

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENİNE DONATI DETAYLARINDAKİ YETERSİZLİKLERİN BETONARME
KOLONLARIN EKSENEL YÜKLER ALTINDAKİ PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas SARIBAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

MAYIS 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENİNE DONATI DETAYLARINDAKİ YETERSİZLİKLERİN BETONARME
KOLONLARIN EKSENEL YÜKLER ALTINDAKİ PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İlyas SARIBAŞ
(501101032)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

MAYIS 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101032 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İlyas SARIBAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“ENİNE DONATI DETAYLARINDAKİ YETERSİZLİKLERİN BETONARME KOLONLARIN EKSENEL YÜKLER ALTINDAKİ PERFORMANSINA ETKİSİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr.Alper İLKİ İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr.Metin AYDOĞAN İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Prof. Dr.Mustafa ZORBOZAN Yıldız Teknik Üniversitesi	

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2013
Savunma Tarihi : 21 Mayıs 2013

Tüm sevdiklerime(SHT),

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan sayın hocam Prof. Dr. Alper İlki' ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecindeki değerli katkıları için; Dr.Yük.İnş.Müh. Medine İspir'e, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Çalışmayı destekleyen AKKİM firmasına, teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteği gösteren eşime ve aileme, tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mayıs 2013

İlyas SARIBAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Betonarme Taşıyıcı Elemanların Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi ve Süneklik.....	5
1.2 Daha Önce Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar.....	6
1.3 Amaç ve Kapsam.....	13
2.EKSENEL YÜKLER ALTINDAKİ KOLONLARIN DAVRANIŞI	15
2.1 Kolonlarda Elastik Teori.....	17
2.2 Normal (N_d) Kuvvet Altındaki Betonarme Kolonlar.....	18
2.3 Sargılı Beton.....	21
2.3.1 Sargı donatısının etkileri.....	22
2.3.2 Sargı donatısında etkili olan parametreler.....	22
2.3.3 Etriyelerle sargılama.....	23
2.4 Betonarme Kolonlarda Meydana Gelen Hasarlar.....	24
2.4.1 Kolonlarda donatı yerleşim ve birleşim hataları.....	24
2.4.2 Kiriş-Kolon sarılma bölgeleri.....	26
3.GERİLME-ŞEKİLDEĞİŞTİRME İLİŞKİSİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELLER.....	27
3.1 Beton Modelleri.....	27
3.1.1 Hognestad ve Diğ.(1955) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	28
3.1.2 Chan ve Diğ.(1955) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	29
3.1.3 Roy ve Sözen (1964) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	30
3.1.4 Soliman ve Yu (1967) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	31
3.1.5 Sargın ve Diğ. (1971) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	32
3.1.6 Kent ve Park (1971) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	34
3.1.7 Park, Priestly ve Gill (1982) tarafından değiştirilen Kent ve Park gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	37
3.1.8 Thompson ve Park tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	38
3.1.9 Vallenas, Bertero ve Popov (1977) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	40

3.1.10 Sheikh ve Üzümeri (1980) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	42
3.1.11 Mander ve Diğ. (1988) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	49
3.1.12 Kappos ve Diğ. (1991) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	52
3.1.13 Saatçioğlu ve Razvi (1992) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	54
3.1.14 İlki ve Diğ. (2004) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	56
3.2 Çelik İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Modeli.....	58
4.DENEY NUMUNELERİ VE ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	61
4.1 Numune Özellikleri.....	61
4.2 Malzeme Özellikleri.....	62
4.3 Numune İmalatı.....	65
4.3.1 Donatılar.....	65
4.3.2 Kalıplar.....	69
4.3.3 Kalıpların delinmesi ve delikler için tij kullanılması.....	70
4.3.4 Beton.....	71
4.3.5 Numunenin köşelerinin pahlanması.....	72
4.4 Deney Düzenekinin Hazırlanışı.....	75
4.5 Ölçüm Sistemi.....	79
5.DENEY SONUÇLARI.....	83
5.1 Giriş.....	83
5.2 S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 Numuneleri.....	85
5.3 S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 Numuneleri.....	86
5.4 R-90-4-NÇ-S50, R-112.5-4-NÇ-S50, S-135-4-NÇ-S50 Numuneleri.....	88
5.5 R-90-8-NÇ-S50, R-112.5-8-NÇ-S50, R-135-8-NÇ-S50 numuneleri.....	89
5.6 R-90-4-NÇ-S100, R-112.5-4-NÇ-S100, S-135-4-NÇ-S100 Numuneleri.....	91
5.7 R-90-8-NÇ-S100, R-112.5-8-NÇ-S100, S-135-8-NÇ-S100 Numuneleri.....	92
5.8 S-90-(4-8)-N-S50, S-112.5-(4-8)-N-S50, S-135-(4-8)-N-S50, R-90-(4-8)-NC-S50, R-112.5-(4-8)-NC-S50, R-135-(4-8)-NC-S50, R-90-(4-8)-NC-S100, R-112.5-(4-8)-NC-S100, R-135-(4-8)-NC-S100 Numunelerinin İkili Karşılaştırılması.....	94
5.9 R-90-4-NC-S(50-100), R-90-8-NC-S(50-100), R-112.5-4-NC-S(50-100), R-112.5-8-NC-S(50-100), R-135-4-NC-S(50-100), R-135-8-NC-S(50-100) Numunelerinin İkili Karşılaştırılması.....	99
5.10 Deneysel Sonuçların Genel Değerlendirilmesi.....	102
6.DENEY SONUÇLARININ MEVCUT MODELLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	105
6.1 İlki ve Diğ.(2004) Modeli.....	105
6.2 Saatçioğlu ve Razvi (1992) Modeli.....	110
6.3 Mander ve Diğ. (1988) Modeli.....	115
6.4 Deney Sonuçlarının Matematiksel Modellerle Karşılaştırılması.....	119
7.SONUÇLAR	127
KAYNAKLAR.....	129
EKLER.....	135
ÖZGEÇMİŞ.....	155

SEMBOL LİSTESİ

a	: Sarılmış beton kesitin uzun kenarı
A_c	: Sarılmış beton enkesit alanı
A_g	: Brüt beton enkesit alanı
A_s	: Boyuna donatı enkesit alanı
A_{sh}	: Enine donatı enkesit alanı
b_c	: Sarılmış kesit genişliği
d_c	: sarılmış kesit derinliği
b_x, b_y	: Enine donatının x ve y doğrultularında kollarının uzunluğu
c	: Tarafsız eksen derinliği
C	: Boyuna donatılar arası mesafe
d_c	: Sarılmış kesit faydalı yüksekliği
d_{cc}	: Sarılmış kesit çapı
d_{sh}	: Sargı donatısı çapı
E_c	: Beton başlangıç elastisite modülü
f_c	: Beton gerilmesi
f_{co}	: Yapı elemanında sarılmamış beton basınç dayanımı
f_c	: Sarılmamış beton silindir basınç dayanımı
f'_{cc}	: Sarılmış beton basınç dayanımı
f_l	: Yanal basınç
f_{le}	: Etkili yanal basınç
f_s	: Çelik gerilmesi
f_{sh}	: Enine donatı gerilmesi
f_{su}	: Çelik kopma dayanımı
f_t	: Beton çekme dayanımı
f_y	: Çelik akma dayanımı
f_{yh}	: Enine donatı akma dayanımı
h_{cav}	: Sarılmış kesit boyutları ortalaması
k_1	: Beton dayanım artışı katsayısı
k_2	: Beton şekil değiştirme artış katsayısı
k_e	: Sarılma etki katsayısı
p	: Eksenel kuvvet
P_b	: Dengeli eksenel kuvvet
s'	: Enine donatı aralığı
s''	: Enine donatılar arası temiz aralık
s^*	: Kesitte bulunan sargı donatılar arasındaki enine uzaklık
ε	: Yükleme hızı (şekil değiştirme/saniye)
ε_c	: Beton şekil değiştirmesi
ε_{cc}	: Sarılmış beton basınç dayanımına karşılık gelen beton şekil değiştirmesi
ε_{co}	: Sarılmamış beton basınç dayanımına karşılık gelen beton şekil değiştirmesi
$\varepsilon_{cs}, \varepsilon_{cf}$	: Soliman-Yu beton gerilme- şekil değiştirme modelinde karakteristik şekil değiştirme değerleri

ϵ_{cu} : Beton en büyük birim kısalması
 ϵ_s : Çelik şekildeğiştirmesi
 ρ : Geometrik boyuna donatı oranı
 ρ_{cc} : Boyuna donatı enkesit alanının, çekirdek beton kesit alanına oranı
 ρ_{sh} : Sargı donatısının sarılmış kesitte hacimsel oranı
EYK : Enerji Yutma Kapasitesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1: Sheikh ve Üzümeri tarafından ulaşılmış testlerin özeti (Sheikh ve Üzümeri, 1980).....	43
Çizelge 4.1: Kare numunelerine ait özet bilgiler	61
Çizelge 4.2: Dikdörtgen numunelerine ait özet bilgiler.....	62
Çizelge 4.3: Beton karışım oranları	62
Çizelge 4.4: Etriye kanca boyu ve kanca açıları	65
Çizelge 4.5: Kullanılan şekil değiştirme ölçerlerin teknik özellikleri	68
Çizelge 4.6: Akresin EP 200 A ve B maddeleri karışım oranları	74
Çizelge 4.7: Ölçüm aletlerinin özellikleri.....	81
Çizelge 5.1: S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 numunelerinin deney bilgileri	86
Çizelge 5.2: S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 deney bilgileri	87
Çizelge 5.3: R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 deney bilgileri	89
Çizelge 5.4: R-90-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50, R-135-8-NC-S50 deney bilgileri	90
Çizelge 5.5: R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100 deney bilgileri	92
Çizelge 5.6: R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100 deney bilgileri	93
Çizelge 6.1: Deneylerden elde edilen gerilme değerleriyle matematiksel modellerden elde edilen gerilmelerin karşılaştırılması	123
Çizelge 6.2: Deneylerden elde edilen şekildeğiştirme değerleriyle matematiksel modellerden elde edilen şekildeğiştirmelerin karşılaştırılması	124
Çizelge 6.3: Deneylerden elde edilen süneklilik değerleriyle matematiksel modellerden elde edilen sünekliliklerin karşılaştırılması.....	125

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1:Etriyeli ve fretli(spiral donatılı) kolonlar, (Choi, 2002).....	3
Şekil 1.2:Burkulan boyuna donatılar (İlki, 2006).....	3
Şekil 1.3:Sargı donatısında meydana gelen çekme gerilmesi (Ersoy, 1987).....	4
Şekil 2.1: Kolon türleri,(a) etriyeli kolon, (b) fretli kolon,(c,d) birleşik kolonlar	17
Şekil 2.2: Etriyeli ve fretli kolonun yük-deformasyon eğrisi (Yılmaz, 2001).....	21
Şekil 2.3: Eksenel yük taşıyan etriyeli bir kolonun kırılması (Yılmaz, 2001)	21
Şekil 2.4: Genel sargı tipleri	23
Şekil 2.5: Farklı miktarlardaki etriyeler ile sarılmış beton için gerilme- şekildeğiştirme grafikleri (Topçu, 2008).	23
Şekil 2.6: Yetersiz enine donatılar ve boyuna donatıda burkulma (Yalova, 1999)...	25
Şekil 2.7: Sıklaşma bölgelerindeki yetersiz enine donatı (Yalova, 1999).....	25
Şekil 2.8: Sarılma bölgesinde etriye eksikliği (Gölcük-1999,Ceyhan-1998).....	26
Şekil 2.9: Kolon-Kiriş birleşiminde donatı kusurları (İzmit,1999)	26
Şekil 3.1: Beton için Hognestad tarafından önerilen gerilme-şekil değıştirme ilişkisi (Hognestad, 1955).....	28
Şekil 3.2: Beton için Chan tarafından önerilen gerilme-şekil değıştirme ilişkisi (Chan, 1955).....	30
Şekil 3.3: Beton için Roy ve Sözen tarafından önerilen gerilme-şekildeğıştirme ilişkisi (Roy, 1964).....	31
Şekil 3.4:Beton için Soliman ve Yu tarafından önerilen gerilme-şekildeğıştirme ilişkisi (Soliman, 1967).	32
Şekil 3.5:Beton için Sargın tarafından önerilen gerilme-şekildeğıştirme ilişkisi (Sargın, 1971).....	34
Şekil 3.6:Sargılı ve Sargısız beton için önerilen gerilme-şekildeğıştirme ilişkisi (Kent, 1969-1990).....	35
Şekil 3.7:Etriyeli kolonun eksenel olarak yüklenmesi (Kent, 1969-1990).....	36
Şekil 3.8:Etriye miktarının beton gerilme-şekildeğıştirme bağıntısına etkisi (Kent, 1969-1990).....	37
Şekil 3.9:Park, Priestly ve Gill tarafından değıştirilen Kent ve Park gerilme- şekildeğıştirme ilişkisi (Park, 1982).....	38
Şekil 3.10:Thompson ve Park tarafından değıştirilen Kent ve Park gerilme- şekildeğıştirme ilişkisi.....	39
Şekil 3.11:Vallenas, Bertero ve Popov (1977) tarafından önerilen gerime- şekildeğıştirme ilişkisi (Vallenas, 1977).....	41
Şekil 3.12:Sheikh ve Üzümeri tafından önerilen betonun genel gerilme- şekildeğıştirme ilişkisi (Sheikh ve Üzümeri, 1980).....	44
Şekil 3.13:Etriye seviyelerindeki sarılmamış beton (Sheikh ve Üzümeri, 1980).....	45
Şekil 3.14:Sarılmamış betonun alanının belirlenmesi (Sheikh ve Üzümeri, 1980)...	46
Şekil 3.15:Etriye seviyeleri arasındaki sarılmamış beton (Sheikh ve Üzümeri, 1980)	46
Şekil 3.16:Kritik kesitlerin belirlenmesi - sarılmış ve sarılmamış betonun üç boyutlu görünüşü(Sheikh ve Üzümeri, 1980)	47

Şekil 3.17: Etriye aralığının bir fonksiyonu olarak etkili sarılmış beton alanı ve çeşitli kare donatı yerleşimleri için çekirdek alanı (Sheikh ve Üzümeri, 1980).	49
Şekil 3.18: Mander tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Mander,1988).....	50
Şekil 3.19: Kappos tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Kappos, 1991)	53
Şekil 3.20: Saatçioğlu&Razvi tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Saatcioglu ve Razvi, 1992)	54
Şekil 3.21: İlki ve diğ. tarafından önerilen betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (İlki, 2004).....	56
Şekil 3.22: Çelik için gerilme-şekildeğiştirme modeli (Mander,1988)	59
Şekil 4.1: Karışım1-1, karışım1-2 numunelerin 28 ve 90 günlük beton basınç dayanımları.....	63
Şekil 4.2: 28 Günlük karışım1-1 silindir numunesinin test edilmesi.....	63
Şekil 4.3: 28 Günlük karışım1-2 silindir numunesinin test edilmesi.....	64
Şekil 4.4: Çelik gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	64
Şekil 4.5: Kare etriyelerde kanca biçimleri	65
Şekil 4.6: Şekildeğiştirmeölçerler(Strain Gauges).....	66
Şekil 4.7: N-1 yapıştırıcı	66
Şekil 4.8: 3M izolasyon bandı	67
Şekil 4.9: Şekildeğiştirmeölçerli etriyeler	67
Şekil 4.10: Donatının hazırlanması aşamasında kullanılan çıtalar	68
Şekil 4.11: Etriyelerin çıtalara bağlanması	68
Şekil 4.12: Kare numuneler için hazırlanan kalıplar	69
Şekil 4.13: Dikdörtgen numuneler için hazırlanan kalıplar	69
Şekil 4.14: Kullanılan paspayları.....	70
Şekil 4.15: Delinen kalıplar	70
Şekil 4.16: Tijlerin kalıplara yerleştirilmeden önce spiralde hazırlanması	71
Şekil 4.17: Tijlerin kalıplara yerleştirilmesi	71
Şekil 4.18: Yanal(etriye) donatısı yerleştirilen kalıplara beton dökümü	72
Şekil 4.19: Beton dökümü ve şişlemenin yapılması	72
Şekil 4.20: Pahlama işlemi yapılırken	73
Şekil 4.21: 7,5 cm boyunda kesilen karbon kumaş.....	73
Şekil 4.22: Karbon kumaşla 2 kat sarılan betonarme kare numuneler	74
Şekil 4.23: Üst kısımları sargılanmış betonarme dikdörtgen numuneler.....	74
Şekil 4.24: Hazırlanan kalıplar	75
Şekil 4.25: Farklı kanca açılı ve boylu etriyeler	75
Şekil 4.26: Kalıplara konulmaya hazır yanal(etriye) donatılar	76
Şekil 4.27: Farklı kanca açılı ve boylu çirozlar	76
Şekil 4.28: Sargılama işlemleri tamamlanmış numuneler	77
Şekil 4.29: Numunelere başlık yapılması	78
Şekil 4.30: Teste hazır deney düzeneği	78
Şekil 4.31: Veri toplayıcı	79
Şekil 4.32: 500 ton kapasiteli Instron test cihazı	80
Şekil 4.33: Deney düzeneği genel görünüm	80
Şekil 4.34: Deney ortamı genel görünüş.....	81
Şekil 5.1: Süneklik ve enerji yutma kapasitesinin(EYK) hesaplanması	83
Şekil 5.2: Numunenin eksenel yönleri	84

Şekil 5.3: S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	85
Şekil 5.4: Sırasıyla S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 numunelerinin deney sonrası görünüşleri	86
Şekil 5.5: S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	87
Şekil 5.6: Sırasıyla S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 deney sonrası görünüşleri	88
Şekil 5.7: R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	88
Şekil 5.8: Sırasıyla R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 deney sonrası görünüşleri	89
Şekil 5.9 : R-90-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50, R-135-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	90
Şekil 5.10: Sırasıyla R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 deney sonrası görünüşleri	91
Şekil 5.11: R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	91
Şekil 5.12: Sırasıyla R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100 deney sonrası görünüşleri	92
Şekil 5.13 : R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	93
Şekil 5.14: Sırasıyla R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100 deney sonrası görünüşleri	94
Şekil 5.15: S-90-4-N-S50, S-90-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	94
Şekil 5.16: S-112.5-4-N-S50, S-112.5-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	95
Şekil 5.17: S-135-4-N-S50, S-135-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	95
Şekil 5.18: R-90-4-NC-S50, R-90-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	96
Şekil 5.19: R-112.5-4-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	96
Şekil 5.20: R-135-4-NC-S50, R-135-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	97
Şekil 5.21: R-90-4-NC-S100, R-90-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	97
Şekil 5.22: R-112.5-4-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	98
Şekil 5.23: R-135-4-NC-S100, R-135-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	98
Şekil 5.24: R-90-4-NC-S50, R-90-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	99
Şekil 5.25: R-90-8-NC-S50, R-90-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	100
Şekil 5.26: R-112.5-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	100

