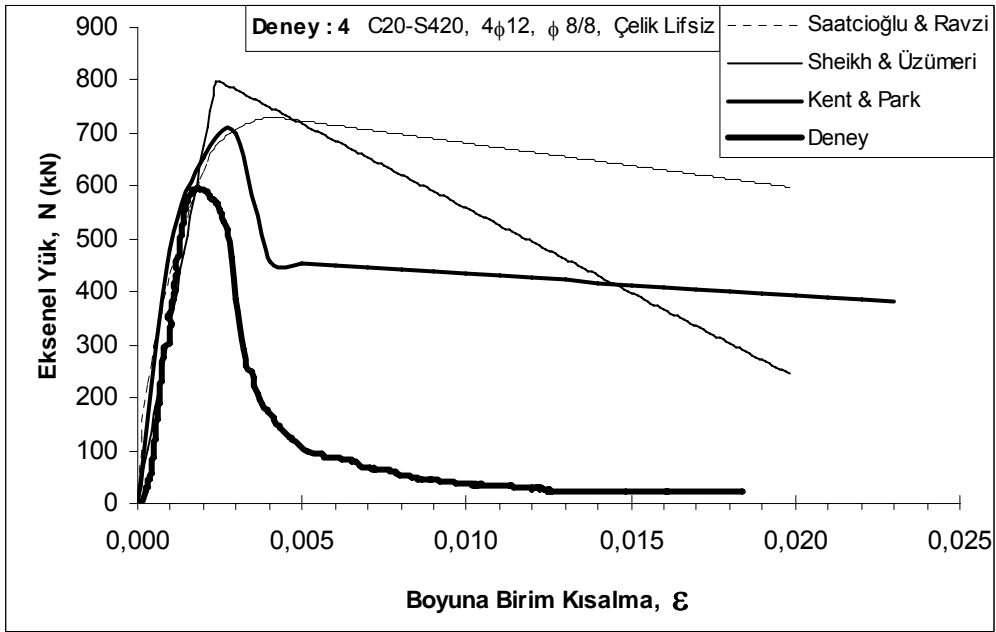
Şekil 5. 1 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



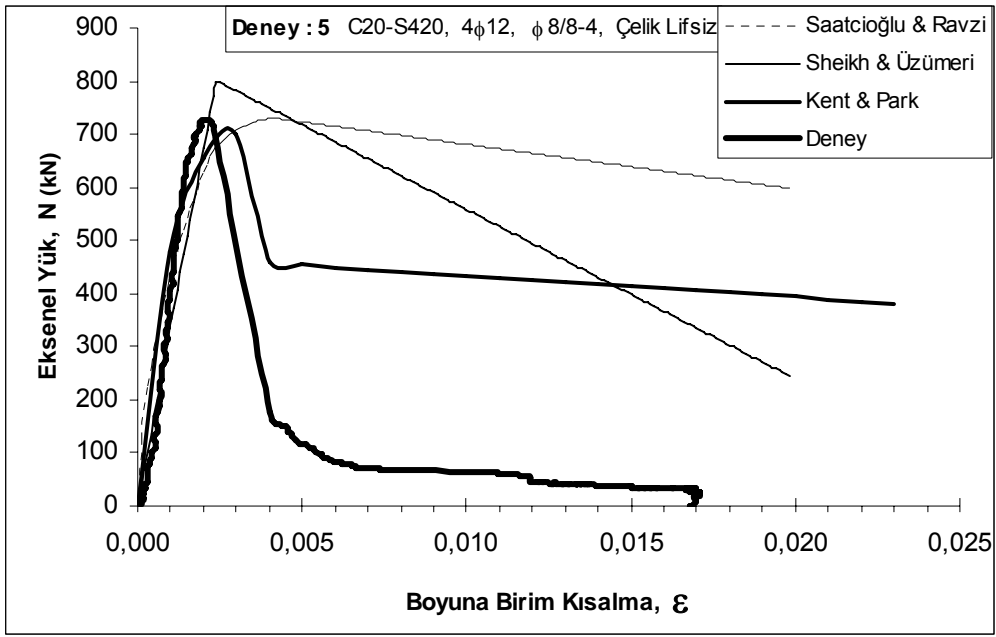
Şekil 6. 2 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



