



# FARKLI UÇ SARGI ŞEKİLLERİNİN PERDE DUVARLARIN MOMENT EĞRİLİK DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ (KURAMSAL ÇALIŞMA)

Şevket Murat ŞENEL, Hasan KAPLAN

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü/Denizli

Geliş Tarihi : 04.04.2002

## ÖZET

Eğilme altında zorlanan perde duvarların uç kısımlarında oluşturulan sargı bölgelerinin etkinliğinin araştırılması amacıyla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Tek tip gövde donatısı ve farklı sayıda sargı donatısı şeklinden oluşan numunelerin kuramsal çözümlenmesi, geliştirilen bu yazılım yardımı ile yapılmıştır. Beton ve donatı çeliğine ait verilerin elde edilebilmesi için donatı çeliği çekme deneyleri ve beton basınç deneylerinin sonuçlarından faydalanılmıştır. Sargılı beton davranışı için Mander tarafından geliştirilen model kullanılmıştır. Donatı çeliği davranış modeli için çekme testlerinden elde edilen sonuçlar kullanılırken malzemenin pekleşme davranışı da göz önüne alınmıştır. Sargılama etkileri incelenirken, etriye sıklaştırması ve deprem çirozlarının kullanımı durumları ayrı ayrı ve birlikte ele alınmış, moment-eğrilik davranışı üzerinde her bir uygulamanın sebep olduğu etkiler kuramsal olarak araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : Moment, Eğrilik, Süneklik, Sargılama etkisi, Sargılı beton

## NON-LINEAR ANALYSIS OF EFFECT OF CONFINEMENT REGIONS ON MOMENT CURVATURE BEHAVIOR OF SHEAR WALL (THEORETICAL STUDY)

### ABSTRACT

Computer program which investigates the effectiveness of confinement regions of shear walls was developed. Specimens which have unique web reinforcement and different confinement regions were analyzed by using this computer program. Data needed for theoretical computations were obtained by tensile testing of steel rods and by concrete specimen tests. Mander Method was applied to reflect confined concrete behavior. Strain hardening behavior of steel was included in computations. Effect of stirrup spacing and hook reinforcement was introduced together and separately to understand the moment-curvature response of specimens.

**Key Words** : Moment, Curvature, Ductility, Confinement effect, Confined concrete

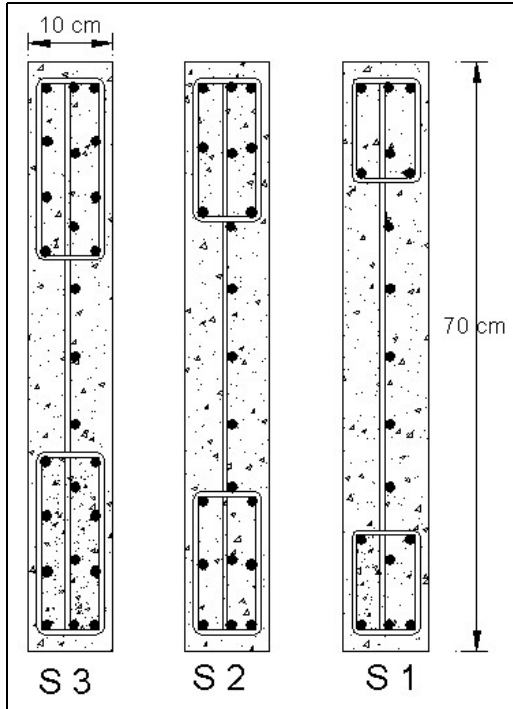
### 1.GİRİŞ

Kuramsal analiz için öngörülen kesit geometrisi ve donatı yerleşimleri Şekil 1'de görülmektedir. Numuneler tasarlanırken "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" hükümlerine uyularak yükseklik/kalınlık oranı 7 olarak belirlenmiştir (Atımtay, 2000).