Şekil 5.27: R-112.5-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S100 numunelerinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkileri	101
Şekil 5.28: R-135-4-NC-S50, R-135-4-NC-S100 numunelerinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkileri	101
Şekil 5.29: R-135-8-NC-S50, R-135-8-NC-S100 numunelerinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkileri	102
Şekil 6.1: İlki Modeline Göre S-C35.6-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	106
Şekil 6.2: İlki Modeline Göre R-NC-C35-S100 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	108
Şekil 6.3: İlki Modeline Göre RÇ-C35-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	109
Şekil 6.4: Saatçioğlu ve Razvi modeline göre S-C35.6-S50 numunesinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkisi	112
Şekil 6.5: Saatçioğlu ve Razvi modeline göre RÇ-C35-S100 numunesinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkisi	114
Şekil 6.6: Saatçioğlu ve Razvi modeline göre RÇ-C35-S50 numunesinin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	115
Şekil 6.7: Mander modeline göre S-C35.6-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	117
Şekil 6.8: Mander modeline göre RÇ-C35-S100 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	118
Şekil 6.9: Mander modeline göre RÇ-C35-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	119
Şekil 6.10: S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50, İlki-S-C35.6- S50, Saatçioğlu-S-C30-S50, Mander-S-C30-S50 numunelerinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkileri	119
Şekil 6.11: S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50, İlki-S-C30- S50, Saatçioğlu-S-C30-S50, Mander-S-C30-S50 numunelerinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkileri	120
Şekil 6.12: R-90-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50, R-135-8-NC-S50, İlki-RC-C35- S50, Saatçioğlu-RC-C35-S50, Mander-RC-C35-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	120
Şekil 6.13: R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50, İlki-RC-C35- S50, Saatçioğlu-RC-C35-S50, Mander-RC-C35-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	121
Şekil 6.14: R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100, İlki-RC- C35-S100, Saatçioğlu-RC-C35-S100, Mander-RC-C35-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	121
Şekil 6.15: R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100, İlki-RC- C35-S100, Saatçioğlu-RC-C35-S100, Mander-RC-C35-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	122
Şekil A.1: S-Ref numunesinin göçme modu resimleri	135
Şekil A.2: S-90-4-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri	136
Şekil A.3: S-90-8-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri	137
Şekil A.4: S-112.5-4-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri	138
Şekil A.5: S-112.5-8-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri	139
Şekil A.6: S-135-4-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri	140
Şekil A.7: S-135-8-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri	141

Şekil A.8: R-90-4-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri.....	142
Şekil A.9: R-90-4-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri.....	143
Şekil A.10: R-90-8-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri.....	144
Şekil A.11: R-90-8-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri.....	145
Şekil A.12: R-112.5-4-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri.....	146
Şekil A.13: R-112.5-4-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri.....	147
Şekil A.14: R-112.5-8-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri.....	148
Şekil A.15: R-112.5-8-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri.....	149
Şekil A.16: R-135-4-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri.....	150
Şekil A.17: R-135-4-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri.....	151
Şekil A.18: R-135-8-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri.....	152
Şekil A.19: R-135-8-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri.....	153

ENİNE DONATI DETAYLARINDAKİ YETERSİZLİKLERİN BETONARME KOLONLARIN EKSENEL YÜKLER ALTINDAKİ PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZET

Dünyadaki betonarme yapı stokunun çoğu eski yönetmeliklere göre tasarlandığı için yeteri kadar güvenli değildir. Bu güvensiz betonarme yapılar deprem anında hemen hasar görmekte ve telafisi mümkün olmayan sonuçların meydana gelmesine neden olmaktadır. Büyük bölümü deprem kuşağında olan ülkemizde ise meydana gelen son depremler, betonarme yapılardaki taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen alışıla gelmiş hataları bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Bu hataların başlıcaları, düşük beton dayanımı, yetersiz enine donatı, kötü işçilik olarak sıralanabilir. Belirtilen bu hatalar yapının deprem anında zarar görmesine neden olmakta ve çok fazla can ve mal kaybı meydana getirmektedir. Meydana gelen depremler sonrası betonarme yapılarda yapılan araştırmalar, yapının en fazla zarar görmesine neden olan yapısal elemanın kolonlar olduğunu ortaya koymuştur. Betonarme bir yapıda kolonlar eğer kendisinden beklenen performansı göstermiş ise yapı ayakta kalmış ve daha az hasarla depremi atlattır. Betonarme yapıların deprem anında ayakta kalması büyük ölçüde kolonlar aracılığıyla olduğu için, yapılan çalışmalar bu yapı elemanı üzerinde yoğunlaşmakta ve yıllardan beri bu konu üzerinde sayısız bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaktadır.

Özellikle de betonarme kolonları süneklik ve dayanım açısından belirli bir seviyeye getirmek için enine donatı(etriye) çok önemlidir. Çünkü betonarme kolonlarda enine donatı yerleşimi gerek dayanım gerekse süneklik açısından davranış üzerinde önemli etkilere sahiptir. Literatürdeki çalışmalarda genel olarak yönetmelik kurallarına uygun enine donatı yerleşimleri incelenmiş, sınırlı sayıda çalışmada ise yönetmelik kurallarına bütünü ile uymayan enine donatı yerleşimleri ve bu durumda davranışta ortaya çıkan zayıflıkların giderilmesine ağırlık verilmiştir. Bunlara karşılık yönetmelik şartlarını kısmen sağlayan, kısmen sağlamayan enine donatı yerleşimlerinin davranışa etkisi araştırılmamıştır. Bu konuya yönelik olarak İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında çok kapsamlı bir çalışma sürmektedir. Bu tezde devam eden çalışmaların bir bölümüne ait sonuçlar sunulmaktadır.

Farklı enine donatı yerleşimlerine sahip kare ve dikdörtgen enkesitli betonarme kolon numuneleri aksel basınç etkileri altında deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmadaki parametreler kanca açısı, kanca boyu ve etriyeler arası mesafedir. Aksel yükleme deneyleri için yerdeğiştirme kontrollü 5000 kN kapasiteli İnstron test cihazı kullanılmıştır. Deneyler ile ilgili yönetmeliklere kısmen uyan enine donatı yerleşimleri için yukarıda belirtilen deney parametrelerinin değişimine bağlı olarak

betonarme kolonların davranışı incelenmiş, deneysel olarak elde edilmiş olan davranış özellikleri, literatürde mevcut olan analitik modellerle, dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesi açısından karşılaştırılmıştır.

EFFECTS OF DEFICIENCIES OF TRANSVERSE REINFORCEMENT DETAILING ON THE BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

SUMMARY

It is well known that a high percentage of existing structures in earthquake zone of the world need to be strengthened for reducing the risk of heavy loss of life and economic losses. These structures were constructed according to older codes or inadequate construction practice. Particularly in developing countries, the seismic performance of the structures may be significantly poor due to insufficient ductility and low concrete strength. The structural members of this type of structure may experience severe damage due to low deformability and axial capacity of the structural members. Recent earthquakes also occurred in Turkey where the most of its parts in earthquake zones revealed usual errors that occur in structural elements of reinforced concrete structures once again. These errors are primarily low concrete strength, inadequate transverse reinforcement, poor workmanship can be listed as. Especially, low concrete quality and lack of adequate confinement reinforcement are among most common deficiencies for existing reinforced concrete structures and RC column elements. These deficiencies may cause structural damage leading to the collapse of structures during earthquakes due to insufficient compressive strength, deformability and ductility. To overcome these problems, RC column members that suffer from low quality of concrete or lack of adequate confinement can be wrapped by transverse reinforcement (stirrups). These stirrups can provide passive lateral pressure that results with enhancement in compressive strength, ductility and stress strain relation of the member. That errors as low concrete strength, inadequate transverse reinforcement, poor workmanship cause damaging to the structure during earthquake and a lot of loss of life and property. Researches in reinforced concrete structures after earthquake has showed that RC columns are critical structural members for earthquake behavior of the reinforced concrete structure systems. If the reinforced concrete (RC) columns show the expected performance in reinforced concrete structure during earthquake, generally building can stand and get over the earthquake. A building keeps up through the columns of reinforced concrete structures during earthquake, for that reason studies have focused on the structural element and countless scientific studies have been done and continued for many years. Some of the researchers who are working on this subject; [Kent and Park 1971; Sargin et al., 1911; Priestley et al., 1981; Park et al., 1982; Sheikh and Uzumeri, 1982; Mugurama et al., 1983; Dilger et al., 1984; Ahmad and Shah 1985; Mander et al., 1988a, 1988b; Mugurama and Watanabe, 1990; Saatcioglu and Razvi

1992; Cusson and Paultre 1995; Saatcioglu et al., 1995; Hoshikuma et al., 1997; Ilki et al., 1997] can be ordered.

Especially, transverse reinforcements are very important to bring a certain level of strength and ductility for reinforced concrete columns. Because the configuration of transverse reinforcement has a major impact on the behavior of both strength and ductility of reinforced concrete columns. Although extensive experimental data is available on transverse reinforcement confined concrete members, most of these studies are small size experimental parameters without hook height, hook angle and distance of transverse reinforcement.

An extensive analytical and experimental research program on the behavior of RC column members is under progress at the Structural and Earthquake Engineering Laboratory (STEEL) of Istanbul Technical University. In this study, relatively larger size specimens with different hook height, hook angle and distance between the stirrups were tested under axial compression. 7 square specimens and 12 rectangular specimens that are wrapped by transverse reinforcement of various hook height(80 mm,40 mm), hook angle(135° , 112.5° , 90°) and the distance between the transverse reinforcement(100 mm, 50 mm) are tested under axial load and cylinder concrete strength in all columns was 30 MPa. Dimension of square RC columns and rectangular RC columns are 250x250x500 and 250x375x500 respectively. Longitudinal reinforcement was not also used in this study to measure the effectiveness of transverse reinforcement, only the transverse reinforcement was used. Wooden slats instead of longitudinal reinforcement were used to connect the transverse reinforcements.

The average unconfined concrete strength was 35.6 MPa for 7 square RC columns and 35 MPa for 12 rectangular RC columns. The parameters of the experimental work were hook height, hook angle and the distance between the transverse reinforcement. Ties were also used in addition to the transverse reinforcement in rectangular RC columns. After the tests of unconfined and confined specimens, it was observed that the contribution of the transverse reinforcement to deformability, ductility, stress strain relation and strength enhancement was remarkable for specimens with square and rectangular RC columns. RC column specimens were tested under monotonic or sustained compressive loads by using an Instron Satec 1000 RD universal testing machine with a capacity of 5000 kN. Testing machine is capable of making displacement and force controlled loading. And experimental results were compared with the analytical models. These models are Mander et al.(1988), Ilki et al.(2004) and Saatçioğlu and Razvi (1992). According to the test results, significant enhancement on stress strain relation, load carrying capacity, ductility ratio, energy dissipation and core concrete strength.

After the axial compression tests on square reinforced concrete (RC) columns with adequate transverse reinforcement, the following conclusions were derived. Transverse reinforcement in square RC column specimens ($h/b = 2$) cross-sections significantly improves the compressive strength, deformability, ductility, stress-strain relationships of these specimen. As a result of these improvements, significant enhancement can be obtained for energy dissipation capacities and ductility of these members. Effect of confinement in specimens with a big hook angle and hook length became more effective than specimens with a small hook angle and hook length. The smaller the distance between the transverse reinforcements, the bigger ductility

of square reinforced concrete column specimens. Depend on the angle and length of hooks descending parts of stress-strain relationships of specimens are very different each other. According to the comparisons of three analytical approaches proposed by Ilki et al(2004)., Mander et al(1988). and Saatçioğlu and Razvi(1992) with the test results, it has been observed that Ilki et al. model can accurately predict the stress-strain relation. But this comparison shows that the models do not predict the behavior of the RC columns with the non-code-complying transverse reinforcements accurately. Consequently, a model including the hook angle and the hook length is required for determining the performance of existing RC structures with the non-code-complying transverse reinforcement detailings.

1. GİRİŞ

Betonarme, 19. Yüzyıl'ın ikinci yarısından itibaren, tüm dünyada en çok tercih edilen yapı malzemesi olmuştur. Bunun nedeni; betonarmenin yüksek dayanımı, güvenilirliği, diğer malzemelere göre maliyetinin düşük olması ve yapım kolaylığı olarak sıralanabilir (Anıl, 2007). Beton; şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu, üretimindeki kolaylık gibi etkenlerden dolayı, kullanım alanı gelişerek yaygınlaşan, çok önemli bir yapı malzemesidir. Bu gelişmeler sonucu betonun, yeni teknikler ve yeni malzemeler yardımıyla, kullanıldığı ortamda karşılaştığı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı güçlendirilerek, ondan beklenen klasik niteliklerden çok daha verimli hizmet verebilecek bir yapı malzemesi olacağı anlaşılmıştır (Arslan, 1997).

Beton, inşaat mühendisliği alanında yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir ve önceden şekil verilebilen yapay bir taş olarak tanımlanabilir. Beton, agrega adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli malzemelerin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelen bir yapı malzemesidir (Akman, 1990).

Karışımında çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompas itesini artırır. Çakıl veya kırma taş taneleri betonun bir nevi iskeletini oluşturur. Böylelikle bunlar malzemenin maruz kaldığı kuvvetlere karşı koyarlar (Postacıoğlu, 1987). Beton yük taşıyan, diğer bir deyişle esas taşıyıcı bir malzemedir (Çivici, 2002).

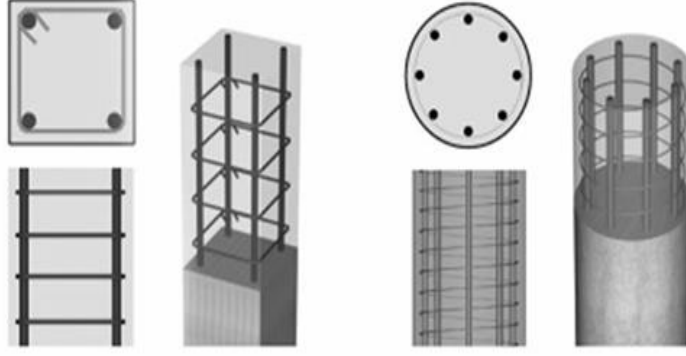
Karmaşık bir yapıya sahip olan beton, uygun granülometriye sahip agrega, çimento ve suyun belli oranlarda bir araya getirilmesinden elde edilen heterojen bir yapı malzemesidir. Basitleştirmek amacıyla, beton; agrega ve sertleşmiş çimento hamuru olmak üzere iki fazlı heterojen bir yapı malzemesi olarak dikkate alınmaktadır. Aynı ayrı düşünüldüğünde; çimento hamuru, amorf yapısı nedeniyle kendi içinde heterojen olduğu gibi, agrega da kendi fazı içinde son derece heterojen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, betonlar üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarının yorumlanmasında güçlüklerle karşılaşmakta ve bu cismin mekanik özellikleri,

özellikle dış kuvvetler etkisinde kırılma mekanizmaları, homojen izotrop ve sürekli katı cisimler için geliştirilmiş olan klasik elastisite teorileriyle tam olarak açıklanamamaktadır (Uğurlu, 1994).

Çimentonun bulunması ile yapı dünyası, çeşitli formlara sokulabilen beton malzemesini kazanmıştır. Betonun çelik çubuklarla takviye edilerek kullanılması onu vazgeçilemeyecek bir yapı malzemesi yapmıştır (Uğurlu, 1994). Bunun yanında betonun bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi; hasar görmüş bir beton yapının onarımı ve güçlendirilmesi oldukça zordur. Bu durum yapıların özellikle sismik tehlikeye sahip bölgelerde yapılması durumunda önemli bir problem oluşturmaktadır (Yuva, 1996).

Betonarme yapılar için seçilen taşıyıcı sistemlerin hemen hepsinde kolon bulunmaktadır. Sadece betonarme perdelerden oluşan taşıyıcı sistemli yapılarda kolon bulunmayabilir. Çerçeve tipli yapılarda ise taşıyıcı sistem olarak sadece kolonlar mevcuttur. Böyle sistemlerde kolonlar yapının kendisinin ve dışardan gelen yükleri taşıma görevini yerine getirirler. Ayrıca yatay yüklerden meydana gelecek olan rölatif kat ötelemelerini izin verilen sınırlar içinde kalmasını sağlarlar. Son yıllarda taşıyıcı sistem olarak perde tipi taşıyıcılarla, kolonların birlikte betonarme yapılarda kullanılmaya başlanmasıyla, kolonlara daha az görev düşmekte ve özellikle rölatif kat ötelemelerinin belirli bir sınır içinde kalması perde tipi taşıyıcı sistemler tarafından sağlanmaktadır. Yalnız çerçeve tipi yapıların fazlalıkta olduğu ülkemizde taşıyıcı sistem tasarımına, özellikle betonarme kolon tasarımına çok dikkat etmek gerekmektedir.

Günümüzde betonarme kolonlar genellikle sargı donatısının biçimine göre etriyeli ve fretli(spiral donatılı) kolonlar olarak iki gruba ayrılırlar. Özellikle ülkemizde etriyeli kolonlar kadar olmasa da, zaman zaman fretli kolonlar kullanılmaktadır. Ancak kolay anlaşılır olması açısından deprem yönetmeliğinde fretli kolonlar, spiral donatılı kolonlar olarak tanımlanmıştır. Etriye kolonlar, işçiliğin kolay olmasının da etkisiyle uygulamada en sık karşılaşılan kolon çeşididir. Fretli(spiral donatılı) ve etriye donatılı kolonlardaki donatı düzenlemesi şekil 1.1'deki gibi yapılmakta ve betonarme yapılarda kullanılmaktadır.



Şekil 1.1:Etriyeli ve fretli(spiral donatılı) kolonlar, (Choi, 2002)

Betonarme bir kolon aksenal basınç yükü etkisinde kaldığı zaman, bu yük beton ve donatıda basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Etriyeli kolonda basınç yükü arttığında betonda ezilme meydana gelmekte ve kopan betonlar nedeniyle boşalan kısımlardan boyuna donatılar burkulmaktadır. Şekil 1.2’de burkulmuş donatılar görülmektedir.