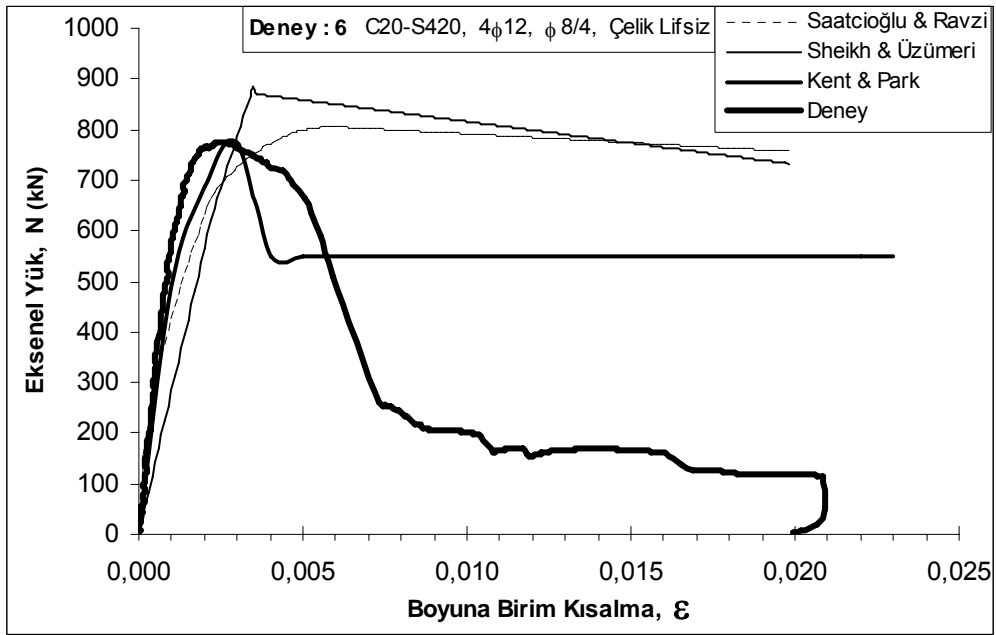
Şekil 7. 3 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



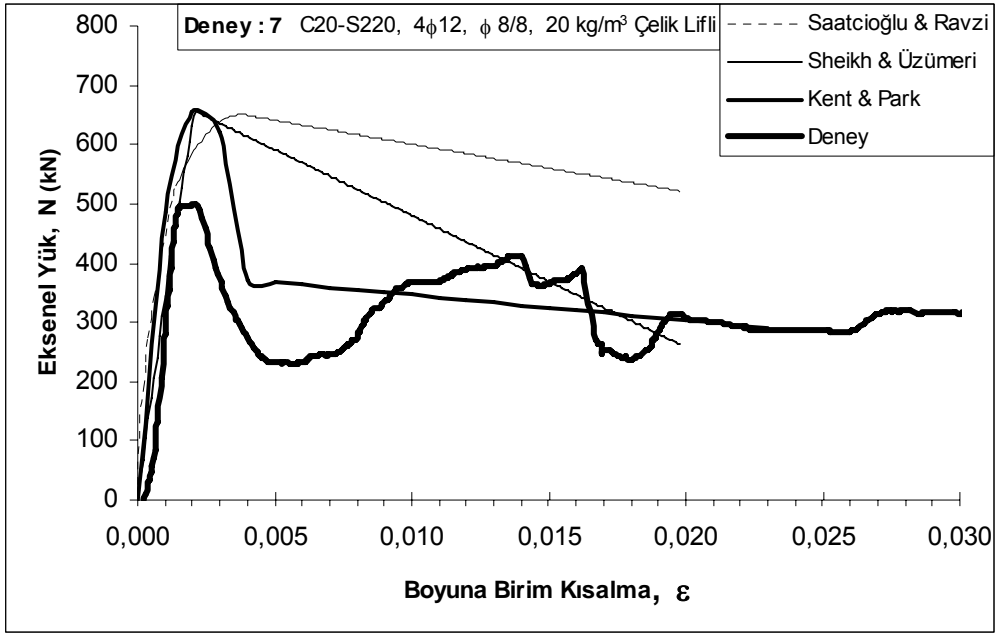
Şekil 8. 4 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