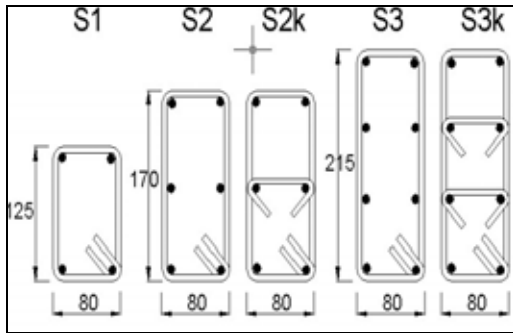
S1, S2 ve S3 sargı bölgelerinin içerdiği boyuna donatı miktarları ve sargı bölgesi genişlikleri birbirinden farklı tutulmuştur. Bütün numunelerde kullanılan gövde donatısı yerleşimi ve miktarları özdeştir. Gövde donatısı merkezden merkeze 8 cm. mesafe olacak şekilde kare hasır donatıdan oluşmaktadır. Numunelerde kullanılan enine ve boyuna donatıların tamamı 6 mm. çapındaki St 37

çeliğindedir. Kullanılan sargılama şekillerinin ve boyutlarının ayrıntılı görünümü Şekil 2’de verilmektedir. Deprem çirozlarının kanca şeklinde kullanılarak, ara seviyelerdeki donatıların bağlandığı sargılama şekilleri S2k ve S3k notasyonu ile tarif edilmiştir.

Etriye donatısının ise merkezden merkeze 100 mm ve 50 mm ara ile yerleştirilmesi durumları ele alınmış, kuramsal hesaplar bu iki durum için de gerçekleştirilmiştir. Daha sık etriyenin kullanıldığı numunelerin tarifi için “s” notasyonu kullanılmıştır. Sıklaştırmanın uygulandığı ve etriye donatısının 50 mm aralıkla yerleştirildiği S3 numunesi S3s, hem kancalama hem de etriye sıklaştırmasının kullanıldığı S3 numunesi ise S3ks notasyonu ile tarif edilmiştir.



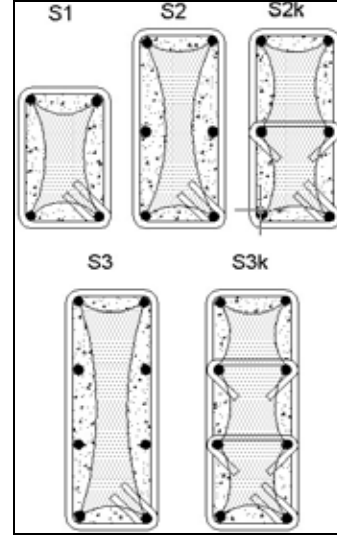
Şekil 1. Donatı yerleşimi ve kesit boyutları



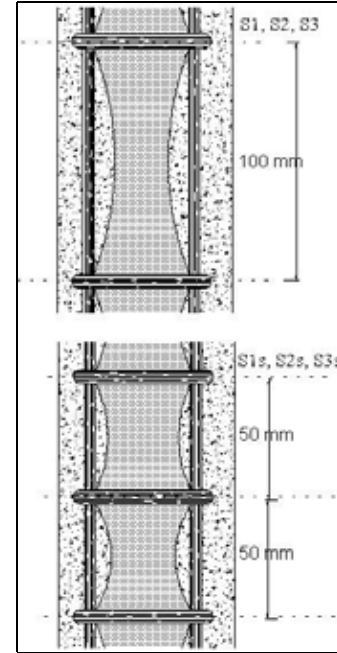
Şekil 2. Sargı bölgelerinde donatı yerleşimi ve ölçüler (mm.)

## 2. BETONDA SARGILAMA ETKİSİ

Kanca ve etriye tarafından betona uygulanan yanıl sargı basıncının, enine donatı seviyelerinde ve enine donatılar arasındaki bölgede farklılaştığı kabul edilmiştir, (Sheikh ve Uzumeri, 1980). Meydana gelecek bu kemerlenme etkisi sebebiyle betonda oluşacak etkili sarılmış kesit Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekil 3 kanca kullanımının, Şekil 4 etriye sıklaştırmasının etkisini göstermektedir (İlki, 2000).



Şekil 3. Kanca kullanımının etkili sarılmış kesit üzerindeki etkisi



Şekil 4. Etriye sıklaştırmasının etkili sarılmış kesit üzerindeki etkisi

Kuramsal hesaplar sırasında Mander et al. (1988a, 1988b) tarafından geliştirilen sargılı beton davranış modeli kullanılmıştır. Model enine donatının farklı yerleşimlerde bulunması durumunu göz önüne almaktadır. Sarılmamış betona ait dayanım ve dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerleri ile kullanılan donatıya ait çekme testlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Sarılmamış Beton İçin Dayanım ve Dayanıma Karşılık Gelen Şekil Değiştirme Değerleri