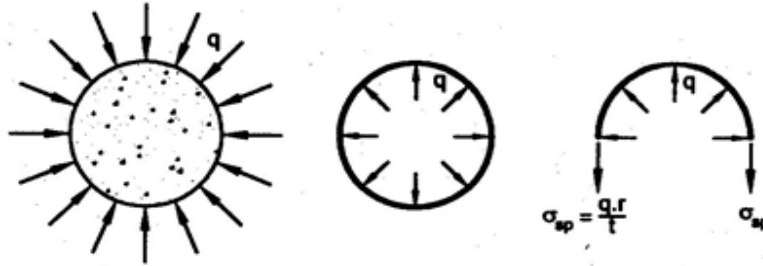
Şekil 1.2:Burkulan boyuna donatılar (İlki, 2006)

Etriye, tekniğine uygun olarak sık bir şekilde yerleştirilirse boyuna donatıların burkulma boyları azalacak, dolayısıyla da donatılar ancak daha büyük yüklerde burkulacaktır. Dolayısıyla tekniğine uygun yerleştirilmiş sık etriyeli kolon daha sünek davranacak, muhtemelen de depremi daha az hasarla atlanmasına imkan sağlamış olacaktır. (Doğangün, 2010).

Kolonlarda etriyenin sık yerleştirilmesi, deprem davranışları için olumludur, ancak yeterli değildir. Etriye kancaları şekil 1.2’deki gibi tekniğine uygun olarak yapılmayıp kancalar 90^0 kıvrılırsa, depremde etriyeler çok kolay bir şekilde açılacak ve kolonun deforme olmasına neden olacaktır. Kancalar 135^0 kıvrılırsa deprem anında kolay bir şekilde açılmayacak ve kendinden beklenen davranışı deprem

anında gösterecektir. Böyle bir durumda etriyeler kesilene kadar çalışacak ve yapı yıkılmaktan kurtulacaktır.

Fretli(spiral donatılı) kolonlarda basınç yükü arttığında ilk olarak çekirdek alanı dışındaki beton örtüsü dökülmektedir. Sargı donatısı çekirdek betonuna basınç uygulayarak, kolonun hem dayanımına hem de sünekliliğine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla etriyeli kolonların ağır hasar gördüğü depremi, aynı etkiye maruz fretli kolonların sadece hafif hasarla atlatma ihtimali yüksektir. Kolona etkiyen yüklerin çok fazla olması halinde fretli(spiral donatılı) kolonlarda deforme olacaktır, ancak kırılma etriyeli kolonlardaki gibi gevrek olmayacak, daha sünek bir davranış göstererek deprem atlatılacaktır. Fretli kolonlarda etriyelerin açılması gibi bir durumla karşılaşılmaz. Çünkü sargı donatısı spiral olarak kolonun çekirdek alanını sarmaktadır. Çekirdek alanındaki dışa doğru olan basınç, sargı donatısında çekme gerilmesi oluşturmaktadır. Bu çekme gerilmesi Şekil 1.3'te görülmektedir. Dolayısıyla da sargı donatısı, ancak kopmayla görevini yerine getirememektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi, etriyeli kolonlarda etriyenin açılması veya etriye eksenine dik olarak uygulanan kuvvet nedeniyle, etriyelerin dışa doğru eğilerek şişmesi gibi bir durumla karşılaşılmaz. Bu nedenlerle deprem anında sargı donatısı az olan kolonlara karşı sargı donatısı fazla ve sık olan kolonlar daha iyi performans gösterecek, fretli kolonlar ise en iyi performansı göstererek yapının gelen yatay yükler altında ayakta kalmasını sağlayacaktır.



Şekil 1.3:Sargı donatısında meydana gelen çekme gerilmesi (Ersoy, 1987).

Ülkemizin çoğu bölgesi birinci derece deprem kuşağında yer alması ve hemen hemen her gün şiddeti küçükte olsa birçok depremin meydana gelmesi gibi nedenlerden dolayı betonarme yapı tasarımına çok dikkat edilmeli ve yapının kalbi mesafesinde olan betonarme taşıyıcılara tasarım ve uygulama aşamasında gerekli önemin verilmesi gerekmektedir. Taşıyıcı sistemlerde boyuna donatı, enine donatı, fret(spiral

donatı) gibi yapının eksenel ve yatay yüklere karşı ayakta durmasını sağlayacak yapısal elemanlara da gereken önem verilmelidir.

1.1 Betonarme Taşıyıcı Elemanların Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi ve Süneklik

Betonarme elemanların deprem anında veya yapının kendi ağırlığı altında davranışlarının belirlenebilmesi için, betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin iyi bilinmesi büyük önem taşır. Betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi, enine donatı ile sarılması durumunda, sarılmamış duruma göre önemli değişiklikler gösterir. Enine donatının betonun davranışı üzerinde önemli birçok etkisi vardır ancak şu iki tanesi çok daha önemlidir. Bunlar basınç dayanımı ve sünekliliği artırmasıdır. Bu iki özelliğin artmasıyla yapı servis ömrü boyunca ayakta kalacak ve kendisinden beklenen performansı fazlasıyla gösterecektir. Şunu da ifade etmek gerekir ki beton günlük hayatımızda inşaat sektöründe diğer malzemelere nazaran en fazla kullanılan yapı malzemesi olmasıyla ve betonarme yapılarda taşıyıcı sistemde, yapının her yerinde fazlaca kullanılıyor olması gibi sebeplerle üzerinde en çok çalışılan, en çok araştırılan ve davranışının kesin olarak tespit edilmesi için büyük çabalar ve bütçeler harcanılan malzemedir. İşte bunun içindir ki dünyanın farklı yerlerindeki birçok araştırmacı betonun gerilme-şekildeğiştirmesi üzerinde çalışmalar yapmış ve hala günümüzde kullanılan modeller geliştirmişlerdir.

Betonarme; basit olarak, beton ile çelik donatı çubuklarının beraber çalışacak ve birbirlerinin eksiklerini tamamlayacak şekilde bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilir. Betonarme içindeki çelik ve betonun birlikte hareket etmesinin sağlanması ve betonarme elemanların performansının tatmin edici düzeyde olması öncelikle öteleme, çatlak oluşumu, aderans, ankraj gibi faktörlere bağlıdır. Betonarme yapıların sismik davranışında iki malzeme arasındaki ilişki baskın olmaktadır, çünkü yukarıda bahsedilen faktörlerin ilavesiyle ilişki aynı zamanda rijitlik ve sismik enerji sönümleme kapasitesine etki eder (Penelis,1997).

Yüksek basınç dayanımına sahip betonun zayıf tarafı, düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. Betonun bu kusurlu yanı, içine yüksek çekme dayanımına sahip çelik çubuklar yerleştirilmesi ile tamamlanarak betonarme malzemesi oluşturulur. Böylece

mekanik özellikler bakımından çok daha üstün bir birleşim meydana getirilir. Gerçekten de, çelik çubukların beton tarafından sarılması ve sıyrılmasının önlenmesi, çelik çubuğun beton içinde kalarak dış etkilerin oluşturacağı korozyona karşı korunması ve iki malzemenin de yakın sıcaklık genleşme katsayılarına sahip olması ideal durumu destekleyici unsurlardır (Celep, 1998).

Betonarmeyi diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliklerden biri de “uyum”dur. Uyum; fazla zorlanan bir lifin, kesitin veya elemanın, zorlanmaları komşu lif, kesit veya elemana aktarabilme özelliğidir. Süneklik ise yük taşıma kapasitesinde düşme olmadan, kesitin büyük deformasyon yapabilme özelliğidir. Sünek davranış, “uyum”un oluşmasını sağlayarak, kuvvetlerin fazla zorlanan bir elemandan diğerine aktarılmasına olanak tanır (Ersoy, 1987).

Betonarmeyi oluşturan çelik ve betonun gerilme-birim deformasyon özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bu belirleme, çelik için oldukça kolay olmasına karşın, beton için oldukça zordur. Betonun (σ - ϵ) ilişkisini birçok değişken etkilediğinden, tek ve kesin bir (σ - ϵ) eğrisi önermek zordur. Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan, bu dayanımın ihmal edilmesi önemli bir hata getirmez. Betonarme elemanlarda oluşan çekme gerilmeleri, bu bölgelere yerleştirilen çelik çubuklarla karşılanır. Betonarme elemanların basınç bölgesindeki gerilme dağılımının, aksel basınç altında denenen numunelerden elde edilen (σ - ϵ) eğrisine benzediğini varsaymak, doğru bir yaklaşım olur. Yapılan çok sayıda deney, bu varsayımın doğruluğunu kanıtlamıştır (Türkel, 2002).

1.2 Daha Önce Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar

Eksenel yükler altında, betonarme kolonlardaki yanal donatının(etriyenin) etkinliğinin ölçülmesinin amaçlandığı bu çalışmada,7 adet kare, 12 adet dikdörtgen numune üretilmiştir. Bu konuyla ilgili aşağıdaki literatür araştırmaları yapılmıştır.

Conrad (2007), yaşları 6 saatten 365 güne kadar olan sıkıştırılmış silindir beton numunelerin gerilme-şekildeğiştirme davranışları ve elastisite modülleri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında elastisite modülünün belirlenmesi için 6 saat önce dökülen numunenin uygun olmadığı, 3 gün ve 365 gün arasında dökülen

numunelerin gerilme-şekildeğiştirme bilgilerinin elde edilebilir olduğu belirlenmiştir (Conrad,2007).

Jo (2001), fiber donatıların betona eklenmesinden sonra betonarme elemanın düktilite ve yorulma dayanımını arttırdığı görülmüştür. Eksenel basınca maruz bırakılan 15X30 cm boyutlarındaki silindirik numunelerin gerilme-şekildeğiştirme davranışları değerlendirilmiştir (Jo, 2001).

Köken (1997), eksenel yük altındaki kolonların davranışı ele alınmıştır. Dört adet değişik enine donatı oranına sahip kolon, eksenel yük altında test edilmiş ve yük-deplasman ilişkisi elde edilmiştir. Eksenel yük altındaki kolonların analitik yük-deplasman ilişkisi bilgisayar programı ile elde edilerek karşılaştırılmıştır (Köken, 1997).

Tokgöz (2005), eğik eğilme ve eksenel yüke maruz poligonal kesitli kısa ve narin betonarme ve kompozit beton elemanların, çeşitli gerilme-şekildeğiştirme modelleri ile gerekli donatı hesabı ve taşıma gücü kapasitesini belirlemeye yönelik iteratif bir yöntem sunulmuştur. Geliştirilen yöntemde, malzemelerin lineer olmayan davranışı esas alınmış ve analiz için beton basınç bölgesi ve yapı çeliğinin tamamı yeterli sayıda şeritlere ayrılmıştır. Betonarme ve kompozit kolonların narinlik hesabı için Moment Büyütme Yöntemi esas alınmıştır. Çalışmada, sekiz adet betonarme kolon numunesi test edilerek taşıma gücü kapasiteleri geliştirilen yöntemle karşılaştırılmıştır. Bunlara ek olarak, literatürde mevcut bazı deneysel ve teorik sonuçlar geliştirilen yöntemin sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir (Tokgöz,2005).

Yalduz (1997), eksenel basınç yükü altında fretli, normal dayanımlı beton kolonların davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada; TS500 şartnamesinin betonarme kolonların kapasite hesabı için önerdiği ifadede yer alan 0.85 beton dayanımı çarpanının, normal beton için gerçekçi olduğu sonucuna varılmıştır (Yalduz, 1997).

Akyıldız (1997), betonarme narin kolonların kırılma yüklerinde boyut etkisi deneysel olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda betonarme kolonlar için kullanılabilecek boyut etkisini içeren formül önerilmeye çalışılmıştır (Akyıldız, 1997).

Canbay (1995), yüksek dayanımlı kare kolonların eksantrik basınç yükü altında davranışları incelenmiştir. Altı adet yüksek dayanımlı beton kolon numunesi eksantrik basınç altında denenmiştir. Deney elemanlarının değişken parametreleri; etriye oranı, etriye aralığı ve çiroz etriyelerinin yeterliliğidir. Deneylerden elde edilen sonuçlarda, etriyelerin; kolon dayanımı ve sünekliği üzerindeki etkileri tartışılmıştır (Canbay, 1995).

Kwon (2002), çelik ve fiber polimer manto dahil olmak üzere farklı mekanizmalara sahip beton silindir numuneler, son zamanlarda geliştirilen üç boyutlu beton modeli, beton ve betonarme kolonların farklı yükleme şekilleri için kullanılarak, California Üniversitesinde deneye tabi tutulmuştur. Uygulanan deneylerden ve üç boyutlu sonlu elemanlar analizinden elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir (Kwon, 2002).

Harajli (2006), fret sargılı betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini tanımlamak için genel bir matematik model geliştirilmiştir. Model, hem dairesel hem de dikdörtgen kolonlara uygulanmış ve gerilme-şekildeğiştirme ilişkisine etki eden ana parametreler, önerilen matematik model ile hesaplanmıştır (Harajli, 2006).

Anderson (2008), enine donatı bulunmayan düğüm noktalarındaki kesme deformasyonları için bir gerilme-şekildeğiştirme modeli hazırlanmıştır. Çalışmada, deneye tabi tutulan numunelerden elde edilen sonuçlar ve geliştirilen model ile elde edilen sonuçların oldukça yaklaşık olduğu ortaya konulmuştur (Anderson, 2008).

Kumutha (2007), fiber cam polimer takviyeli dikdörtgen kolonların aksenal yük atındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Toplam olarak dokuz numunenin aksenal basınca tabi tutulduğu deneylerde fiber cam polimer ilavesi ile basınç dayanımının, kolonun yük taşıma kapasitesi ve düktilitesinin arttığı gözlenmiştir. Çalışmada deneysel sonuçların analizlerine dayanarak basit bir model geliştirilmiş, deneysel ve analitik sonuçlar arasında oldukça iyi bir korelasyon elde edilmiştir (Kumutha, 2007).

Zhang (2007), çelik tüp ile sarılmış betonarme kolonlardan oluşan 23 adet numune tekrarlı yada monolitik aksenal basınç altında deneye tabi tutulmuştur. Çalışmada, betonu saran dörtgen tüpün aksenal yük dayanımının hesaplanması için bir denklem önerilmiştir. Toplam beş adet kolon- kiriş aksenal basınç ve yatay tekrarlı yükler

altında çalışılmıştır. Deney sonuçları; dörtgen çelik tüp sargılı betonların, geleneksel olarak yatay etriyelerle sarılmış betonarme kolonlara göre daha yüksek eğilme dayanımına, sünekliğe ve enerji yutma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir (Zhang, 2007).

Woods (2007), sekiz adet 203x203x2030 mm boyutlarındaki yüksek dayanımlı kolonlar ile yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, yüksek dayanımlı betonarme kolonlarda enine donatılarının eğilme açısından sünekliğinin, hacim oranı ve iki yatay donatı arasındaki mesafeden bağımsız olarak belirlemektir. Bunun için dört numune 76 mm aralıklı fakat farklı hacim oranlarındaki etriyeler ile, kalan dört numune ise farklı etriye aralıklarıyla fakat (%1.1) hacim oranına sahip numuneler ile hazırlanmıştır. Çalışma sonunda süneklik indeksi ile yatay donatı aralığı ve hacmi arasında mantıklı ve tahmin edilebilir bir ilişkinin bulunduğu görülmüştür (Woods, 2007).

Kaltakçı (2001), betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkilerine etken olan tasarım değişkenleri üzerine analitik bir inceleme amaçlanmış ve bu amaçla bilgisayar programı geliştirilmiştir. Betonarme kolonların davranışına etki eden beton basınç dayanımı, boyuna donatı ve sargı donatısı miktarı ve donatıdaki pekleşme olayının betonarme kolonlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Kaltakçı, 2001).

ElMandooh (2003), lineer olmayan çift eksenli modellerin, tekrarlı ve dinamik yükler altındaki betonarme elemanların analizi için uygulanabilir olduğu, böyle elemanların eksenel olarak etkitilen yükler için dayanım, rijitlik ve deformasyon kapasitesini etkileyebildiği belirtilerek bir elastik olmayan çift eksenli model, plastisite teorisine dayanılarak önerilmiştir. Model eksenel yükün yatay yerdeğiştirme üzerindeki etkisini de göz önüne almaktadır. Geliştirilen model kullanılarak çeşitli eksenel yükleme şekillerinin betonarme kolonun yatay deformasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir (ElMandooh, 2003).

Hossain (2003), kompozit kolonların eksenel yük altındaki davranışları analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmanın ayrıntılarında test edilen kolonların davranışları, testin hazırlanışı, göçme modları, şekil değiştirme karakteristikleri, yük-deformasyon ilişkileri ve çeşitli geometrik ve malzemeye bağlı parametrelerin etkisi sunulmuştur. Çalışma aynı zamanda hafif ağırlıklı volkanik kül

betonun normal beton ile karşılaştırılmasını da sunmaktadır. Eksenel yükleme altında bu tip kolonların tasarımı için analitik model, sargılı betonun etkisini de dikkate alacak biçimde geliştirilmiştir. Tasarım denklemlerinin performansları, deneysel çalışmanın sonuçları ile örtüşmekte olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarında önerilen tasarım modelinin, ulaşılabilen tasarım prosedürleri ve formülasyonlara dayalı şartnameler ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur (Hossain, 2003).

Gupta (2007), çelik tüp sargılı dairesel beton kolonların merkezlerinden eksenel olarak yüklenmesi sonucu oluşan davranışları deneysel ve analitik olarak sunulmuştur. Çelik tüp sargılı kolonların yük taşıma kapasitelerine çap ve D/t oranının etkisini araştırmak için 18 numune test edilmiştir. Aynı zamanda beton cinsinin ve uçucu kül hacminin etkisinin yanında bu parametrelerin göbek betonunun tüp sargı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Çap'ın duvar kalınlığına oranı $25 < D/t < 39$ aralığındadır ve uzunluğun tüp çapına oranı $3 < L/D < 8$ olarak belirlenmiştir. Tüp sargılı beton kolonların dayanım sonuçları ulaşılabilen literatürlerdeki bulgular ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar programı ANSYS kullanılarak çelik tüp sargılı betonların yük taşıma mekanizmasını çalışmak amacıyla bir lineer olmayan sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Bu modelde yük deformasyon eğrileri ve bunların göçme modları ile deneysel ve analitik sonuçları örtüşmektedir. Deneysel ve analitik çalışmalardan çelik tüp sargılı beton kolonların; verilen yük taşıma kapasitesinin, hacimsel orandaki uçucu külün %20'ye çıkmasıyla azaldığı fakat yeniden betondaki uçucu kül hacmi %25 olduğunda ise arttığı bulunmuştur (Gupta, 2007).