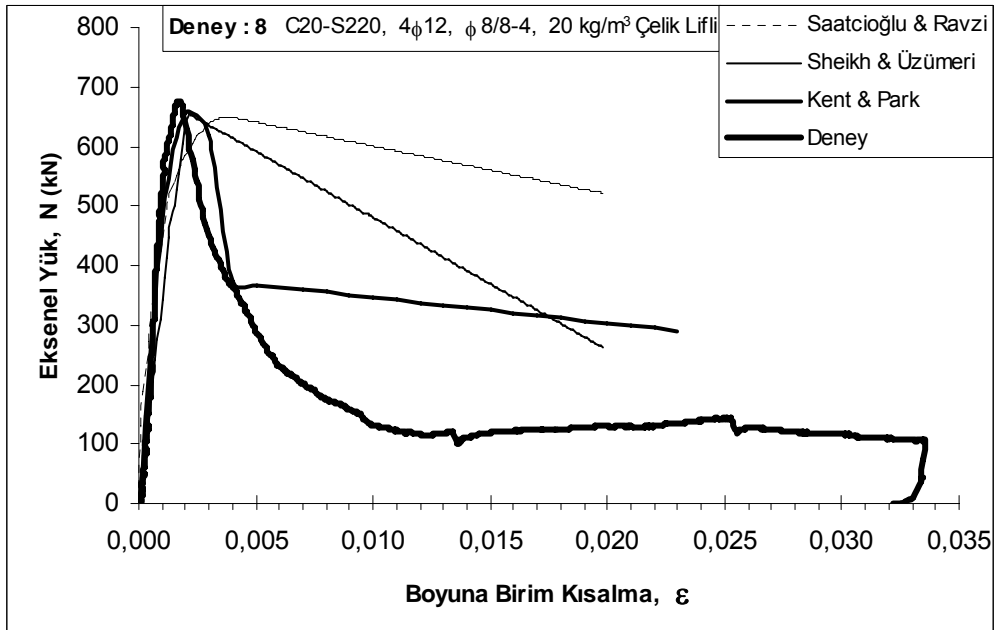
Şekil 9. 5 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



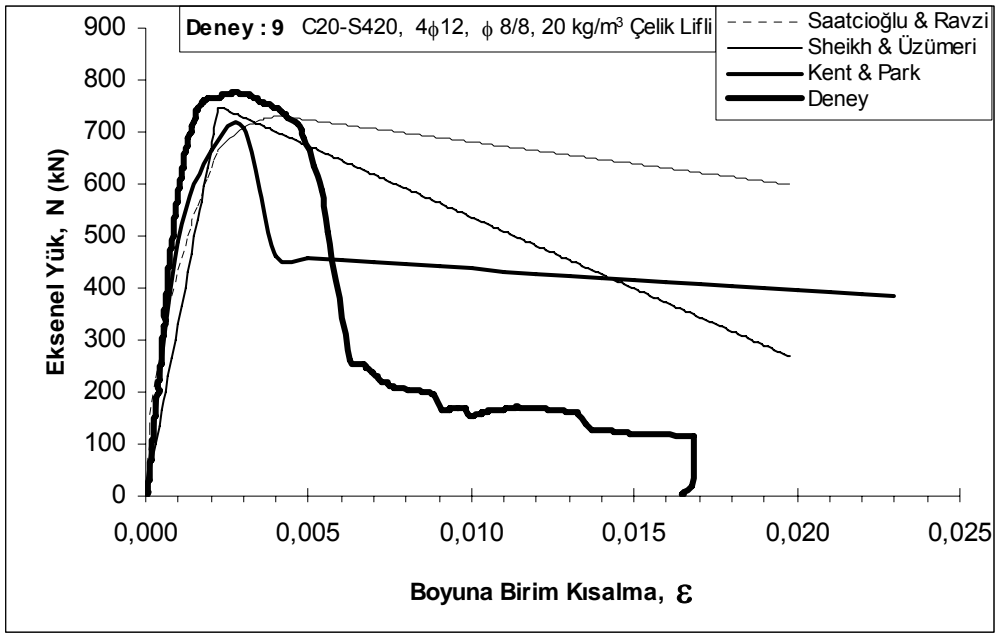
Şekil 10. 6 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