$f'_{co}$ (MPa)	29.8
$\epsilon'_{co}$	0.00198

Tablo 2. Donatı Çeliği Çekme Deneyi Sonuçları

Donatı	$f_y$ (MPa)	$f_{su}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{su}$
$\phi 6$	373.4	485.4	0.018	0.1733

Tablo 1 ve 2’deki veriler Mander yöntemine veri olarak girilmiş ve sargılı beton için Tablo 3’te verilen dayanım ve dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. Sargılı Betona Ait Dayanım ve Şekil Değiştirme Değerleri

	$f'_{cc}$ (MPa)	$\epsilon_{cc}$
S1	31.6	0.0026
S1s	37.9	0.0047
S2	31.1	0.0024
S2s	35.6	0.0039
S2k	32.4	0.00285
S2ks	42.1	0.0061
S3	30.4	0.0022
S3s	32.3	0.0028
S3k	33.1	0.0031
S3ks	43.5	0.0065

Tablo 3’ten de anlaşılacağı gibi, sargılama işlemi betonun dayanımını arttırmakta, fakat daha da büyük oranlarda dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerlerini yükseltmektedir.

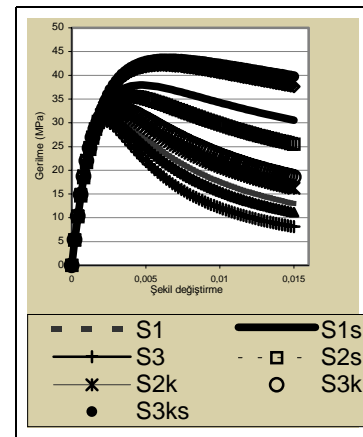
Numunelerde uygulanan etriye sıklaştırması ve/veya kanca donatısı kullanımının sargılanmamış betona göre dayanım ve şekil değiştirme değerlerini hangi seviyelerde arttırdığını belirlemek amacıyla Tablo 4

hazırlanmıştır. Etriye sıklaştırması ve ara seviyelerde kanca donatısının kullanıldığı numunelerde dayanım değerlerinde % 40 seviyelerinde artışlar sağlanırken, süneklik değerlerindeki iyileşme üç katın üzerindedir.

Tablo 4. Dayanım ve Süneklikte Sağlanan Artış

	$f'_{cc}/f'_{co}$	$\epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$
S1	1.06	1.31
S1s	1.27	2.37
S2	1.04	1.21
S2s	1.19	1.97
S2k	1.09	1.44
S2ks	1.41	3.08
S3	1.02	1.11
S3s	1.08	1.41
S3k	1.11	1.57
S3ks	1.46	3.28

Elde edilen veriler kullanılarak, sargılı betona ait gerilme şekil değiştirme eğrileri Popovics (1973) tarafından önerilen yöntem yardımıyla hesaplanmıştır. Uygulanan sargılama yöntemi ile her durum için elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrileri Şekil 5’te verilmektedir. Artan sargılama etkisi, dayanım değerini geçen betonun gerilme şekil değiştirme eğrisinin özellikle düşen kolu üzerinde etkili olmaktadır. Sargılama etkisi ile betonda meydana gelen dayanım kaybı ve ezilmenin etkileri azalmakta, elemanlar daha büyük şekil değiştirme değerlerine ulaşırken dayanım özelliklerini büyük ölçüde korumaktadır.

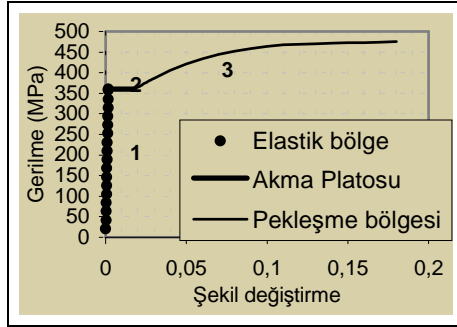


Şekil 5. Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme davranışı

Ortaya çıkan bu durum elemanın sünekliği üzerinde olumlu etkilere sebep olmaktadır. Betonarme yapı elemanlarının tasarımında süneklik de dayanım kadar önemlidir.

Özellikle deprem kuvvetleri altında büyük deplasmanlara maruz kalan elemanların, ilerleyen deformasyon seviyeleri boyunca yük taşıma kapasitelerini devam ettirmeleri, yapı sistemlerinin göçmeye uğramadan deprem enerjisini sönmüleyebilmesine imkan vermektedir.