Dündar (2008), betonarme kolonların davranışları deneysel olarak incelenmiş ve hem kısa kolonların hem de narin kolonların analizi için teorik bir prosedür, iki eksenli eğilme ve eksenel yük altında sunulmuştur. Önerilen prosedürde beton donatı ve yapısal çelik materyal için lineer olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi kabulü yapılmıştır. Analiz için çeşitli gerilme-şekildeğiştirme modelleri kullanılmış ve betonun basınç bölgesi kesiti ve yapısal çeliğin tüm kesiti uygun şekilde parçalara bölünmüştür. Elemanın narinlik etkisi Moment Büyütme Metodu kullanılarak hesaba katılmıştır. Önerilen prosedürde 12 kare ve 3 L şekilli betonarme kolon, kısa süreli eksenel yük ve iki eksenli eğilmeye maruz bırakılarak karşılaştırılmış, aynı zamanda

kompozit kolonlar için literatürde ulaşılabilen bazı deneysel ve teorik sonuçlar, önerilen prosedürden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve oldukça iyi doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir (Dündar, 2008).

Wang (2008), fiber cam polimer manto ve çelik etriyeler ile sarılmış dikdörtgen ve kare kolonların eksenel basınç dayanımını hesaplamak amacıyla deneysel bir program ve tasarım metodu önerilmiştir. 3 adet kare ve 3 adet dikdörtgen kolon, eksenel basınç altında göçünceye kadar test edilmiştir. Deney sonuçları; mantonun, kolonun nihai şekildeğiştirme ve nihai dayanımını arttırdığını açıkça göstermiştir. Tasarım metodu deneylerden elde edilen verilerin kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında, fiber cam polimer manto ile sarılmış kolonların eksenel yük dayanımlarının hesabı için denklemler önerilmiştir (Wang, 2008).

Hadi (2007), yüksek dayanımlı fiber polimer betonarme kolonların eksenel ve eksantrik yükler altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Seçilen dokuz dairesel kesitli kolon numunesi, 205mm çap ve 925mm yüksekliğe sahiptir. Beton basınç dayanımları 65 MPa'dır. Tüm kolonlar çelik ile donatılandırılmıştır. 3 kolon numunesi sargısız olarak dökülmüştür. 3 kolon numunesi 3 tabaka fiber polimerle, 3 kolon numunesi de 3 tabaka cam fiber polimer ile sarılmıştır. 3 grubun her birinden birer adet numune eksenel yük etkisinde, bir numune 25mm eksantrik yük etkisinde ve bir numunede 50mm eksantrik yük etkisinde test edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında; fiber polimer malzemenin, kolonların dayanım ve düktilitesinin artmasında çok büyük etkisinin olduğu belirtilmiştir (Hadi, 2007).

Eid (2006), enine donatı ile sarılmış dairesel beton kolonlarda sargı etkisinin araştırılması için analitik bir çalışma sunulmuştur. Analitik çalışma birkaç bölüm içermektedir. İlk bölüm, lineer elastik silindirin pasif sargı probleminin çözümünü içermektedir. Daha sonra pasif problemin çözümüne dayanılarak yatay donatı ile sabit kalınlıktaki üniform eşdeğer tüp; eşit yanal basınç uygulanacak biçimde yer değiştirilir. Eşdeğer tüp kalınlığı, sargı etkisinin analitik olarak belirlenmesi için kullanılmıştır. Sonuçlar geniş biçimde kullanılan, deneysel sargı metodu kullanılarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır (Eid, 2006).

Kaminski (2006), karbon fiber takviyeli betonarme kolonların yük taşıma kapasiteleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk amacı donatı tipinin yük

taşıma kapasitesi ve şekildeğiştirmeye olan etkisini belirlemektir. Çalışmanın ikinci amacı ise kolon dışında oluşturulan fiber karbon takviyeli donatıların, elemanın yük taşıma kapasitesine olan etkisini araştırmaktır. Deney sonuçları; konunun araştırılmaya değer olduğunu göstermiştir. Kolon dışında oluşturulan donatı oranı ve yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişki, çeşitli donatı oranları için (%1,4-%4,2 arasında) deneye tabi tutulmuştur (Kaminski, 2006).

Shehata (2002), 54 kısa kolon numunesinin incelendiği bir deney, fiber karbon polimer ile dıştan sarılmış kolonların dayanım ve düktilitesini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Deneylerde çalışılan değişkenler; kolon kesit alanı (dairesel, dikdörtgen ve kare) ve modele uygulanan fiber karbon polimer tabakası sayısıdır. Çalışmanın sonuçlarında; dairesel, kare ve dikdörtgen olarak kullanılan kesit geometrilerinin her biri için, sargıda oluşan gerilmenin bir fonksiyonu olarak, sarılmış betona ait dayanımın hesaplanması amacıyla denklemler önerilmiştir. Önerilen bu denklemler ile literatürden elde edilen denklemler, yürütülen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Shehata, 2002).

Ngo (2003), şiddetli, ani yüklemeye maruz, yüksek dayanımlı betonların davranışı ile ilgili Melbourne Üniversitesinde yapılmış bir analitik çalışma sunulmuştur. Çalışmanın değişkenleri; ani yüklemeye maruz betonun dayanımı (normal dayanımlı beton için 40MPa, yüksek dayanımlı beton için 80MPa) ve ani yüklemenin büyüklüğüdür. Çalışmanın sonuçlarında ani yüklemeye maruz, aynı eksenel yük taşıma kapasitesine sahip, yüksek dayanımlı betonların normal dayanımlı betonlardan daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (Ngo,2003).

Brauns (1999), kompozit kolonlar için elastisite modülü ve poission oranı da dikkate alınarak betonda oluşan gerilmeler belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, yapısal çelik çekmeye ve beton basınca maruz kaldığı anda yüksek gerilme seviyelerinde sargı donatısının etkisi belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarında; kompozit kolonların daha etkili kullanımı ve yapısal çeliğin kalınlığının az olması, büyük eksantrikliklerin bulunması ya da yangın gibi durumlarda kolonun göçmesi ihtimalini önlemek için beton ve çeliğin uygun dayanım sınıflarının kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Brauns, 1999).

Sharif (2006), eksenel yüklü, onarılmış kolonların yapısal etkinliğini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Onarım için yüksek ve düşük elastisite modülüne sahip iki malzeme seçilmiştir. Beton kolonlar, eksenel yüklü ve yüksüz durumlarda onarılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında; beton kolonlar için onarımın kolon yüksüz haldeyken yapılması durumunda yapısal olarak daha etkili olduğu, kolonlar eksenel olarak yüklü haldeyken onarımın yapılması durumunda ise onarım malzemesinin sadece kolona ek yük gelmesi durumunda etkili olduğu belirlenmiştir (Sharif, 2006).

1.3 Amaç ve Kapsam

Günümüzde yürürlükte olan standartlarda, betonarme kolonların tasarlanmasında sadece belli başlı yöntemler takip edilmekte ve bunun haricinde başka yöntemlere başvurulmamaktadır. Yalnız son zamanlarda meydana gelen depremlerde kolonlarda alışıla gelmiş olan yanal sargı donatısı(etriye) miktarının, donatılar arasındaki mesafenin, kanca boyunun ve açısının kolonlarda yetersiz kaldığı ortaya koyulmuştur. Bu durum ise araştırmacıları konu üzerinde çalışmaya sevk etmiş ve etriye miktarı, kanca açısı ve boyu üzerinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı ise; betonarme bir kolonda bulunan yanal sargı donatısı(YSD)miktarının, donatılar arasındaki mesafenin, kanca açısının ve boyunun, eksenel basınç altında betonarme kolonların dayanımına etkisini araştırmaktır. Bu amaç kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda,7 adet 25x25x50 cm boyutlarında kare kolon ve 12 adet 25x37,5x50 cm boyutlarında dikdörtgen kolon üretilmiş ve eksenel basınca maruz bırakılmıştır. Böylece yanal donatı(etriye) miktarının, donatılar arasındaki mesafenin, kanca açısının ve boyunun, kolonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya koyulmuştur. Deneysel çalışmadan elde edilen test sonuçları, her seri kendi içinde olacak şekilde gerilme-şekildeğiştirme, dayanım, süneklilik ve enerji yutma kapasitesi yönünden karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplar sonucunda elde edilen veriler yine deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve gerekli yorumlamalar yapılmıştır. Teorik çalışmada, literatürde sargılı beton için ortaya konulmuş formüller kullanılmıştır.

2. EKSENEL YÜKLER ALTINDAKİ KOLONLARIN DAVRANIŞI

Kolonlar; genellikle bütün yapılarda temel ile diğer yapı elemanları arasındaki bağlantıyı sağlayan temel yapı elemanlarıdır. Taşıyıcı sistem tipine bağlı olarak ahşap, çelik ve betonarme gibi çeşitli şekillerde tasarlanabilir.

Kolonlar genellikle dairesel veya dikdörtgen kesitli oldukları halde yapının statiği ve mimarisinden kaynaklanan sebeplerle uygulamada farklı geometrik şekil ve kesitlere de rastlanılabilir. Döşemelerden gelen yükleri çoğu durumda kirişler vasıtasıyla almakla birlikte bazı durumlarda (mantar döşemelerde olduğu gibi) doğrudan da yük alabilirler (Cıstık, 1998).

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 şekildeğiştirme eğrisinin, çok sayıda değişkenden etkilendiği, bu nedenle her durum için geçerli tek bir eğrinin tanımlanmasının olanaksız olduğu bilinmektedir. Betonun gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkisi, enine donatı ile sarılması durumunda, sarılmamış duruma göre önemli farklılıklar gösterir. Sargı donatısının davranış üzerinde iki önemli etkisi vardır, bunlar; ilk olarak basınç dayanımını arttırması ve ikinci olarak sünekliği arttırmasıdır. 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.

Sargılı betonun davranışı; enine donatı hacimsel oranı, aralık, çap ve dayanımı, boyuna donatının kesit içindeki 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

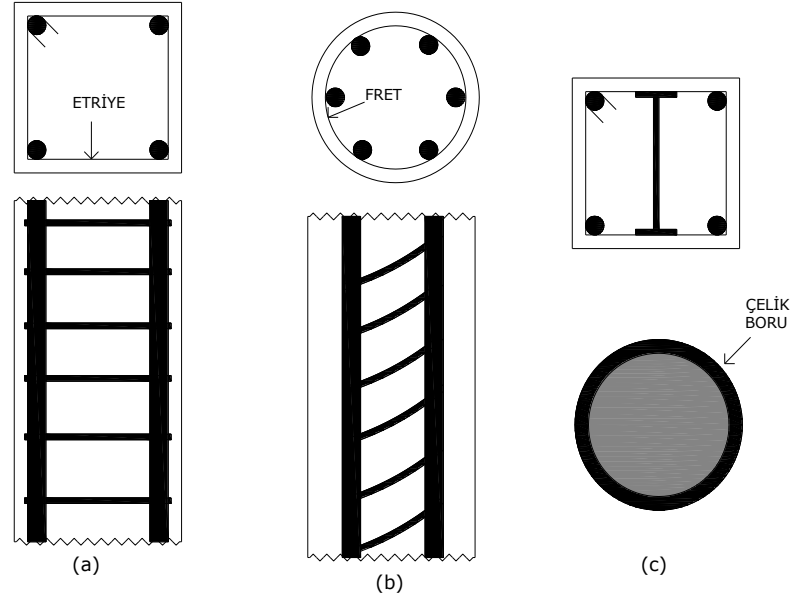
davranışını farklı durumlar için gerçeğe yakın şekilde yansıtmak ve kullanılan bağıntıların fazla karmaşık olmamasını sağlamaktır (Kaltakçı, 2008).

Kolonlar aksenel yük ve eğilme momentine maruz kalan elemanlardır. Kolonun fonksiyonu; yatay kuvvetlerden doğan kesme kuvveti, moment, burulma, oturma, rötre ve bunun gibi etkileri temele iletmektir. Kolonlarda yalnızca beton kullanılmaz. Genellikle muhtemel eğilme etkileri, zamana bağlı deformasyonlar ve oturmalar düşünülerek, kolonlara çelik donatı çubukları yerleştirilir. Betonarme kolonlarda boyuna donatının yanında etriye ve fret şeklinde enine donatılar da kullanılır (Köken, 1998).

Kolonların, aksenel yükleri taşımalarının yanı sıra yukarıda bahsedildiği gibi yapıya etki eden deprem veya rüzgâr gibi yatay yüklerin taşınmasında da önemli görevleri vardır. Betonarme bir yapıda, yapıyı oluşturan tüm elemanların sünek davranış göstermesi, büyük bir enerjinin açığa çıktığı deprem etkisi sırasında, yapının ve yapıyı oluşturan elemanların bu enerjiyi yutması ve tüketmesi açısından çok önemlidir. Depremde hasar görmüş binalar incelendiğinde; kolonların, binanın ayakta kalmasında veya büyük ölçüde hasar görmesinde başlıca etken ve çok önemli birer taşıyıcı eleman oldukları dikkati çekmektedir (Kaltakçı, 2003).

Bu açıdan bakıldığında, özellikle perdesiz veya az perdeli yapılarda yatay taşıyıcılar ile temeller arasındaki tek bağlantı kolonlar olduğundan, yapıdaki taşıyıcı elemanlar içinde önem bakımından en ön sırada yer alırlar. Günümüze kadar yapılar üzerinde yapılmış olan gözlemlerde; döşeme veya kirişlerden bir veya birkaçı hasar görmüş yada yıkılmış olduğu halde ayakta duran birçok binaya rastlanmasının yanında, sadece bir kolonun hasar görmesinden dolayı tamamen yada kısmen yıkılmış pek çok yapıya rastlanılmıştır (Büyükkuşoğlu, 1999).

Kolon boyuna donatısını saran enine donatının cinsine göre farklı türlerde betonarme kolon vardır. Boyuna donatısı bireysel etriyelerle sarılmış kolonlara “Etriyeli Kolon”, sürekli dairesel fretlerle sarılmış olanlara ise “Fretli Kolon”, etriye, fret ve çelik profillerle birlikte bir bütün olarak oluşturulan kolonlara ise “Birleşik Kolon” denir. Şekil 2.1’de Etriyeli, Fretli, Birleşik kolonlar gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Kolon türleri,(a) etriyeli kolon, (b) fretli kolon,(c,d) birleşik kolonlar

2.1 Kolonlarda Elastik Teori

Kolonlar için elastik teoride, beton ve çelik davranışları doğrusal elastik varsayılır. Eksenel yük altında gerilmelerin hesaplanmasında, “eşdeğer alan” kavramından yararlanılır. Buna göre, kesitteki toplam boyuna donatı alanı A_s , modüler oran ($n = \frac{E_s}{E_c}$) ile çarpılarak, eşdeğer beton alanına dönüştürülür. Betona dönüştürülmüş eşdeğer alanın taşıyacağı eksenel yük, denge denkleminde bulunabilir.

$$N = \sigma_c \{ (A_c - A_{st}) + n \cdot A_{st} \} \quad (2.1)$$

(2.1) denkleminde yararlanılarak betondaki gerilme aşağıdaki gibi yazılır;

$$\sigma_c = \frac{N}{(A_c - A_{st}) + n \cdot A_{st}} \quad (2.2)$$

Donatıdaki gerilme ise (2.2)’denklemindeki beton gerilmesi modüler oranla çarpılarak bulunur.

$$\sigma_s = n \frac{N}{A_c - A_{st} (n+1)} \quad (2.3)$$

N : Eksenel yük

σ_c : Betondaki gerilme

σ_s : Donatıdaki gerilme

A_c : Brüt beton alanı

A_{st} : Kesitteki toplam boyuna donatı alanı

n : Modüler oran, $\left[\frac{E_s}{E_c} \right]$

Donatı alanları, donatı oranı cinsinden de ifade edilebilir.

$$\text{Toplam boyuna donatı oranı: } \rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \quad (2.4)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A_c} \cdot \frac{1}{1 + \rho_t(n-1)} \quad (2.5)$$

$$\sigma_s = \frac{N}{A_c} \cdot \frac{1}{1 + \rho_t(n-1)} \quad (2.6)$$

Yukarıda gösterilen gerilmeler, betonun zamana bağlı deformasyonu nedeni ile büyük ölçüde değişir. Bu nedenle, her iki malzemenin de doğrusal elastik davrandığı varsayımı ile çıkarılan gerilme denklemleri, kesit hesabı için hiçbir zaman kullanılmamalıdır (Ersoy, 1987).

2.2 Normal (N_d) Kuvvet Altındaki Betonarme Kolonlar

Betonun sünme ve büzülme deformasyonunun, eksenel yüklü betonarme kolonun çelik ve beton gerilmeleri üzerinde büyük etkisi vardır. Boyuna donatı gerilmesinin artmasına, beton gerilmesinin azalmasına neden olabilir. Donatı yüzdesi çok büyük ve başlangıç yükü çok fazla olan kolon için genellikle kuvvet aktarımında geç kalınabilmektedir. Hatta çelikte basınç, betonda çekme oluşması da mümkündür. Bu yüzden elastik teoriye göre emniyet gerilmeleri yöntemi ile çözümlenmiş betonarme kolonların güvenliğini tayin etmek oldukça zordur (Eriş, 2000). Bununla birlikte, eksenel olarak yüklenmiş bir kolonun nihai taşıma kapasitesi makul bir doğrulukla hesaplanabilir. Nihai dayanım, betonun karakteristik basınç dayanımı ve boyuna donatının akma dayanımı ile hesaplanabilir. Etriyeli bir kolon için göçme; betonun

kırılması ve etriyeler arasındaki donatının burkulması ile meydana gelir. Kolonun nihai yük kapasitesi; kolonun kesit alanı, betonun basınç dayanımı, boyuna donatının kesit alanı ve dayanımı ile ilgilidir. TS500'e göre Etriyeli bir kolonun eksenel yük kapasitesi;

$$N_d = 0.85f_{ck}A_c + f_{yk}A_s$$

Olarak belirtilmiştir. Burada;

f_{ck} : Betonun basınç dayanımı

A_c : Betonun kesit alanı

f_{yk} : Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı

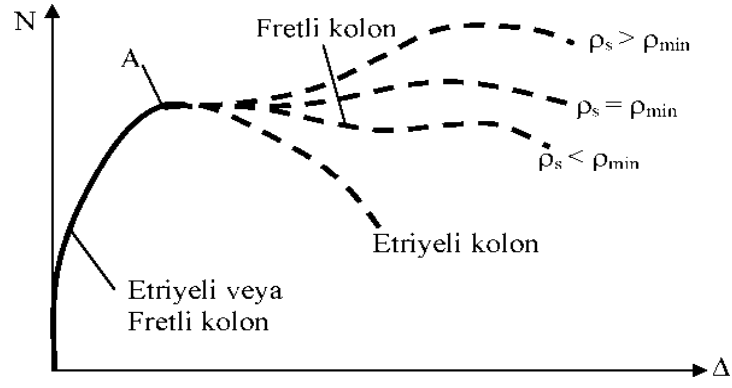
A_s : Çelik donatının kesit alanı

TS500'e göre, nihai eksenel yük kapasitesi sadece betonun ve boyuna donatının alanı ve dayanımına bağlıdır ("Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", 1984).