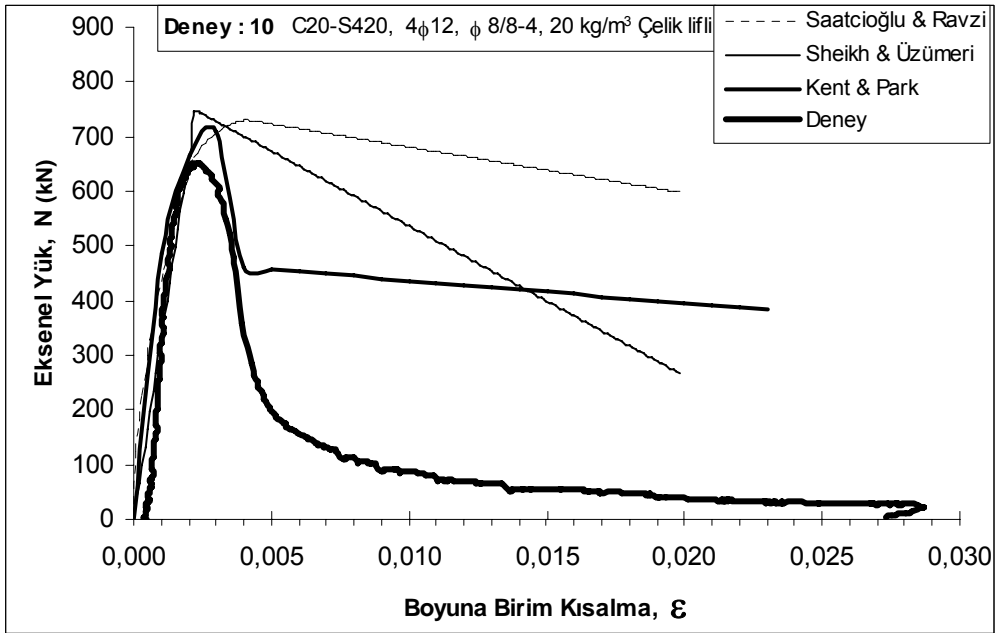
Şekil 11. 7 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