Numunelerde öngörülen donatı çeliğine ait gerilme şekil değiştirme eğrisi Şekil 6'da verilmektedir. Donatının pekleşme bölgesindeki davranışı çekme testlerine en yakın Şekilde 3. dereceden fonksiyon kullanılarak temsil edilmiştir. Pekleşme bölgesindeki donatı davranışını veren bağıntı denklem 1'de verilmiştir (Şenel, 2001).



Şekil 6. Donatı çeliği gerilme şekil değiştirme ilişkisi

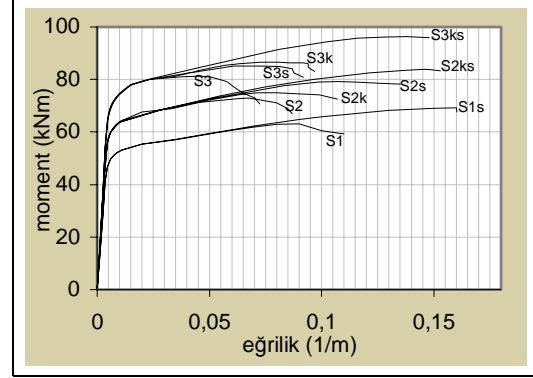
$$f_s = f_{sy} + \left[ \frac{44729(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})^3 - 17840(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})^2 + 2426.3(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})}{1} \right] \quad (1)$$

### 3. MOMET EĞRİLİK ÇÖZÜMLELERİ ve KURAMSAL SONUÇLARIN İRDELENMESİ

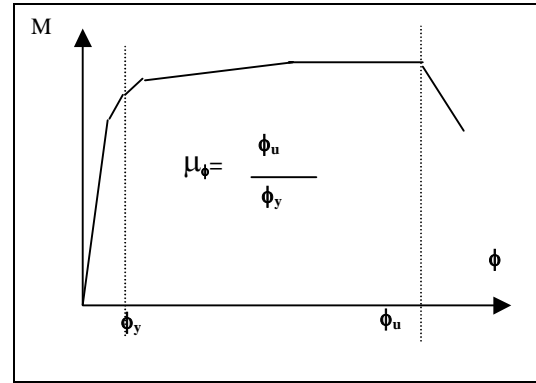
Geliştirilen bilgisayar programı sargılı betona ve donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri üzerinden okuma yaparak kuramsal hesapları gerçekleştirmektedir. Farklı sargılama şekilleri için elde edilen moment eğrilik grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.

Kanca ve/veya etriye sıklaştırması işlemi, aynı miktarda boyuna donatı içeren numunelerin yük taşıma kapasitesi üzerinde küçük oranlarda iyileşme sağlamaktadır. Sargılama etkisinin getirdiği asıl iyileşme ise elemanların süneklik davranışı üzerindedir. Artan eğilme etkileri ile yüklenen numuneler moment taşıma kapasitelerini

kaybetmemektedir. Sağlanan iyileşmenin derecesini tespit edebilmek amacıyla eğrilik sünekliği değerleri Şekil 8'de belirtilen yöntem ile (Atımtay, 2000) her eleman için hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 7. Moment eğrilik ilişkileri



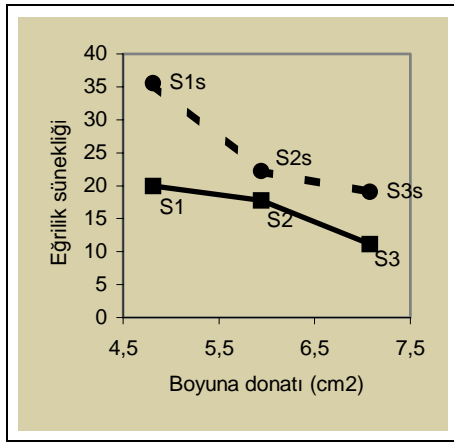
Şekil 8. Eğrilik sünekliğinin hesabı ( $\mu_\phi$ )

Tablo 5. Eğrilik Süneklikleri ( $\mu_\phi$ )

Numune	$\mu_\phi$
S1	20.0
S1s	35.6
S2	17.8
S2k	30.0
S2s	22.2
S2ks	33.9
S3	11.1
S3k	20.9
S3s	19.1
S3ks	32.9

Daha büyük sargı bölgesi genişliğine sahip olan S3 numunesinde kanca donatısının kullanımı (S3k) daha etkili sonuçlar verirken, göreceli olarak daha küçük sargı bölgesi içeren S2 numunesinde etriye sıklaştırması (S2s) etkilidir. Bu durum daha geniş sargı bölgeleri içeren numunelerin özellikle basınca maruz uç bölgelerinin deprem çirozları ile sarılması gereğini ortaya çıkarmaktadır.