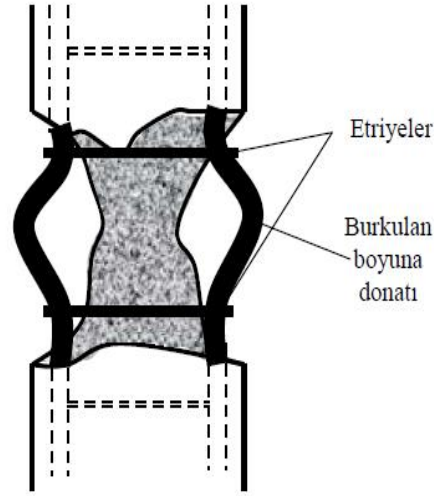
Bununla birlikte yatay donatı aralığı, alanı ve dayanımı eksenel yüklü kolonun davranışında dikkate alınmamaktadır. Yapılardaki betonarme kolonlar enine donatı olan fretler veya dikdörtgen etriyeler ile sarılırlar. Beton basınç altında yatay yönde genişleme eğilimine girer ve yatay donatı ile sarılır. Bu yatay deformasyon, yatay donatı ile önlenir ve betona pasif basınç uygular. Böylece yatay donatı içindeki beton artık tek eksenli basınç altında değil, üç eksenli basınç gerilmeleri altındadır. Farklı geometrileri sebebiyle dikdörtgen etriyeler sargı donatısı olarak fretler kadar etkili değildirler. Dikdörtgen etriyelerde deformasyon, genel olarak eğilme ve bu yüzden donatının eğilme rijitliğine bağlıdır. Dairesel geometri durumunda eğilme rijitliği, eksenel rijitliğe göre daha küçüktür, çünkü maksimum eğilme deformasyonu ortada yer alır, yatay donatı tarafından sağlanan pasif basınç etriyenin ortasından köşesine doğru hızlıca hareket ederek kaybolur. Sınırlanmış basınç sadece tutulmuş noktalarda önemlidir ve buralarda eğilme deformasyonu önemsenmemektedir. Sarılmanın etkisi iki komşu etriye arasında önemli şekilde azalmaktadır. Dikdörtgen etriyeler şekildeğiştirme kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bununla birlikte betonarme kolonların dayanım artışında enine donatılar, boyuna donatılar kadar etkin değildirler. Sarılma etkisinden dolayı, eksenel olarak yüklenmiş kolonun davranışı değişir. Eğer eksenel olarak yüklenmiş bir kolon yeterli yatay donatıya sahipse,

kolonun davranışı sünek olabilir. Tersine, yeterli yatay donatıya sahip olmayan bir kolon çok gevrek bir davranış gösterebilir. Detayında, kolonun boyuna donatıları yatay donatının köşelerine yakın olarak yerleştirilmelidir. Etriyeli kolonlarda, özellikle deprem bölgelerinde, kapalı etriyenin her bir köşesinde bir boyuna donatı bulunması gerekmektedir. Boyuna donatıların aralığının yakınlığı ve her birinin kapalı etriyelerin köşesinde bulunması sünekliği artırır ve boyuna donatıların burkulmasına karşı dayanım sağlar. Eksenel yüklü kolonun dayanımına etki eden diğer bir faktör de göbek beton alanının brüt beton alanına oranıdır. Göbek beton alanının brüt beton alanına oranının daha büyük olduğu kolonlar daha sünek davranış gösterirler ve daha yüksek eksenel yük taşıma kapasitesine sahiptirler (Köken, 1998).

Hızlı yüklenen bir kolonda donatı çeliği akma birim kısalmasına (ϵ_{sy}) ulaştığında, genellikle beton henüz maksimum gerilmeye karşı olan birim deformasyona (ϵ_{co}) erişmemektedir. Bu durumda yük arttırıldığında, donatı tarafından karşılanan kuvvet sabit kaldığından, betonun uygulanan yükten aldığı pay oranı yükselmektedir. Birim kısalma (ϵ_{co}) değerine eriştiğinde, betonun ezilerek dağılmasını önlemek, ancak beton tarafından taşınan yükün bir bölümünün donatıya aktarılmasıyla mümkündür. Bu davranış ancak sargı donatısı ile sağlanabilir. Göbek alanındaki betonun özelliklerini değiştirmek, sargı donatısı olarak sürekli dairesel fret kullanmakla mümkündür. Bu değişimi dikdörtgen etriyelerle sağlamak, ancak etriye açıklığı a_t ve etriye aralığı s 'i çok küçük tutmakla sağlanır. Şekil 2.2'de brüt beton alanları ve boyuna donatı alanları aynı olan, etriyeli ve fretli iki kolonun yük-deformasyon ilişkileri gösterilmiştir. A tepe noktasına gelene kadar her iki kolonun davranışı arasında hiçbir fark yoktur. Deneylerde yapılan ölçümler; A noktasına kadar fret veya etriyedeki gerilmelerin sıfır veya sıfıra yakın olduğunu, dolayısıyla sargı donatısının taşıma gücüne hiçbir katkıda bulunmadığını göstermiştir. Etriyeli kolonda A noktasına gelindiğinde beton ve çelik sınır dayanımlarına ulaştığından, artan deformasyon altında yük düşmekte ve kolon maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. Eksenel yük taşıyan etriyeli bir kolonun yapısının bozulması, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, betonun ezilmesi ve iki etriye arasındaki boyuna donatıların burkulması ile meydana gelmektedir. Etriye aralığı(s) azaldıkça boyuna donatının burkulma boyu da küçülmekte, dolayısıyla yük-deplasman eğrisinin A tepe noktası aşıldıktan sonraki eğimi azalarak, süneklik artmaktadır (Yılmaz, 2001).



Şekil 2.2: Etriyeli ve fretli kolonun yük-deformasyon eğrisi (Yılmaz, 2001)



Şekil 2.3: Eksenel yük taşıyan etriyeli bir kolonun kırılması (Yılmaz, 2001)

2.3 Sargılı Beton

Betonarme kolonlar üç eksenli basınç gerilmelerine maruz bırakıldığında sünekliğinde olduğu gibi dayanımında da önemli ölçüde artış olduğu yapılan teorik ve pratik çalışmalar sonucu ortaya koyulmuştur. Pratikte yükleme koşulları, hidrostatik basınç sonuçları ile eleman kapalı etriye ya da fretler ile yatay olarak donatılandırılıp eksenel yüklemeye tabi tutulduğunda birbirinin aynısı olmaktadır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi, betonun elastik olmayan davranışında eğilme çatlakları, harç ve agregalar arasındaki ortak yüzeylerdeki oluşum ile başlar, bu durum $\sigma_c - \epsilon_c$ eğrisinin azalan eğimine etki etmektedir. Betonarme kolonlarda malzemenin hapsedilmesi, içsel çatlakların aniden oluşmasına ve taşıyıcı elemanın hacminde bir artış meydana gelmektedir. Bu $\sigma_c - \epsilon_c$ eğrisinin ilk bölümüne yatay

donatının bir etkisi olmadığını gösterir, fakat yatay donatı oranı ve aralığına bağlı olarak taşıma gücü yaklaşımına katkıda bulunmaktadır.

2.3.1 Sargı donatısının etkileri

Betonarme yapı elemanlarının sismik davranışında, sargı donatısının iki temel etkisi vardır:

1. Betonun dayanım ve dayanıklılığını arttırır; bu durum rötire nedeniyle oluşacak çatlakları ve yapısal elemanda meydana gelecek olan kayıpları önleyecektir.

2. σ_c - ϵ_c ilişkisinde eğimin daha fazla azalmasını önler; başka açıdan, eğilme tasarımında maksimum kullanılabilir şekildeğiştirme ϵ_{cu} değerini %40 kadar daha arttırır. Diğer bir ifade ile sargı donatısı ile betonun sünekliği artar. Bu ise sargı donatısından beklenen en önemli özelliktir.

2.3.2 Sargı donatısında etkili olan parametreler

Sargı donatısında etkili olan temel parametreler başlıca şunlardır;

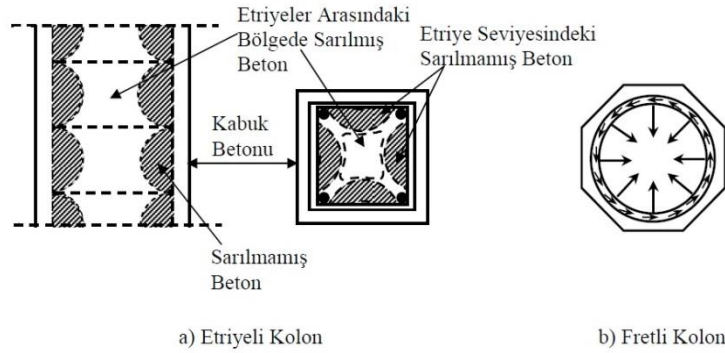
1. Etriye Oranı; Genel olarak hacimsel oran ρ_w ile tanımlanır, betonarme taşıyıcı elemandaki etriyelerinin hacminin, sarılmış kesitin çekirdeğinin hacmine oranı olarak ifade edilir. Çekirdek kesit, enine donatının kütle merkezinden itibaren sardıkları bölüm olarak bilinmektedir. ρ_w 'nun artışı ile sarılmış betonun hem dayanımının hem de sünekliğin arttığı deneysel çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur.

2. Yatay (Enine) Donatının Tasarım Akma Dayanımı (f_{ywd}); Donatının dayanımı ne kadar yüksek olursa sarılmış bölgenin basıncı da yüksek olur. Sarılma hesabında (özellikle şartnameler için) enine donatıdaki gerilme artışı (f_{yw}) dikkate alınmaz.

3. Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı (f_{ck}); Daha yüksek basınç dayanımına sahip betonun sünekliği, daha düşük basınç dayanımına sahip betondan azdır. Ayrıca eksenel yüklemenin aynı miktarı için yatay genişleme (Poisson etkisi) düşük basınç dayanımı durumunda daha fazladır, bu yüzden beklendiği gibi bu durumda (pasif) sargı, yüksek dayanımlı beton elemanda göstereceği gerilme artışına göre daha fazla gerilmeye maruz kalacağından daha etkili olacaktır.

4. Yanal(Etriye) Donatı Aralıkları (s); Verilen bir hacimsel etriye oranı (ρ_w) için sargılanma oranının artması demek etriyeler arası mesafelerin azalması anlamına gelmektedir. Burada ifade edilen; basınca maruz bir elemanda etriye aralığının daha yakın olmasının betonarme elemanın sünekliğini olumlu olarak etkileyeceğidir, çünkü yatay(etriye) donatıların en önemli görevi, boyuna donatıların, örtü betonu atılmadan önce erkenden burkulmasını önlemektir.

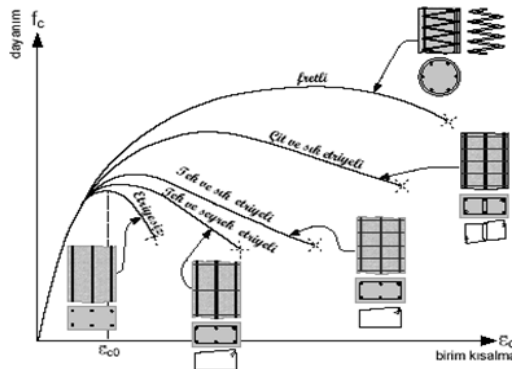
5. Yanal(Etriye) Donatı Şekli; Bir elemanda çeşitli etriye şekilleri kullanılır. Sarılmamış betonun etkili bölgesi küçüldükçe dayanım ve süneklik artar. Şekil 2.4’de sargı donatıları ve etkili sarılmış bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Genel sargı tipleri

2.3.3 Etriyelerle sargılama

Şekil 2.5’de Eksenel yükleme durumunda tipik gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi, çeşitli miktarlardaki etriyeler ile sarılmış betonarme kolon numunenin sarılmış çekirdeği için gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Farklı miktarlardaki etriyeler ile sarılmış beton için gerilme-şekildeğiştirme grafikleri (Topçu, 2008).

Öncelikle ilk dikkati çeken, tüm eğrilerin sarılmış betonda sarılmamış betona göre dikkate değer biçimde farklı olduğudur. Eğrilerin yorumlanmasından;

- 1.Etriye seyrek de olsa, süneklik artar.
- 2.Sık etriye, süneklik ve dayanımı arttırır.
- 3.Etriye serbest açıklığı ve adımının azalması sebebiyle çift etriye süneklik ve dayanımı önemli ölçüde arttırır.
- 4.Fretli kolonlar etriyeli kolonlara göre hem süneklik hem de dayanım açısından daha etkindir.
- 5.Donatılı betonlarda ε_{co} değeri sargı etkisi arttıkça büyümektedir (Topçu, 2008).

2.4 Betonarme Kolonlarda Meydana Gelen Hasarlar

Betonarme kolonlarda oluşan hasarlar, genellikle kolonların kirişlerden daha düşük eğilme kapasitesine sahip olması durumunda, mafsallaşmanın kolon uçlarında oluşması ile meydana gelmektedir. Deprem etkisi altında, kolon uç noktalarında yatay kuvvetin etkiye yönüne göre, betonda çekme çatlakları ve basınçtan dolayı ezilmeler oluşabilmektedir. Bu şekilde kabuk betonunun dökülmesi, ileriki aşamalarda çekirdek betonunun çatlamasına, eğer etriye sıklaştırması da yetersiz ise bu bölgedeki betonun ezilmesi ve kolon boyuna donatılarının burkulmasına, ardından da yapıda yatay ötelenmelerin büyümesine sebep olur. Yatay ötelemeleri artan kolon, ikinci mertebe etkilerin de çoğalmasıyla, yapının göçmesine kadar gidebilecek büyük hasarlara sebep olabilir (Ergin, 2001)

2.4.1 Kolonlarda donatı yerleşim ve birleşim hataları

Yakın zamanda tanık olduğumuz depremler, betonarme yapılarda bulunan taşıyıcı sistemlerin özellikle betonarme kolonların yeteri kadar iyi tasarlanmadığı ve uygulamada yapılan yanlışlıklar sonucunda taşıyıcı sistem kapasitesinde eksikler ve kayıplar oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca deprem sırasında önemli görevler üstlenen etriyelerin eksik yerleştirilmesi, kolonların boyuna donatılarında filiz boylarının yeterli olmaması, donatı için gerekli pas payının bırakılmaması gibi çok basit hataların ne büyük felaketler doğurduğu son depremlerde görülmüştür. Deprem

bölgelerinde yapılan incelemelerde, küçük ama önemli olan bu hatalar çok sayıda hasarlı yapıda gözlenmiştir(Kaçın, 2003).

Ülkemizin yakın tarihlerde yaşadığı büyük depremler hem mal ve kaybı, hem de psikolojik etki yönüyle yeniliğini korumaktadır. Yaşanan bu olayların meydana gelmesinde önemli bir yeri olan işçilik hata ve kusurlarının önüne geçilememiş ve gerekli tedbirler halen alınmamıştır. Ayrıca donatı detaylarındaki yetersizlikler ve yanlışlıklar pek çok yapıda ciddi hasarlar meydana gelmesine sebep olmuştur.

Depremlerde hasar gören veya yıkılan binalarda göze çarpan en önemli konulardan biri Şekil 2.6’da gösterildiği gibi kolon enine donatılarındaki eksikliklerdir.



Şekil 2.6: Yetersiz enine donatılar ve boyuna donatıda burkulma (Yalova, 1999)

Çeşitli depremlerden sonra bölgede yapılan incelemelerde, Şekil 2.7’de gösterildiği gibi, pek çok yapıda yetersiz veya rasgele enine donatı detayına sahip, hasarlı kolonlar ve yapılar tespit edilmiştir.



Şekil 2.7: Sıklaşıma bölgelerindeki yetersiz enine donatı (Yalova, 1999)

2.4.2 Kiriş-Kolon sarılma bölgeleri

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde donatı detaylarının yeterliliği ve uygunluğu, deprem yükü etkisi altındaki yapının davranışı için oldukça önemlidir. Ülkemizde görülen depremlerin ardından, genellikle kolon-kiriş birleşim noktalarında ciddi hasarlar meydana geldiği söylenebilir. Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarların en önemli nedenlerinden biri olarak etriye yetersizliği sayılabilir.



Şekil 2.8: Sarılma bölgesinde etriye eksikliği (Gölcük-1999,Ceyhan-1998)

Etriye sıklaştırmasından kaçınılmasıyla sağlanacak küçük kazanç, bedeli ölçülemeyecek zararlara yol açmaktadır. Projede belirlenen etriye aralığı ve sayısına, yapı üretimi sırasında yeterince dikkat edilmemesi sonucu Şekil 2.11’de gösterildiği gibi, pek çok kolonda ve kirişte büyük hasarlar oluşmuştur (Kaçın, 2003).



Şekil 2.9: Kolon-Kiriş birleşiminde donatı kusurları (İzmit,1999)

Betonarme karkas sistemlerin en önemli yapısal sorununun kolon-kiriş düğüm noktaları olduğu; hem buralarda kolonların etriyelenmediği, hem de aşırı donatı yoğunlaşması nedeniyle beton kalitesinin standartların çok çok altına düşmesine yol açtığı bilinmektedir. Bu ölü noktalar yüzünden binaların depremler karşısında kolayca çözülüp dağılmamaları için yeni donatım yöntemleri geliştirilmelidir (Çiftçi, 2003)

3. GERİLME-ŞEKİLDEĞİŞTİRME İLİŞKİSİ İÇİN MATEMATİKSEL MODELLER

Herhangi bir “mukavemet” probleminin çözümünde, gerilme veya kuvvet cinsinden ifade edilen “denge denklemleri” ile deformasyon cinsinden ifade edilen “uygunluk denklemleri” arasındaki ilişki, ancak kullanılan malzemenin gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) ilişkisinden yararlanılarak kurulur. Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olduğundan, çözümdeki hata oranı büyük çapta varsayılan malzeme davranışının, yani σ - ϵ ilişkisinin doğruluğuna bağlıdır. Matematiksel çözümü kolaylaştırmak amacı ile deneyden elde edilen σ - ϵ eğrileri idealize edilip basitleştirilerek kullanılır. İdealize edilip basitleştirilen σ - ϵ eğrileri “matematiksel model” olarak adlandırılır (Özcebe, Ders Notları). Aşağıdaki bölümlerde beton ve çelik donatı için yaygın olarak kullanılan bazı matematiksel modeller tanıtılacaktır.