Şekil 12. 8 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği

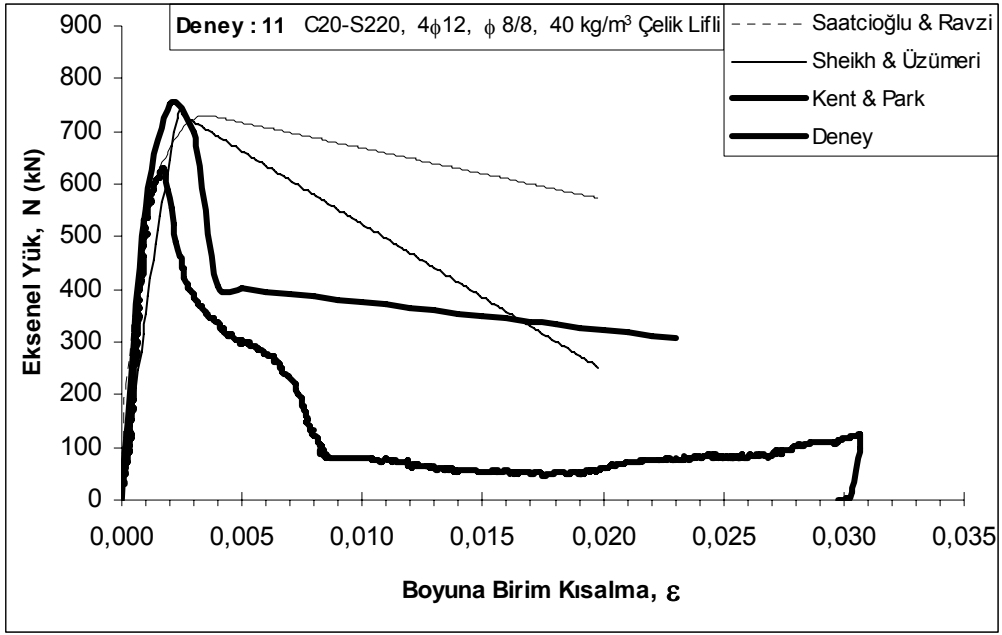


Şekil 13. 9 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği

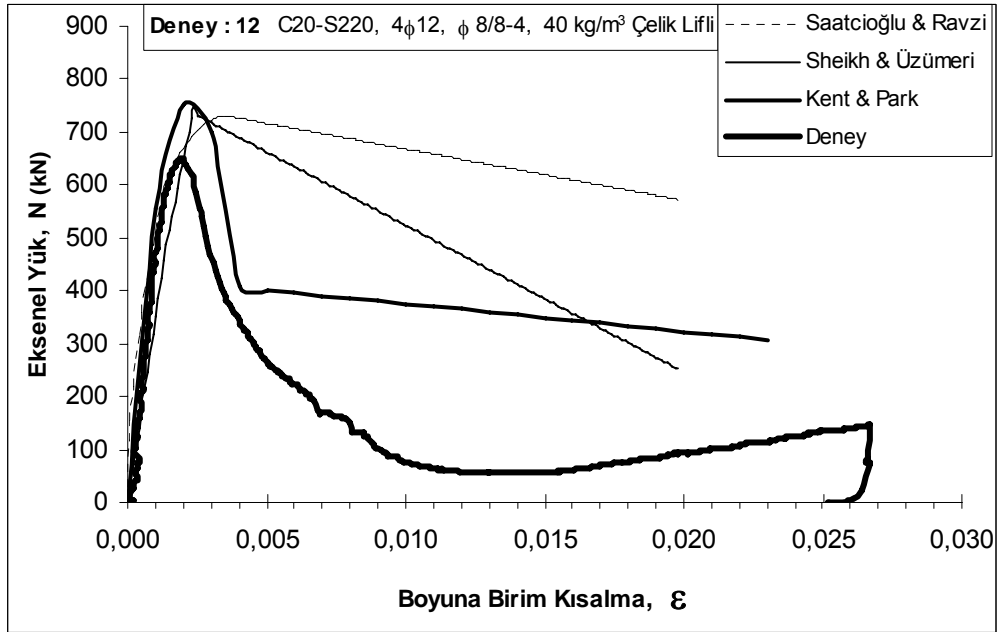


Şekil 14. 10 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği

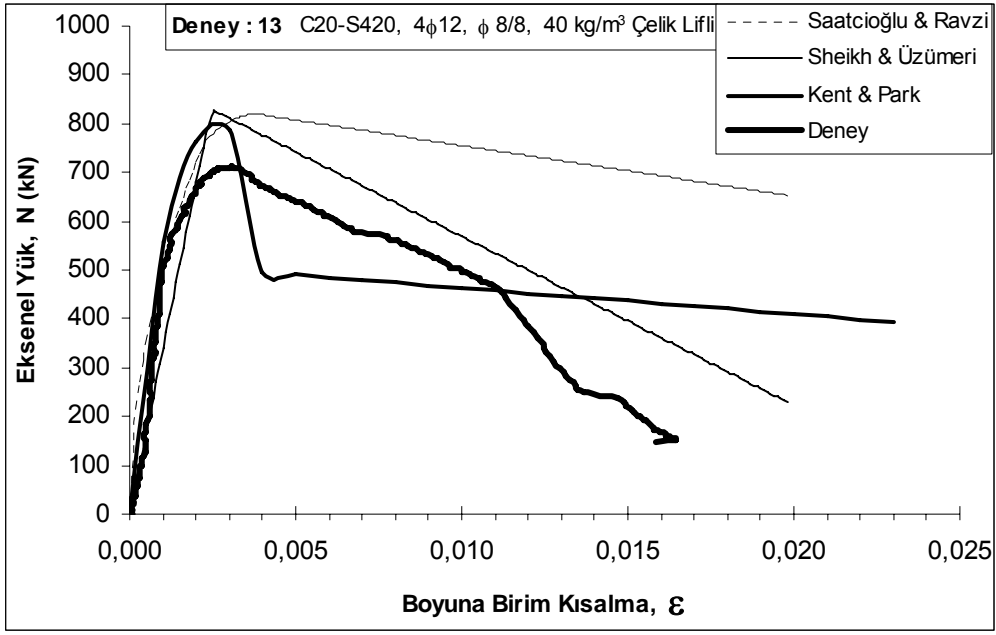




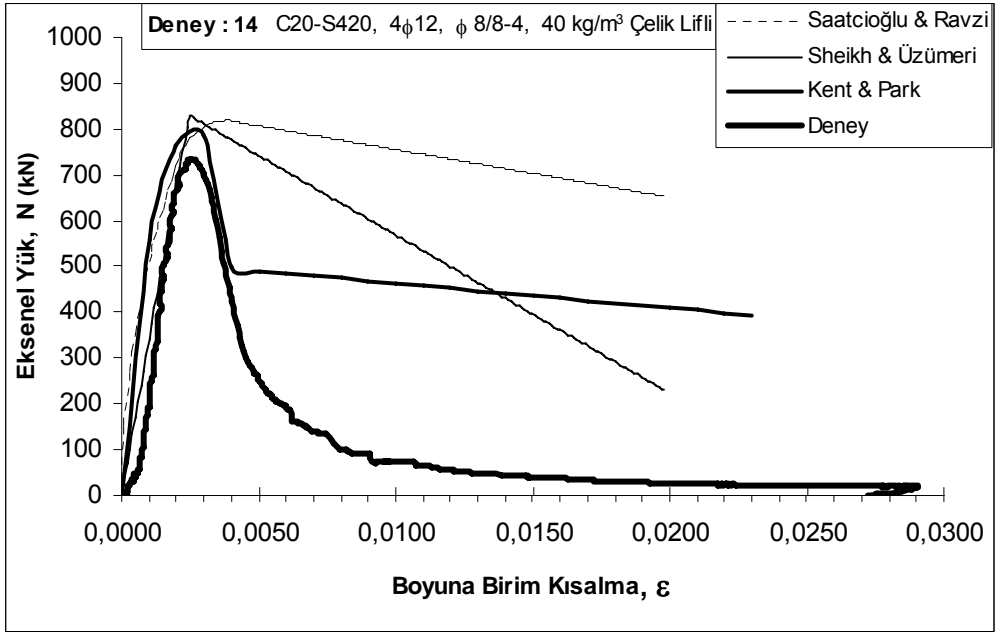
Şekil 15. 11 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