Hesaplanan eğrilik sünekliği değerleri, sargılamının olumlu etkilerini rakamsal olarak ifade etmektedir. Enine donatı ile yapılan sargılama işlemi elemanların sünekliğini artırırken, boyuna donatı miktarlarındaki artış, sünekliği olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 9'da sıklaştırma ve kancanın kullanılmadığı S1, S2 ve S3 numuneleri ile etriye sıklaştırmasının uygulandığı S1s, S2s ve S3s numuneleri, boyuna donatı ve süneklik açısından karşılaştırılmıştır. Etkili olarak sarılmış ve sarılmamış kesitlerde, artan boyuna donatı miktarı elemanın sünekliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, göreceli olarak daha yüksek miktarda boyuna donatı içeren kesitlerin sünekliğine özen gösterilmesini gerektirmektedir.



Şekil 9. Boyuna donatı ve eğrilik sünekliği ilişkisi

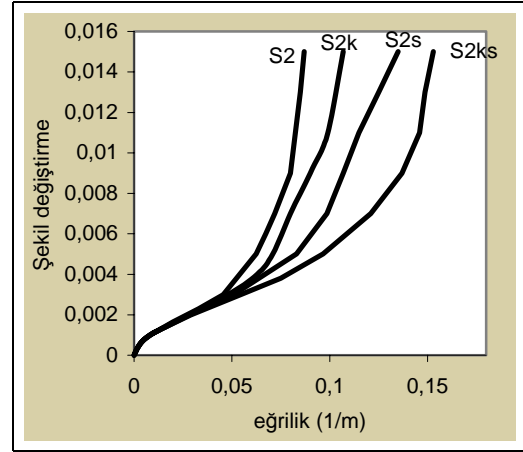
Tablo 6'da S1, S2 ve S3 numuneleri ile etriye sıklaştırmasının uygulandığı S1s, S2s ve S3s numuneleri için boyuna donatı miktarları, ulaşılan süneklik seviyeleri ve moment taşıma kapasiteleri verilmiştir. Ayrıca boyuna donatı miktarındaki artış ile moment taşıma kapasitesinde sağlanan artış değerleri de bu Tabloda görülmektedir. Moment taşıma kapasitesindeki artış oranları, boyuna donatı miktarındaki artışın gerisinde kalmaktadır. Bu durum hem etkili biçimde sarılmış, hem de sarılmamış kesitler için aynıdır. Taşıma kapasitesinin artırılması için sadece boyuna donatı miktarını arttırmak verimli bir yaklaşım olarak görünmemektedir.

Tablo 6. Etriye Sıklaştırması ve Boyuna Donatı Miktarının Süneklik ve Moment Üzerindeki Etkisi

#	As (cm <sup>2</sup> )	( $\mu_f$ )	M (kNm)	As/Asmin	M/Mmin
S1	4.81	20.00	63.05	1.00	1.00
S2	5.94	17.78	72.68	1.24	1.15
S3	7.08	11.11	81.28	1.47	1.29
S1s	4.81	35.56	69.26	1.00	1.00
S2s	5.94	22.22	74.98	1.24	1.08
S3s	7.08	19.11	85.16	1.47	1.23

Sargılama işlemi esas itibari ile betonun bozulmasının önüne geçmekte ve dayanım kaybını yavaşlatmaktadır. Bu durum, en dış beton basınç lifinde meydana gelen şekil değiştirmelerin eğrilik ile ilişkisinden de gözlenmektedir.