3.1 Beton Modelleri

Beton için tek bir σ - ϵ eğrisinden bahsetmek mümkün değildir, aksine her tür beton için farklı bir σ - ϵ eğrisi vardır.

Aynı σ - ϵ eğrisinin her bölgesini ifade edebilecek tek bir denklem kurmak mümkün değildir. Eğri; düşük gerilmelerde ve maksimum gerilme aşıldıktan sonra doğruya yakın, ara bölgelerde ikinci derece parabole yakındır. Ayrıca bu eğriler tek eksenli basınç içindir. Betonun, enine donatı ile sarılması (kuşatılması), halinde eğrinin maksimum gerilmeden sonraki kısmı daha da uzar. Bütün bunlara karşın eğilme mukavemetinin ve deformasyonlarının hesaplanabilmesi için belirli bir (σ - ϵ) eğrisine gereksinim vardır (Berktaş, 1995). Gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin altındaki alanın büyüklüğü, betonun deformasyonu sırasında harcanan enerjinin büyüklüğünü ya da betonun enerji yutma kapasitesini gösterir (ASTM C1018-94b, 1998).

Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olduğundan, çözümdeki hata oranı büyük ölçüde göz önüne alınan malzeme davranışının, yani

(σ - ϵ) ilişkisinin doğruluğuna bağlıdır. Matematiksel çözümü kolaylaştırmak amacıyla (σ - ϵ) eğrileri idealleştirilerek basitleştirilirler.

Betonun (σ - ϵ) eğrisi, çok sayıda bileşenden etkilenir ve bu nedenle de her durum için tek bir eğrinin tanımlanması olanaksızdır. Bununla birlikte, kesin olmasa bile problemlerin çözümü ve davranışın anlaşılabilmesi için betonun σ - ϵ ilişkisini belirleyen modellere ihtiyaç vardır. Bu gereksinme nedeniyle, bugüne kadar çeşitli araştırmacılarca birçok beton modeli önerilmiştir (Özmen, 2007). Aşağıda beton modelleri konusunda çalışma yapan araştırmacıların ortaya koydukları matematiksel modeller bulunmaktadır.

3.1.1 Hognestad ve Diğ.(1955) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme

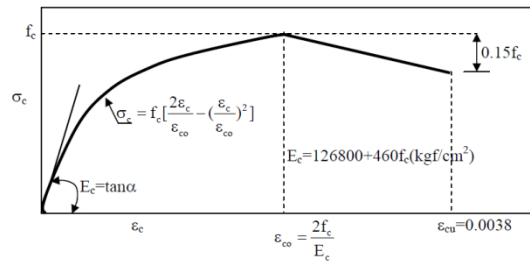
İlişkisi

Hognestad tarafından önerilen ve uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan model (σ - ϵ), Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Modelde, σ - ϵ eğrisinin tepe noktasına kadar olan parçası ikinci derece parabol, düşüş parçası ise, doğrusal varsayılmıştır. Maksimum gerilme, genelde beton silindir dayanımının %85’i olarak alınır. ($f_c=0.85f_{ck}$). Maksimum gerilmeye karşılık olan birim kısalma, ($\epsilon_{co} = \frac{2f_c}{E_c}$) olarak verilmişse de, basit olarak

($\epsilon_{co} = 0.002$) varsayılabilir. Modeldeki elastisite modülü (E_c) için Hognestad tarafından aşağıdaki denklem önerilmiştir.

$$E_c = \tan \alpha = 126800 + 460f_c \quad (3.1)$$

Bu denklemde E_c ve f_c kgf/cm^2 cinsinden ifade edilmelidir. Hognestad modelinde maksimum birim kısalma 0.0038 ile sınırlandırıldığından, sarılmış beton için uygun değildir.



Şekil 3.1: Beton için Hognestad tarafından önerilen gerilme-şekil değıştirme ilişkisi (Hognestad, 1955)

3.1.2 Chan ve Diğ.(1955) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Chan, sargılı betonun dayanımını elde etmek için küçük eksantrisiteli 152X152X292 mm ve 152X92X1321 mm boyutlarındaki numunelere yük uygulanan bir deney düzeneği kurmuştur. Ortaya koyduğu iki denklemden biri K_u / K_o , sargılı betonun basınç dayanımının sargısız betonun basınç dayanımına oranı ve diğeri ϵ_{cm} , betonun maksimum yükü taşıdığı andaki nihai şekil değıştirmesidir. Burada fonksiyon olarak bahsedilen sargı donatısının beton çekirdeğine olan hacimsel oranıdır. Chan tarafından önerilen modelde, diğeri değışkenlerin sargılı beton dayanımına ve şekil değıştirme değeriine etki ettiğı düşünölmemektedir.

Chan, deneysel olarak elde ettiklerine dayanarak, sargılı ve sargısız beton için Şekil 3.2’de gösterilen, üç bölümlü, lineer gerilme-şekildeğiştirme eğrisini elde etmiştir. OA doğrusu elastik kısmı ve AB-BC doğruları ise plastik kısmı temsil etmektedir. Burada Chan, BC parçasını, $(\sigma-\epsilon)$ eğrisinde, yatay donatının sadece hacimsel oranının fonksiyonu olarak göstermiştir.

Chan, nihai dayanım ile nihai deformasyon arasındaki aşağıdaki ilişkiyi göstermiştir.

$$\rho_{sw}=0.189(K_u-K_o)^2 \quad (3.2)$$

$$\rho_{sw}=14600(\epsilon_{cm}-\epsilon_{cu})^3 \quad (3.3)$$

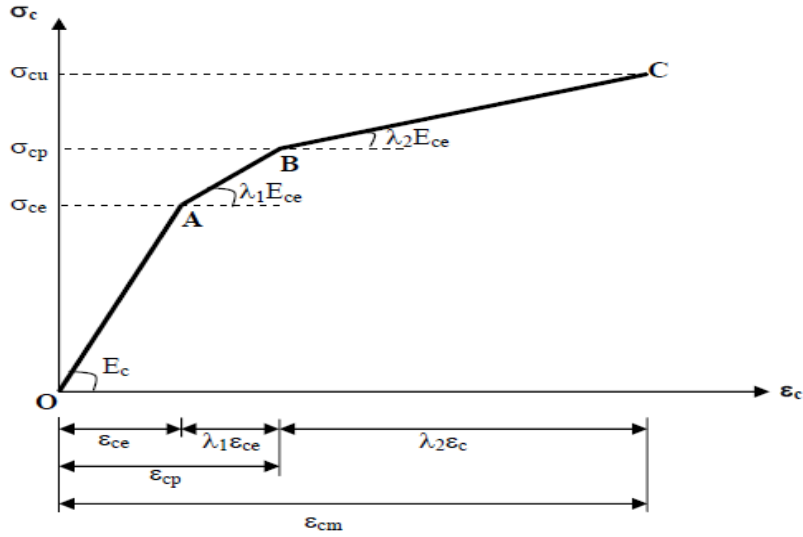
ρ_{sw} : Yatay donatının hacimsel oranı

K_u : Standart küp numuneden elde edilen beton basınç dayanımı

K_o : $\rho_s=0$ olduğunda K_u değeri (Chan’ın deneylerinde, $K_u=0.82$)

ϵ_{cm} : Basınç bölgesinin son liftindeki nihai şekil değıştirme

ϵ_{cu} : $\rho_s=0$ olduğunda ϵ_{cm} değeri (Chan’ın deneylerinde, $\epsilon_{cu}=0.0035$)



Şekil 3.2: Beton için Chan tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Chan, 1955)

3.1.3 Roy ve Sözen (1964) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

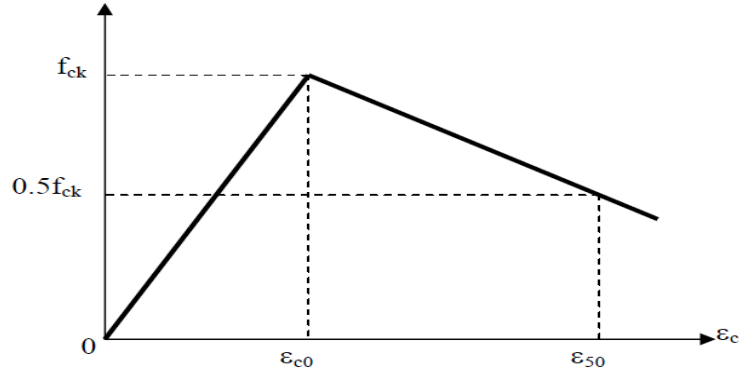
Roy ve Sözen, 127X127X635 mm boyutlarındaki silindir üzerinde yaptıkları deneyler ile dikdörtgen etriyelerin sargılı betonun basınç dayanımını arttırmadığını belirlemişlerdir. İdealize edilmiş bir gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı yatay donatılı beton için Şekil 3.3’de gösterilmiştir. En üst pik noktası $f_{ck}=0.002$ ’dir. Burada f_{ck} ; donatısız numunede betonun dayanımıdır. Bunun anlamı; sargılı betonun dayanımının, sargısız betonun dayanımına oranının 1.0 olduğudur. Sargılı betonun sünekliğine etkisi olduğu düşünülen değişkenler; etriye donatısının alanının, donatı çekirdeğine olan oranı ve basınç altındaki betonun kısa kenarının etriye aralığına olan oranıdır. ϵ_{50} şekil değiştirmesi beton gerilmesinin maksimum noktasından yarısı kadar düştüğü noktada tanımlanır ve aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$\epsilon_{50} = \frac{3\rho_{sw} b}{4sp} \quad (3.4)$$

b: Kesitin kısa kenarı

ρ_{sw} : Yatay donatının hacimsel oranı

sp: Etriye aralığı



Şekil 3.3: Beton için Roy ve Sözen tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Roy, 1964).

3.1.4 Soliman ve Yu (1967) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Soliman ve Yu tarafından sargılı beton için Şekil 3.4'teki, dört noktalı bir gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı önerilmiştir. 76X152 mm, 102X152 mm ve 127X152 mm boyutlarındaki numuneler ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda dört adet denklem geliştirilmiştir. Önerilen ilişkinin başlangıç bölümü f_{cc} ve ϵ_{ce} değerleri ile maksimum pik noktasında parabolik bir eğri şeklindedir. Eğrinin ikinci parçası ϵ_{cs} şekildeğiştirmesine eşit, yatay düz bir doğrudur. Eğrinin son bölümü ise azalan bir eğri şeklinde negatif eğimlidir. Bu ϵ_{cf} şekil değıştirme değeri olarak tanımlanmaktadır ve maksimum gerilmenin %80'ine karşılık gelmektedir.

Tüm deney numuneleri tek bir noktadaki basit etriye düzenlemesi şeklindedir. Tüm değışkenler; etriye alanı, etriye aralığı ve kesit geometrisinden ibarettir. Soliman ve Yu tarafından sargılı beton için önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde parametreler şunlardır;

$$f_{cmax} = f_{co} (1 + 0,05Q) \quad (3.5)$$

$$\epsilon_{ce} = 78 f_{ck} \times 10^{-6} \quad (3.6)$$

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{co} (1 + Q) \quad (3.7)$$

$$\epsilon_{cf} = 0.0045 (1 + 0.85 Q) \quad (3.8)$$

$$Q = \left(1.4 \frac{A_c}{A_{cp}} - 0,45 \right) \left(\frac{A_{sw} (sp_0 - sp)}{A_{sw} sp + 0,0028 b_c sp^2} \right) \quad (3.9)$$

f_{co} : Donatısız betonun basınç dayanımı ($0.80f_{ck}$), Mpa

ϵ_{co} : Donatısız beton için ϵ_{cs} değeri (0.0025)

A_c : Betonun kesit alanı

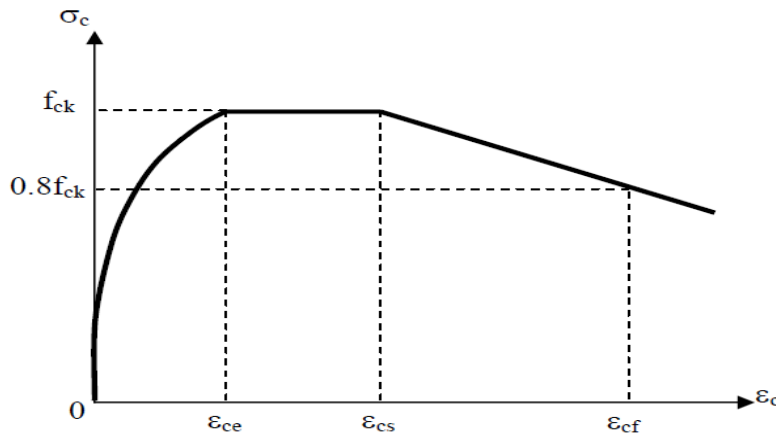
A_{cp} : Betonun basınç alanı

A_{sw} : Donatının enine kesit alanı

b_c : Betonun kesit genişliği

sp : Etriye aralığı

sp_o : Sargılı betonda enine donatının etkili olmadığı noktadaki etriye aralığı ($sp_o=250mm$)



Şekil 3.4:Beton için Soliman ve Yu tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Soliman, 1967).

3.1.5 Sargın ve Diğ. (1971) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Sargın, 127X127X635 mm boyutlarındaki eksenel ve eksantrik yükleme altındaki kolonlar ile yapılan deneylerin sonuçlarından yaptığı regresyon analizine dayanan bazı deneysel denklemler geliştirmiştir. Denklemler sargılı betonun nihai dayanımını ve buna karşılık gelen nihai şekildeğiştirme ϵ_{cco} değerini elde etmek için önerilmiştir.

Ek olarak $K_s = \frac{P_{cmax}}{P_{occ}}$ şeklinde yarı deneysel bir denklem geliştirilmiştir. Bu

maksimum yükün donatısız beton tarafından taşınan yüke oranını temsil etmektedir.

Hognestad tarafından daha önceden elde edildiği gibi, Sargın da eksenel ve eksantrik yüklemeye maruz numunelerin dayanımları arasında kayda değer bir farklılık

bulmamıştır. Sargın'ın denklemlerinde şu değişkenler düşünülmüştür; hacimsel yatay donatı(etriye) oranının beton çekirdeğine oranı, çeliğin akma dayanımı ve betonun silindir dayanımıdır. Ayrıca kesitte en üst gerilme düzeyindeki şekildeğiştirme değeri ϵ_{cco} 'da göz önüne alınmıştır. Şekil 3.5'de görülen sargılı betonun gerilme-şekildeğiştirme eğrisini elde etmek için genel bir denklem önerilmiştir.

Sargın, sargılı betondaki basınç dayanımı azalmasının yatay basınçtan 4.1 kat daha fazla olduğunu kesin olarak hesaplamıştır. Sargılı betonda, beton basınç dayanımının silindir basınç dayanımına oranı için teorik bir denklem şu şekilde verilmiştir;

$$K_s = K_0 + \frac{16,4 \rho_{sw} \sigma_{syk}}{\pi f_{ck} R_s} \left[\log_e (1 + R_s^2) - 3 + \frac{3}{R_s} \tan^{-1} R_s \right] \quad (3.10)$$

Burada;

$$R_s = b_c / sp \text{ şeklindedir.} \quad (3.11)$$

Ek olarak, Sargın deney sonuçlarından yapılan regresyon analizine dayanarak aşağıdaki deneysel denklemleri sunmuştur,

$$K_s = K_0 \left(1 + 0,18 \left(1 - \frac{0,25sp}{b_c} \right) \rho_{sw} \frac{\sigma_{syk}}{\sqrt{f_{ck}}} \right) \quad (3.12)$$

$$\epsilon_{cco} = \epsilon_{co} \left(10 + 1,83 \left(1 - \frac{0,70sp}{b_c} \right) \rho_{sw} \frac{\sigma_{syk}}{\sqrt{f_{ck}}} \right) \quad (3.13)$$

K_s : Maksimum gerilmenin silindir basınç dayanımına oranı

K_0 : $0.85f_{ck}$

ρ_{sw} : Yatay donatının hacimsel oranı

σ_{syk} : Yatay donatının karakteristik akma dayanımı (Mpa)

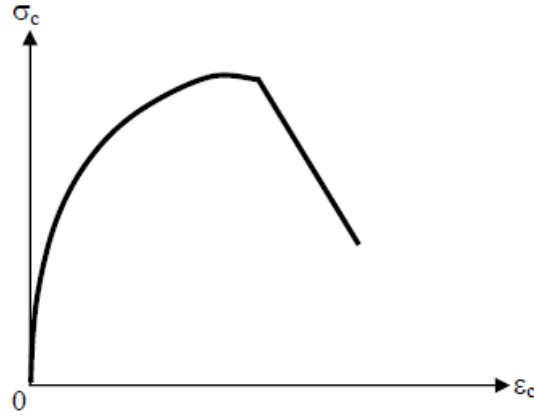
f_{ck} : Betonun silindir basınç dayanımı (Mpa)

b_c : Beton çekirdeğinin genişliği

sp : Etriye aralığı

ϵ_{co} : Donatısız betonda maksimum gerilmeye karşılık gelen şekildeğiştirme

ϵ_{cco} : Sargılı betonda maksimum gerilmeye karşılık gelen şekildeğiştirme.



Şekil 3.5:Beton için Sargın tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Sargın, 1971).