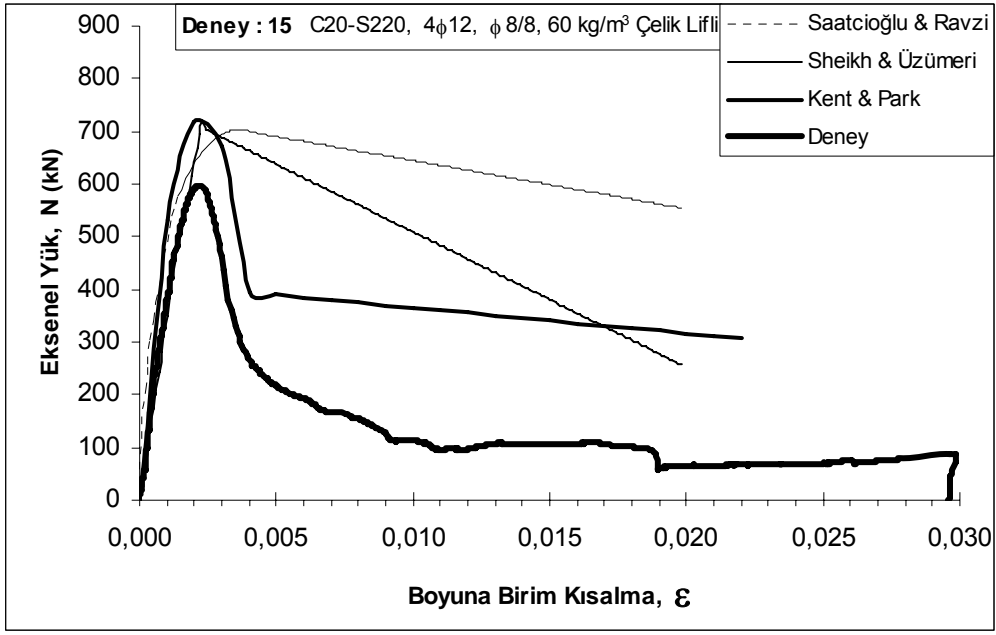
Şekil 16. 12 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



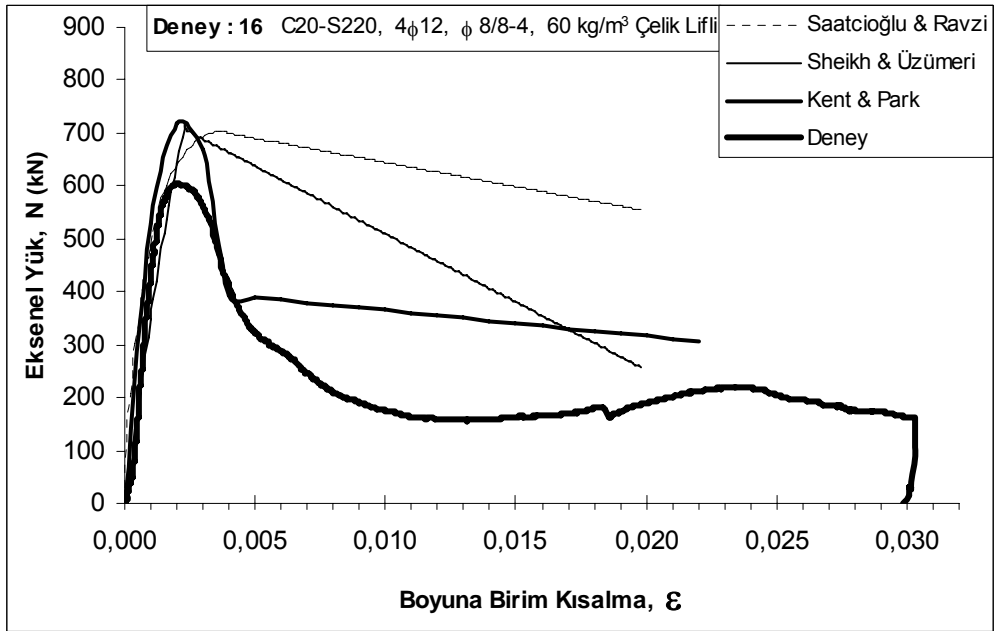
Şekil 17. 13 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