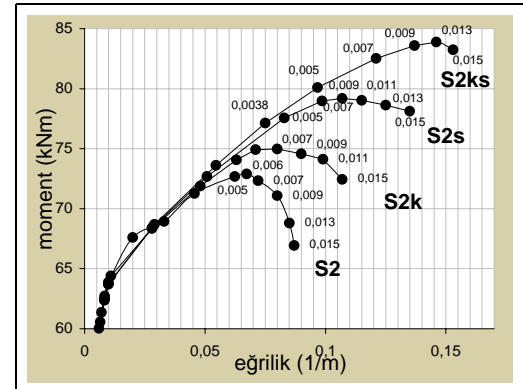
Şekil 10, farklı sargılama yöntemlerinin uygulandığı S2, S2k, S2s ve S2ks numunelerinde artan eğrilikler altında en dış beton basınç lifinde meydana gelen şekil değiştirmelerin durumunu göstermektedir. Sargılama etkisinin zayıf olduğu numuneler, göreceli olarak küçük eğrilik seviyelerinde büyük şekil değiştirmelere maruz kalmaktadır.



Şekil 10. Şekil değiştirme ve eğrilik ilişkisi

Zayıf sargılı beton, basınç altında daha küçük deformasyon seviyelerine ulaşmasına rağmen taşıma gücünü yitirmektedir.

Betonda meydana gelen bu şekil değiştirme davranışı, elemanların moment eğrilik ilişkileri üzerinde de gösterilmiştir. Şekil 11, ilerleyen moment eğrilik ilişkileri boyunca numunelerin en dış basınç lifinde oluşan şekil değiştirme seviyelerini göstermektedir.



Şekil 11. Moment eğrilik ilişkisi boyunca betonda oluşan şekil değiştirmelerin durumu

Kanca ve etriye sıklaştırmasının uygulandığı S2ks numunesinin ulaştığı şekil değiştirme seviyesi, aynı eğrilik seviyesinde zayıf sargılı S2 numunesinin ulaştığı şekil değiştirme seviyesinden oldukça düşüktür. Söz konusu bu iyileştirme ise ilave boyuna donatı kullanmadan, sadece betondaki sargılama etkisinin artırılması ile elde edilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Farklı uç sargı bölgeleri kullanılarak teşkil edilen elemanların doğrusal olmayan çözümlenmeleri, sargılama etkisinin elemanların sünekliği üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir.

Kanca donatısı ve etriye sıklaştırması uygulamaları elemanların yük taşıma kapasitelerinde önemli miktarda artışa sebep olmamakla birlikte, süneklik seviyelerinde belirgin bir artış sağlamaktadır.

Uç sargı bölgelerinin özellikle büyük tutulduğu numunelerde (S3 numunesi gibi) sadece etriye sıklaştırması yeterli olmamakta, ara seviyelerde bulunan boyuna donatıların kanca ile (deprem çirozları) bağlanması sargılamanın etkisini daha da arttırmaktadır.

Zayıf sargılanmış numunelerde göreceli olarak daha küçük eğrilik seviyelerinde dahi beton büyük şekil değiştirme değerlerine ulaşmakta, bu da betonun basınç altında paralanması ve ezilmesine sebep olmaktadır.

Uç sargı bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarının artırılması elemanların yük taşıma kapasitesini yükseltmekte fakat önemli miktarda süneklik kaybına sebep olmaktadır.

#### 5. SEMBOLLER

$f'_{co}$  : Sarılmamış beton için dayanım değeri (Mpa)  
 $f'_{cc}$  : Sarılmış beton için dayanım değeri (Mpa)

$f_y$  : Donatı akma dayanımı (Mpa)  
 $f_{su}$  : Donatı kopma dayanımı (Mpa)  
 $\epsilon_{sy}$  : Donatı akma şekil değiştirmesi  
 $\epsilon_{su}$  : Donatı kopma şekil değiştirmesi  
 $\epsilon'_{co}$  : Sarılmamış betonda dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme

#### 6. KAYNAKLAR

Atımtay, E. 2000. Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Cilt I-II, Bizim Büro Basımevi, Ankara.

İlki, A. 2000. Betonarme Elemanların Yön Değiştiren Tekrarlı Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R. 1988a. Theoretical stress-strain model of confined concrete, ASCE Journal of the Structural Division, V. 114, No. 8, 1804-1826.

Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R. 1988b. Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete, ASCE Journal of the Structural Division, V. 114, No. 8, 1827-1849.

Sheikh, S. A. and Uzumeri, S. M. 1980. Strength and Ductility of Tied Concrete Columns, ASCE Journal of the Structural Division, V.1 06, N 0. STS, 1079-1102.

Şenel, Ş. M. 2001. Tünel Kalıp Perde Duvarların Deprem Davranışının Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Popovics, S. 1973. A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete, Cement and Concrete Research, 3 (5), 583-599.