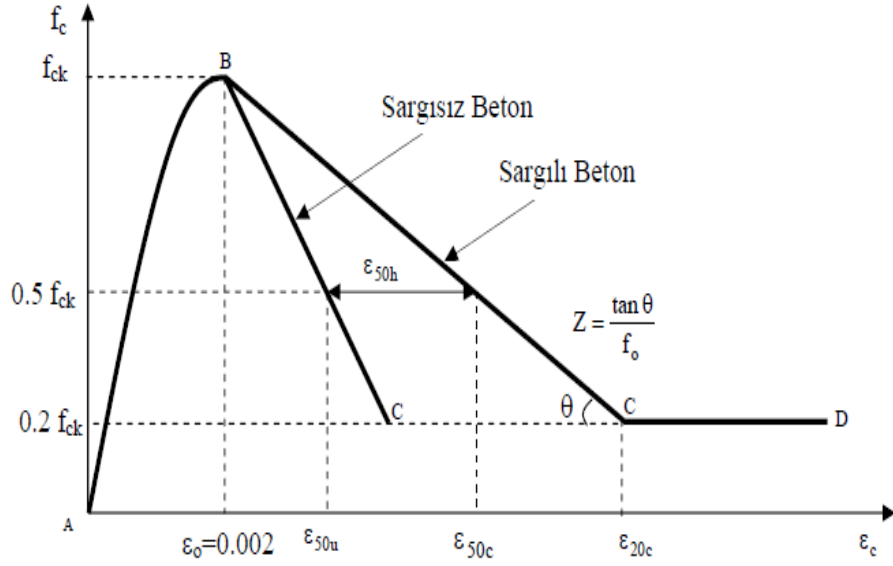
3.1.6 Kent ve Park (1971) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Kent ve Park tarafından, mevcut deneysel sonuçlardan yararlanarak, tek eksenli basınç altındaki sargılı ve sargısız betonlar için Şekil 3.6'da verilen gerilme-şekildeğiştirme eğrisini önermişlerdir.

Kent ve Park tarafından önerilen diyagramda gösterilen AB bölgesi 2. dereceden bir parabolüdür. Sargılı ve sargısız her iki tür beton için de geçerli olan bu bölge, betonun maksimum basınç mukavemeti olan f_o 'da son bulur. Maksimum mukavemete karşı gelen şekildeğiştirme, $\epsilon_o=0.002$ olarak alınmıştır. Bu bölge için kabul edilen bağıntı;

$$f_c = f_o \left(\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_o} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2 \right) \quad (3.14)$$

şeklindedir. Burada; $\epsilon_o=0.002$ 'dir.



Şekil 3.6:Sargılı ve Sargısız beton için önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Kent, 1969-1990)

BC bölgesi, eğrinin azalma kısmı olup iki doğrudan oluşur. Sargısız hale karşılık gelen BC doğrusunda kısa süreli yükleme, $0.5f_o$ gerilmesi için şekildeğiştirme,

$$\epsilon_{50u} = \frac{0,0207 + 0,02f_o}{f_o - 6,897} \quad (f_o : \text{Mpa}) \quad (3.15)$$

olarak uygulanır.

Yine $0.5f_o$ gerilmesine karşı, sargılı ve sargısız haller arasındaki şekildeğiştirme farkı ise,

$$\epsilon_{50h} = \frac{3}{4} \rho'' \sqrt{\frac{b''}{s}} \quad (3.16)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada ρ'' , etriye hacminin, etriye dış yüzünden itibaren beton örtüsünün hacmine oranı olup,

$$\rho'' = \frac{2(b'' + d'')A_s''}{b''d''s} \quad (3.17)$$

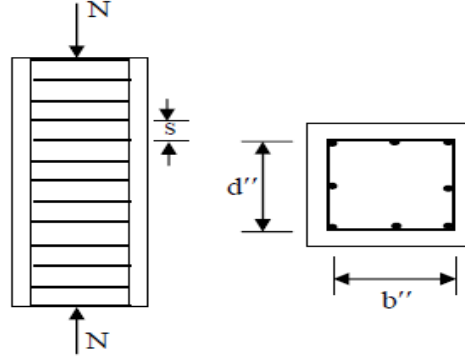
olarak hesaplanır. Burada; A_s etriyenin en kesit alanı, s ise etriye aralığıdır. Bütün bu açıklamalardan sonra Şekil 3.6'daki BC bölgesi için,

$$f_c = f_o [1 - Z(\epsilon_c - \epsilon_o)] \quad (3.18)$$

bağıntısı yazılabilir. Yukarıdaki bağıntıdaki Z değeri;

$$Z = \frac{0,5}{\epsilon_{50h} - \epsilon_{50u} - \epsilon_o} \quad (3.19)$$

olarak hesaplanır. Sargısız durumda ρ'' ve ϵ_{50h} sıfıra eşit olacağından ifade daha da basitleşecektir. Şekil 3.7’de etriyeli kolonun eksenel olarak yüklenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.7:Etriyeli kolonun eksenel olarak yüklenmesi (Kent, 1969-1990)

CD bölgesi ise yatay bir doğrudan oluşur ve C noktasından sonsuza kadar betonun $0.2f_o$ gerilmesini taşıyabileceğini ifade eder.

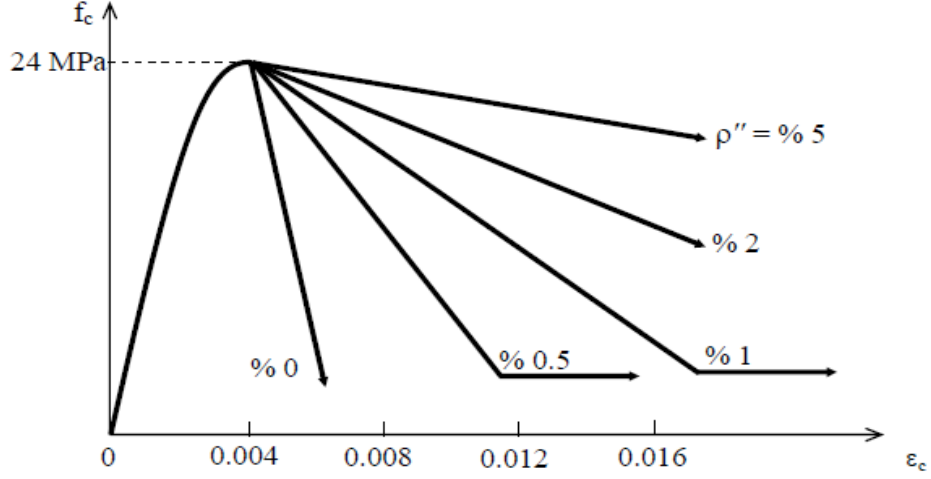
AB bölgesinde ϵ_c şekildeğiştirmesine karşı gelen tanjant modülü $f_c = f_o \left(\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_o} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2 \right)$

bağıntısının ϵ_c 'ye göre birinci türevinin alınmasıyla elde edilir.

$$E_t = \frac{df_c}{d\epsilon_c} = 1000f_o \left[1 - \frac{\epsilon_c}{0,002} \right] \quad (3.20)$$

BC bölgesinde Z'ye eşit olan tanjant modülü CD bölgesinde ise sıfır olacaktır.

Etriyelerin beton mukavemetine etkisini göstermek için, standart silindir basınç mukavemeti 24 MPa, $b''/s = 1.0$ olarak verilen beton için değişik etriye miktarlarına göre, Şekil 3.8’de gösterilen betonun gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı elde edilmiştir (Uğurlu, 1994).



Şekil 3.8:Etriye miktarının beton gerilme-şekildeğiştirme bağıntısına etkisi (Kent, 1969-1990)

3.1.7 Park, Priestly ve Gill (1982) tarafından değiştirilen Kent ve Park gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Şekil 3.9’da dikdörtgen etriyeler ile sarılmış beton için Kent ve Park tarafından önerilip Park, Priestly ve Gill tarafından geliştirilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi gösterilmektedir. Geliştirilen ilişki düşük şekildeğiştirme değerleri ile yapılan deneylerden türetilmiştir. Geliştirilen Kent ve Park ilişkisinde $0.002K_s$ şekil değiştirmesine ulaşıldığında $K_s f_{ck}$ maksimum gerilmesine karşılık gelmektedir.

$\varepsilon_c \leq \varepsilon_{co} \quad K_s$ için $\varepsilon_{co} = 0.002$

$$\sigma_c = K_s f_{ck} \left[\frac{2\varepsilon_c}{K_s \varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{K_s \varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (3.21)$$

$\varepsilon_c \geq \varepsilon_{co} \quad K_s$ için

$$\sigma_c = K_s f_{ck} [1 - Z_c (\varepsilon_c - K_s \varepsilon_{co})] \quad (3.22)$$

$\varepsilon_c \geq \varepsilon_{20C} \quad K_s$ için

$$\sigma_c = 0.2 K_s f_{ck} \quad (3.23)$$

Burada;

$$K_s = 1 + \frac{\rho_{sw} \sigma_{sy}}{f_{ck}} \quad \text{ve} \quad (3.24)$$

$$Z = \frac{0,5}{\epsilon_{50h} + \epsilon_{50u} - \epsilon_o} \quad (3.25)$$

$$\epsilon_{50u} = \frac{3 + 0,29 f_{ck}}{145 f_{ck} - 1000} \quad (3.26)$$

$$\epsilon_{50h} = \frac{3}{4} \rho_{sw} \sqrt{\frac{b_c}{sp}} \quad (3.27)$$

$$\epsilon_{50c} = \epsilon_{50h} + \epsilon_{50u} \quad (3.28)$$

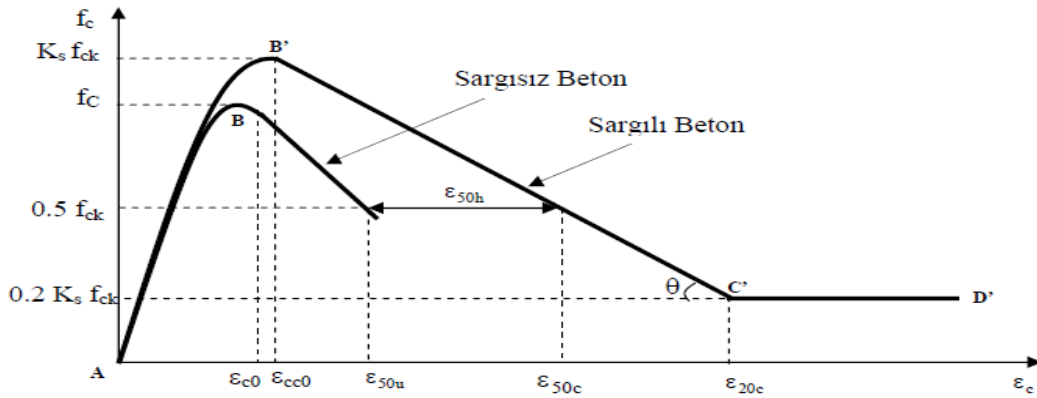
şeklindedir.

f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı

ρ_{sw} : Yatay donatının hacimsel yüzdesi (beton çekirdeğine olan oran)

b_c : Sargılı betonun genişliği

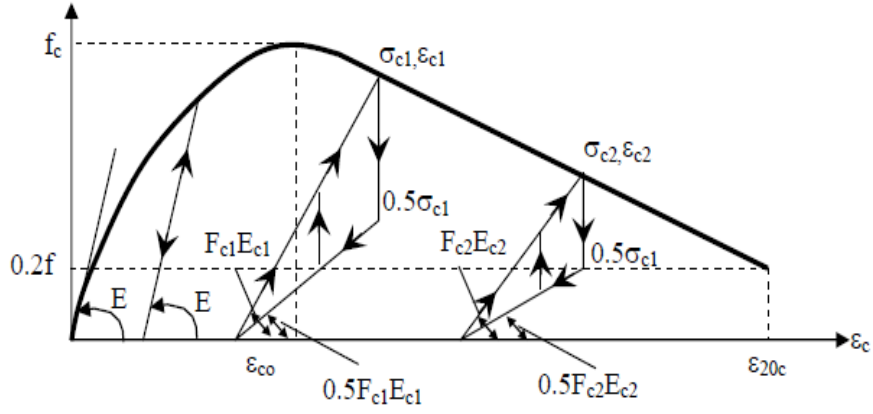
sp : Etriye aralığı



Şekil 3.9: Park, Priestly ve Gill tarafından değiştirilen Kent ve Park gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Park, 1982)

3.1.8 Thompson ve Park tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Şekil 3.10’da gösterilen bu modeldeki (σ - ϵ) eğrisi, Kent ve Park tarafından önerilen modelin aynıdır. Thompson ve Park modelinin tek farkı, yükün boşalması ve yeniden yükleme durumunda eğrinin izleyeceği yolların belirlenmiş olmasıdır.



Şekil 3.10:Thompson ve Park tarafından değiştirilen Kent ve Park gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Şekilden görüldüğü gibi, $\epsilon_c < \epsilon_{co}$ olduğu durumlarda ($\epsilon_{co}=0.002$) yükün boşalma eğrisi σ - ϵ eğrisinin orijinindeki teğetine paralel olmaktadır. Eleman tekrar yüklendiğinde de, (σ - ϵ) eğrisi aynı yolu izlemektedir. $\epsilon_c > \epsilon_{co}$ olduğu durumlarda ise yükün boşalma eğrisi iki doğru ile gösterilmektedir. Boşalma sırasındaki gerilmenin %50'sine kadar inen eğrinin ilk bölümünün sonsuz, bu gerilmeden sıfır gerilmeye kadar olan bölümün eğimi ise, $0.5E_cF_c$ olarak tanımlanmaktadır.

E_c ve F_c aşağıdaki denklemlerden hesaplanmaktadır.

$$E_c = 126800 + 460f_c \quad (3.29)$$

$$F_c = 0.8 - \frac{0.7(\epsilon_c - 0.002)}{\epsilon_{20c} - 0.002} \quad (3.30)$$

$$\epsilon_{20c} = 1.6(\epsilon_{50h} + \epsilon_{50u}) - 0.0012 \quad (3.31)$$

Yeniden yüklemede σ - ϵ eğrisinin doğrusal olduğu ve eğimin E_cF_c olduğu varsayılmaktadır. Yeniden yüklemeyi simgeleyen doğru, zarf eğrisine (Kent ve Park modeli) ulaştıktan sonra bu eğriyi izlemektedir. Yeniden yüklemenin gerilme sıfıra ulaşmadan olduğu durumlarda; eğri, boşalmanın ilk aşamasında olduğu gibi dik olarak yukarı çıkmaktadır (Çağlar, 2002).

3.1.9 Vallenas, Bertero ve Popov (1977) tarafından önerilen gerilme- şekildeğiştirme ilişkisi

Deney sonuçlarına dayanarak Vallenas, Bertero ve Popov; Kent ve Park tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme eğrisine benzer bir eğri önermişlerdir. Bununla birlikte, bahsedilen farklı denklemler aşağıda gösterilmiştir. İkisi arasındaki temel farklılık Vallenas, Bertero ve Popov tarafından önerilen modelde sargı donatısı dolayısıyla beton dayanımındaki artışın da dikkate alınmasıdır. Bu model ile Sheikh ve Üzümeri tarafından önerilen modeller arasındaki temel farklılık ise Vallenas modelinde sargılı betonun dayanım artışı boyuna donatının hacimsel oranının betona oranı olarak düşünülür, oysa Sheikh ve Üzümeri'nin modelinde dayanım artışı boyuna donatının dağılımına dayandırılmaktadır.

Şekil 3.11'de gösterilen modele şu değişkenler dâhil edilmiştir; Yatay donatının hacimsel oranının beton çekirdeğine oranı, boyuna donatı alanının kesitin alanına oranı, boyuna donatının ve etriyelerin boyutları, etriye aralığının çekirdek boyutuna oranı, betonun basınç dayanımı ve etriyelerin akma dayanımıdır.

Eğrinin artan parçası ikinci derece bir parabol ile gösterilir. AB bölümü;

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{\frac{E_c \varepsilon_{cco}}{f_{ck}} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cco}} \right) - K_s \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cco}} \right)^2}{1 + \left(\frac{E_c \varepsilon_{cco}}{K_s f_{ck}} - 2 \right) \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cco}} \right)} \quad (3.32)$$

ile ifade edilir.

Eğrinin azalan kolu doğru şeklindedir ve maksimum gerilmenin %30'una kadar uzamaktadır, eğri bu noktadan sonra yatay düz bir doğru formunu alır. BC bölümü;

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = K_s \left[1 - Z \varepsilon_{cco} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cco}} - 1 \right) \right] \quad (3.33)$$

Burada;

$$\varepsilon_{cco} = 0,002 K_s \quad (3.34)$$

$$K_s = 1 + 0,109 \left(1 - 0,24 \frac{sp}{b_c} \right) \left(\frac{\rho_{sw} + \frac{j_{sw}}{j_{st}} \rho_{st}}{\sqrt{f_{ck}}} \right) \quad (3.35)$$

$$Z = \frac{0,5}{\frac{3}{4} \rho_{sw} \sqrt{\frac{b_c}{sp}} + \left(\frac{0,021 + 0,02 f_{ck}}{f_{ck} - 7,04} \right) - 0,002} \quad (3.36)$$

CD bölümü;

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = 0,3 K_s \quad (3.37)$$

olarak ifade edilir.

Φ_{st} : Boyuna donatı çubuğunun uzunluğu

Φ_{sw} : Yatay etriyenin uzunluğu

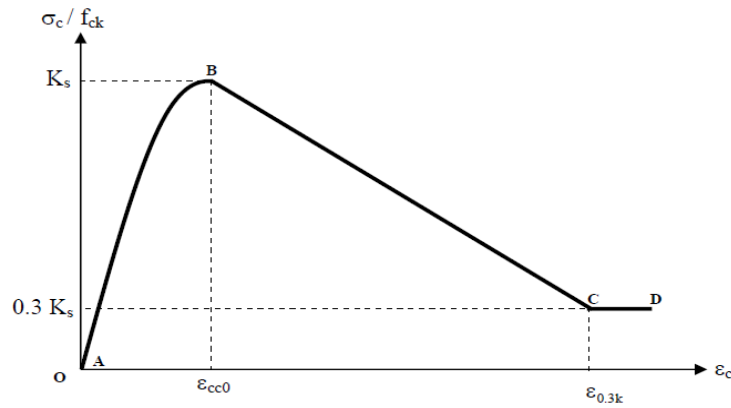
E_c : Betonun elastisite modülü

b_c : Çekirdek boyutu

K_s : Sargılı betonda maksimum gerilme oranının karakteristik silindir basınç dayanımına oranı

ρ_{st} : Boyuna donatının hacimsel oranı

ρ_{sw} : Yatay donatının hacimsel oranıdır.