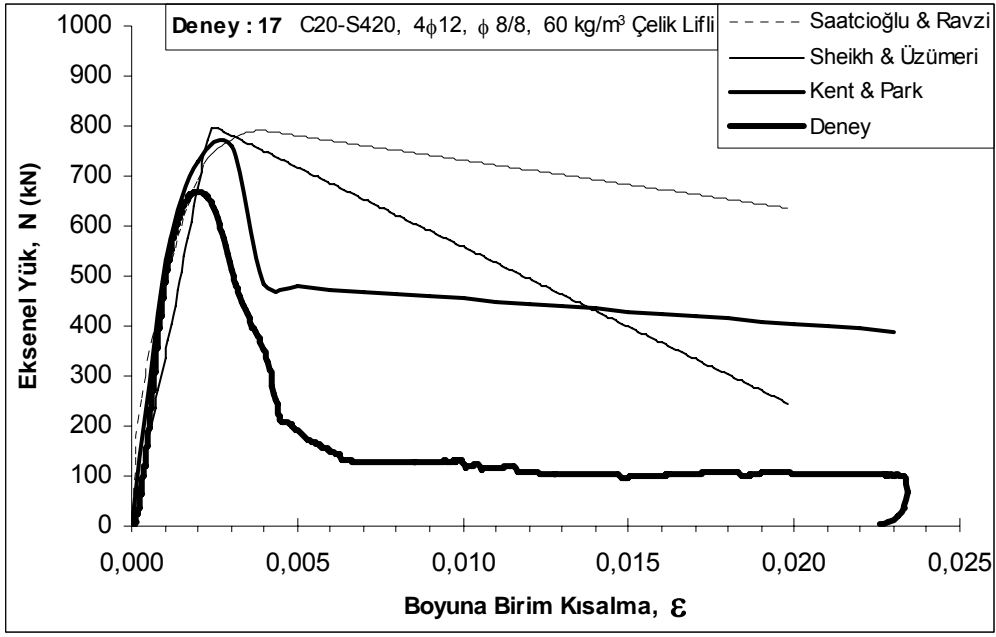
Şekil 18. 14 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



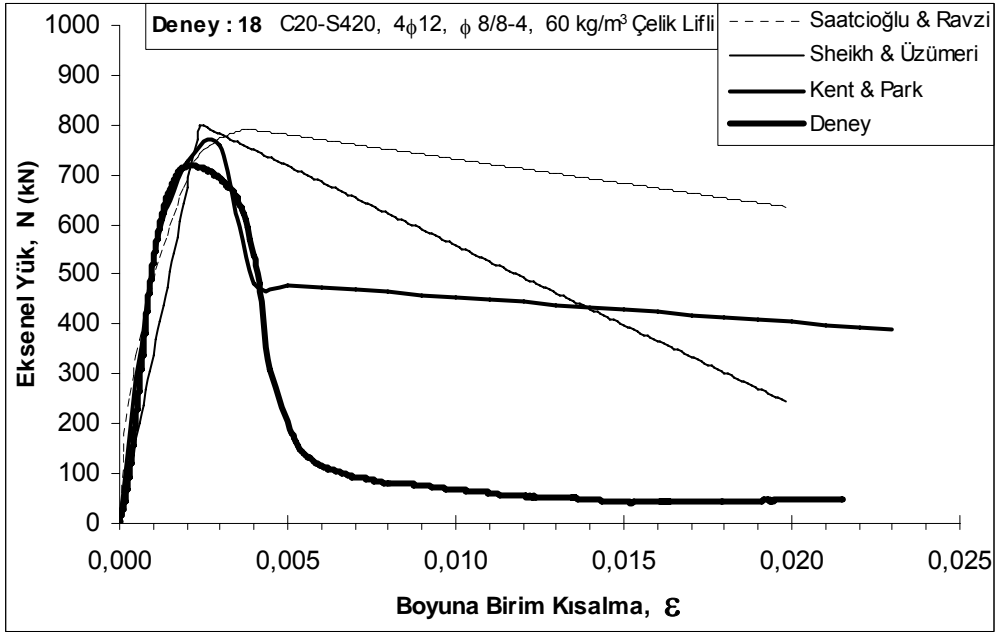
Şekil 19. 15 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



Şekil 20. 16 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısalma grafiği



Şekil 21. 17 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği



Şekil 22. 18 nolu kolon numunesine ait karşılaştırmalı eksenel yük-boyuna birim kısılma grafiği

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, malzeme için önerilen bazı matematiksel modeller özetlendikten sonra, farklı özelliklere sahip 18 adet betonarme kolon üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmada ulaşılmış olan sonuçlar, Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri ile Geliştirilmiş Kent ve Park tarafından önerilen modeller kullanılarak elde edilen analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; Geliştirilmiş Kent ve Park modelinin, gerek

sargılı betonun basınç dayanımını, gerekse gerilme-birim kısalma eğrisinin azalan kısmının eğimini, deneysel sonuçlara oldukça yakın olarak verdiği; Sheikh ve Üzümeri, Saatcioğlu ve Ravzi tarafından önerilen modellerin ise, hem sargılı beton basınç dayanımını, hem de gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin azalan kısmının eğimini deneysel sonuçlardan daha büyük olarak verdiği görülmüştür. Ayrıca, önerilen modellerin; beton içindeki çelik lif oranı arttıkça, deneysel sonuçlardan oldukça büyük beton basınç dayanımı verdiği ve gerilme-boyuna birim kısalma eğrisinin azalan kısmının eğimini artırdığı gözlenmiştir.

Sınırlı sayıda kabul edilebilecek deneylerden ulaşılan bu sonuçların genel olmadığı ve farklı özelliklerdeki numuneler için elde edilecek deneysel sonuçların, buradaki deneysel sonuçlardan farklı olabileceği de göz önünde tutulmalıdır.

Bu konuda pek çok çalışma yapılmış olmakla birlikte, sarılmış beton davranışının farklı durumlarda daha gerçeğe yakın olarak modellenmesi konusunda araştırmalar sürmektedir. Her geçen gün yüksek dayanımlı beton ve donatı kullanımının artması, lifli beton vb. yeni malzemelerin kullanılmaya başlaması gibi etkenler bu çalışmaların devamının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ersoy U., Özcebe G. (2001): “Betonarme”, Evrim Yayınevi, Ankara.
- İlki A. (1999): “Sargılı Beton Gerilme-Şekil Değiştirme Modelleri Üzerine Bir Derleme”, Teknik Rapor, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/ TR, 022-36, Nisan, İstanbul.
- İlki A., Kumbasar N. (2001): “Sargılı Beton için Mevcut Modellerin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması”, İMO Teknik Dergi, 2419-2433, Yazı 165, Ankara.
- Kent D.C., Park R. (1969): “Flexural Members with Confined Concrete”, ASCE Journal of the Structural Division, V. 97, No. ST7.
- Köken A., Kaltakçı M.Y. (1998): “Eksenel Yüklü Betonarme Kolonların Davranışı Üzerine Deneysel ve Analitik Bir İnceleme”, S.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Aralık, Konya.
- Roy H.E.H., Sozen M.A. (1964): “Ductility of Concrete-in Flexural Mechanics of Reinforced Concrete”, SP12,213-224, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Detroit.
- Saatçioğlu M., Ravzi S.R. (1992): “Strength and Ductility of Confined Concrete”, ASCE Journal of the Structural Division, V. 118, No. 6, 1590-1607.
- Saatçioğlu M., Salamat A.H., Ravzi S.R. (1995): “Confined Columns under Eccentric Loading”, ASCE Journal of Structural Engineering, V. 121, No.11, 1547-1556.
- Sheikh S.A., Üzümeri S.M. (1980): “Strength and Ductility of Tied Concrete Columns”, ASCE Journal of the Structural Division, V. 106, No. 5, 1079-1102.
- Sheikh S.A., Üzümeri S.M. (1982): “Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns”, ASCE Journal of the Structural Division, V. 108, No. 12, 2703-2722.
- Yılmaz Ü.S. (2001): “Eksenel Yük Etkisindeki Çelik Tel Fiber Takviyeli Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaltakçı M.Y., Yılmaz Ü.S. (2003): “Eksenel Yük Etkisindeki Çelik Lif Takviyeli Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışı”. S.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, S 55-64, Konya.