Şekil 3.11: Vallenias, Bertero ve Popov (1977) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Vallenias, 1977)

3.1.10 Sheikh ve Üzümeri (1980) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Dikdörtgen etriyeler ile sarılmış betonun davranışının anlaşılması için deneysel olarak sunulan çalışmaları matematiksel araştırmalar izlemiştir. Matematik model, çeşitli araştırmacılar tarafından önceki deney serilerinin sonuçlarına uygun biçimde önerilmiştir. Deneysel sonuçlar ve tahminler arasındaki karşılaştırmalar, dikdörtgen etriyeler ile sarılmış betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin geliştirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymuştur. Sargılı betonun davranışını ortaya koymak için Sheikh ve Üzümeri bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde yatay donatının hacimsel oranı, etriye aralığı, donatı karakteristiği, çekirdeğin çevre uzunluğu etrafındaki boyuna donatının dağılımı gibi çeşitli veriler etkili olmuştur ve sonuçta etriye dağılımı tanımlanmıştır. Önerilen modelden elde edilen sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan ve sunulan önceki deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu program sırasında analitik ve deneysel çalışmalar ışığında beton yapı yönetmeliklerinin gerekleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda sargılı betonun davranışında en önemli etkiye sahip değişkenlerin yönetmeliklerde önemslenmediği görülmüştür.

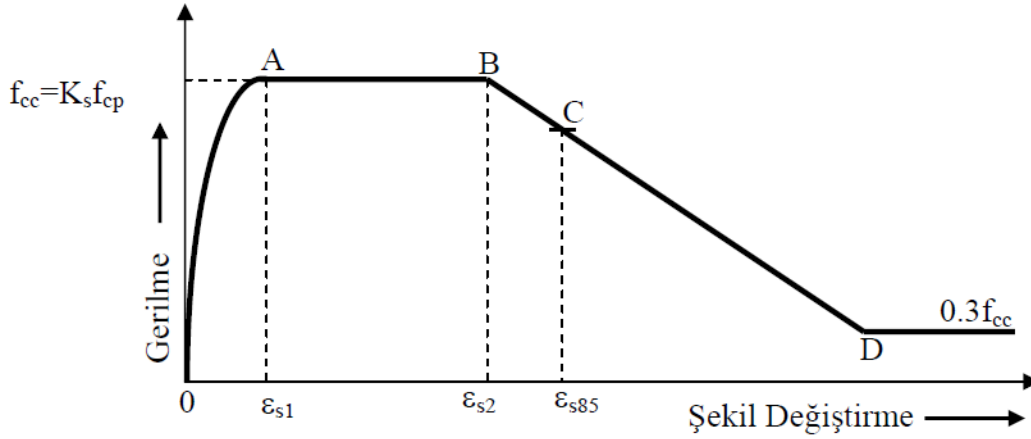
Önceki çalışmaların çoğu basit etriye yerleşimleri ile hazırlanan dikdörtgen etriyeli, küçük numuneler ile yapılmıştır. Bu testlerin bazıları Sheikh ve Üzümeri tarafından Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi özetlenmiştir, testlerin çoğunda etriyenin çevre uzunluğu ile sınırlandırılmış olan çekirdek alanının kesit alanına oranı küçüktür. Bu yüzden sargılı betonun dayanımının arttırılması için çalışılan tüm denemelere rağmen numunenin toplam kapasitesi kabuk betonu düştükten sonra sargısız numunenin kapasitesini aşamamıştır, belki de bu, sargılı betonun dayanımında dikdörtgen etriyelerin faydalı etkileri hakkında araştırmacılar arasında oluşan anlaşmazlığın ana sebebini oluşturmaktadır.

Çizelge 3.1: Sheikh ve Üzümeri tarafından ulaşılmış testlerin özeti (Sheikh ve Üzümeri, 1980)

Araştırmacı	Numunenin Detayları			
	Sayısı	Numune Boyutları(cm)	Akesit/Açekirdek	Boyuna Donatı
King (1946)	164	8.89 x 8.89	0.54-0.61	4 köşe donatı
King (1946)	18	25.4 x 25.4	0.34-0.66	4 köşe donatı
Chan (1955)	9	15.24 x 15.24	0.63-0.92	4 köşe donatı
	7	15.24 x 7.62-12.7/20.32	0.92-0.96	4 köşe donatı
	7	15.24 cm çap	0.97	4 donatı
Bresler ve Gilbert (1961)	2	20.32 x 20.32	0.61	6 donatı
	2	20.32 x 20.32	0.61	8 donatı
Pfister (1964)	4	30.48 x 30.48	0.42-0.53	12 donatı
	3	20.32 x 45.72	0.36-0.49	12 donatı
	4	25.4 x 30.48	0.49	6 donatı
Roy ve Sözen (1964)	45	12.7 x 12.7	0.86-0.9	4 köşe donatı
Bertero ve Felippa (1964)	2	7.62 x 7.62	-	-
	5	7.62 x 7.62	-	4 köşe donatı
	2	10.16-2.54/10.16x10.16-2.54/10.16	-	-
	6	10.16-2.54/10.16x10.16-2.54/10.16	-	4 köşe donatı
Hudson (1966)	32	10.16 x 10.16	0.46-0.47	8 donatı
	28	15.24 x 15.24	0.63-0.66	8 donatı
Soliman ve Yu (1967)	3	15.24 x 10.16	0.92-1.00	2 donatı
	11	15.24 x 10.16	0.44-0.92	4 köşe donatı
	1	15.24 x 7.62	0.91	4 köşe donatı
	1	15.24 x 12.7	0.93	4 köşe donatı
Shah ve Rangan (1970)	11	5.08 x 5.08	0.83	-
Somes (1970)	42	10.16 x 10.16	0.88-0.92	-
Sargın (1971)	41	12.7 x 12.7	0.65-0.96	-
Burdette ve Hilsdorf (1971)	16	12.7 x 12.7	0.72-1.00	-
	4	12.7 cm çap	1	-
Bunni (1975)	4	12.7 x 12.7	0.88-0.90	-
	50	12.7 x 12.7	0.88-0.95	4 köşe donatı
Kaar (1977)	13	25.4 x 40.64	0.68-0.72	4 köşe donatı
	6	12.7 x 20.32	0.7	4 köşe donatı
Vallenas, Bertero ve Popov (1977)	3	25.4 x 25.4	0.78	8 donatı
	3	22.86 x 22.86	0.96	8 donatı
	3	25.4 x 25.4	0.78	-
	3	22.86 x 22.86	0.96	-
Sheikh ve Üzümeri (1980)	24	30.48 x 30.48	0.78	8,12,16

Etriyeler ile sarılmış betonun davranışının belirlenmesi için geçmişte yapılan çalışmaların yetersiz olduğunu düşünen Sheikh ve Üzümeri, Şekil 3.12’de gösterilen gerilme-şekildeğiştirme eğrisini önermişlerdir. Eğri üç parçadan oluşmaktadır; OA parçası, A noktası f_{cc} , ϵ_{s1} noktalarının kesişimin de olan ikinci derece bir paraboldür. f_{cc} terimi numunenin sargılı betonunun basınç dayanımını temsil etmektedir ve K_s , f_{cp} değerine eşittir ki burada f_{cp} : Plak numunede betonun basınç dayanımı, K_s : Dayanım artış faktörüdür. ϵ_1 ve ϵ_2 sırasıyla maksimum gerilmeye karşılık gelen minimum ve maksimum şekil değıştirme değerleridir. ϵ_{s85} eğrinin yük olmayan kolundaki %85 şekil değıştirmeye karşılık gelen maksimum gerilme değeridir. AB ve BC parçaları eğrinin doğru parçalarıdır. C noktasından itibaren gerilmenin maksimum değerinin

%30'una düşerek (D noktası) aynı doğru parçası üzerinde yer alması beklenebilir. D noktasından itibaren yatay çizgi beton davranışının gösterimini üstlenebilmektedir. Fakat testlerin bu bölümündeki deneysel verilerin eksikliği yüzünden bahsedilen bölgenin davranışı C noktasından sonra kesin olarak bilinmemektedir. Daha önce bahsedilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin tam anlamıyla tanımlanması için f_{cc} , ϵ_{s1} , ϵ_{s2} ve ϵ_{s85} isimli dört değişkenin bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 3.12: Sheikh ve Üzümeri tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Sheikh ve Üzümeri, 1980)

Teorik analizlerde, çekirdek içindeki ve kabuktaki boyuna yer değiştirmenin özdeş olduğu ve betondaki her iki bölgenin de içinde az da olsa sargı donatısı bulunduğu, aynı gerilme-şekildeğiştirme ilişkisine maruz kaldığı düşünülmektedir. Düşük deformasyonlarda, yatay donatı tarafından sağlanan sarılma önemsizlenmeyebilir. Beton dayanımı ve yatay sargı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi açıklanabilir;

$$f_{cc} = f_{cp} + f(\rho_s, s, f_s, \lambda, \eta) \quad (3.38)$$

ρ_s : Toplam yatay donatı hacminin çekirdeğin toplam hacmine oranını;

s : Etriye aralığını;

f_s : Yatay donatıdaki gerilmeyi;

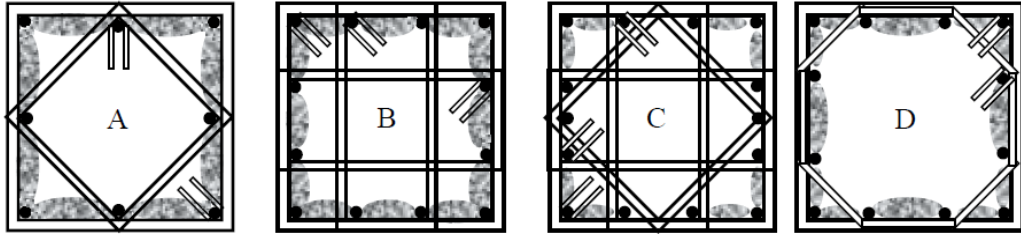
λ : Kesit yerleşiminde ve çekirdek çevresindeki boyuna donatıların dağılımında hesaba katılacak olan bir faktörü;

η : Kesitin boyut etkisini temsil etmektedir.

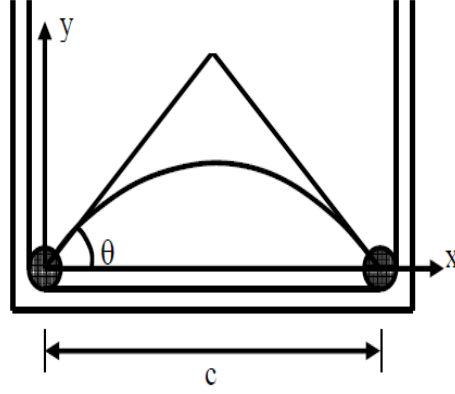
Sarılmış betonun dayanımındaki artış “etkili sarılmış” beton alanına dayanarak hesaplanmıştır. Bu alan etriyenin çevre uzunluğu ile sınırlanmış ve etriye yerleşimi ve etriye aralığı ile belirlenmiş nominal çekirdekten daha küçüktür. Etkili sarılmış beton alanı beton dayanımındaki kazancın hesaplanmasında değerlendirilir.

Fret uygulamasından farklı olarak, dikdörtgen etriyeler ile beton çekirdeği hacmine doğru uygulanan basınç doğrusal olmamaktadır. Yüksek şekil değiştirmelerde kabuk betonu döküldüğünde, çekirdek betonunun bir kısmı uygulanan yüke karşı daha az etkili olur. Etriye seviyesindeki etkili sarılmış beton alanı, sargının eğimi ile tamamen desteklenen boyuna donatı çubuklarının dağılımı ile tanımlanır ve tüm pratik durumlar için çekirdek alanından daha az olur. Etriyeler arasındaki orta kesitte etkili olarak sarılmış beton en küçük değere sahiptir ve etriye yerleşimine ilave olarak etriye aralığı ile tanımlanır.

Etriye seviyesinde, boyuna çubuklar arasındaki mesafe ve etriyelerin yerleşimine dayanarak bazı betonların çekirdek yüzeylerinde sargı bulunmamaktadır. Şekil 3.13’de farklı yerleşimlerde betonun sarılmamış kısmı gölgelendirilerek gösterilmiştir. Boyuna çubuklar, betonu etkili biçimde kendi bölgelerinde sınırlamışlardır. Şekil 3.13’den çubukların artışı ile toplam gölgeli (sarılmamış) alanların azaldığı görülebilir.



Şekil 3.13:Etriye seviyelerindeki sarılmamış beton (Sheikh ve Üzümeri, 1980)



Şekil 3.14: Sarılmamış betonun alanının belirlenmesi (Sheikh ve Üzümeri, 1980)

Etkili şekilde sarılmamış olan beton alanı Şekil 3.14’de görüldüğü gibi tahmin edilebilir.

Etkili olarak sarılmış beton çekirdeği alanı beton seviyesinde;

$$A_{co} - \sum_{i=1}^n \frac{c_i^2}{\alpha} \quad (3.39)$$

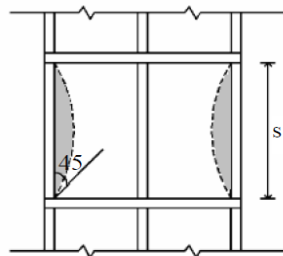
A_{co} : Dıştaki etriyeden itibaren çevrelenmiş çekirdek alanı;

n : Kavis sayısı;

c : Boyuna çubukların merkezden merkeze uzaklığı.

Eğer λ etriye seviyesindeki etkili olarak sarılmış beton alanının çekirdek alanına oranı olarak tanımlanırsa;

$$\lambda = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n c_i^2}{\alpha A_{co}} \quad (3.40)$$



Şekil 3.15: Etriye seviyeleri arasındaki sarılmamış beton (Sheikh ve Üzümeri, 1980)

Sarılma kuvveti doğrultusunda, basıncın olmadığı çekme gerilme bölgeleri aynı zamanda Şekil 3.15’de görüldüğü gibi kolonun yüksekliği boyunca gelişir. Etriyelerin sıklaştığı bölgede etkili biçimde sarılmış alan daha fazladır. Yine gölgeli alan etkili olarak sarılmamış betonu göstermektedir. Sarılmış ve sarılmamış betonu ayıran eğri, ikinci derece bir denklem ile tanımlanabilir. Bu durumda eğrinin gerçek şekli çok anlamlı değildir. Kolonun dayanımı, etrilyeler arasında kalan yarı noktadaki kesite ait en küçük alana bağlıdır. Daha uzun açıklıklar daha küçük sarılmış alanlara ve kusurlara sebep olacaktır.

Şekil 3.16’da gösterildiği gibi, sarılmış betonu belirleyen kavisin üç boyutlu gösterimi ile iki etriye arasındaki kritik orta kesitte etkili olarak sarılmış betonun gerçek alanını bulmak, özellikle eğrilerin profili bilinmediği zaman oldukça zordur.

Bununla birlikte, kritik kesitin alanı aşağıdaki gibi temsil edilebilir;

$$\text{Çekirdek Alanı; } A_{co} = B.H \quad (3.41)$$

$$\text{Etriye Seviyesindeki Etkili Sarılmış Alan} = \lambda A_{coi} \quad (3.42)$$

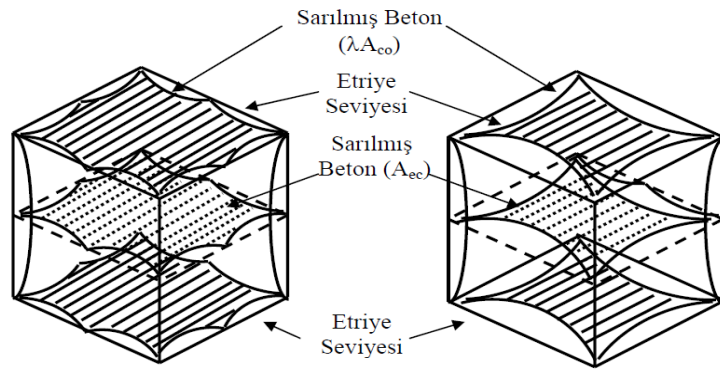
Etriye Seviyesindeki A_{co} ’ın Azalmasının İhmal Edilmesi,

Etriyeler Arasındaki Orta Kesitte Etkili Olarak Sarılmış Alan;

$$(B-2y_m)(H-2y_m) \quad (3.43)$$

Kritik Kesitte Etkili Olarak Sarılmış Beton Alanı:

$$A_{ec} = X(B-2y_m)(H-2y_m) \quad (3.44)$$



Şekil 3.16:Kritik kesitlerin belirlenmesi - sarılmış ve sarılmamış betonun üç boyutlu görünüşü(Sheikh ve Üzümeri, 1980)

B ve H: Etriyenin merkezden merkeze uzunluğu olan çekirdeğin çevresi;

y_m : Etriyeler arasındaki verilen y 'nin maksimum değeri $y_m=0.25 \text{ s tan}\theta$ 'dir.

Etkili olarak sarılmış betonun alanı A_{ec} , aşağıdaki denklem ile çekirdek alanıyla ilişkilendirilebilir;

$$A_{ec} = \lambda (B - 0,5 \tan \theta) (H - 0,5 \tan \theta) = \lambda^* \times A_{co} \quad (3.45)$$

Bu yüzden; λ^* kritik bölgede etkili olarak sarılmış betonun çekirdek alanına oranı olarak tanımlanabilir. λ Sadece etriye yerleşiminin etkisini içerirken, λ^* etriye yerleşimi ve aralığı etkilerini birleştirerek hesaba katar.

Sargı dolayısıyla beton dayanımında elde edilen kazanç;

$$P_{add} = A_{ec} \beta (\rho_s f_s')^\lambda \quad (3.46)$$

$$K_s = 1 + \frac{A_{ec}}{P_{occ}} \beta (\rho_s f_s')^\lambda \quad (3.47)$$

(3.40) ve (3.45) denklemlerinin (3.47) denklemine uygulanmasıyla;

$$K_s = 1,0 + \frac{1}{P_{occ}} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n c_i^2}{\alpha A_{co}} \right) \left(1 - \frac{0,5 \tan \theta}{B} \right) \left(1 - \frac{0,5 \tan \theta}{H} \right) B H \beta (\rho_s f_s')^\lambda \quad (3.48)$$

Üniform yayılı düşey donatılı kare kesit için denklem;

$$K_s = 1,0 + \frac{1}{P_{occ}} \left(1 - \frac{n C^2}{\alpha B^2} \right) \left(1 - \frac{0,5 \tan \theta}{B} \right)^2 B^2 \beta (\rho_s f_s')^\lambda \quad (3.49)$$

Sheikh ve Üzümeri deneylerin sonuçları ile α , β , θ ve λ ' değerlerini hesap etmek için 24 numuneyi geniş kapsamlı şekilde kullanmışlardır. Kümülatif mutlak hataların tüm numuneler için asgariye indirilmesindeki tek kriter; deneysel sabitlerin

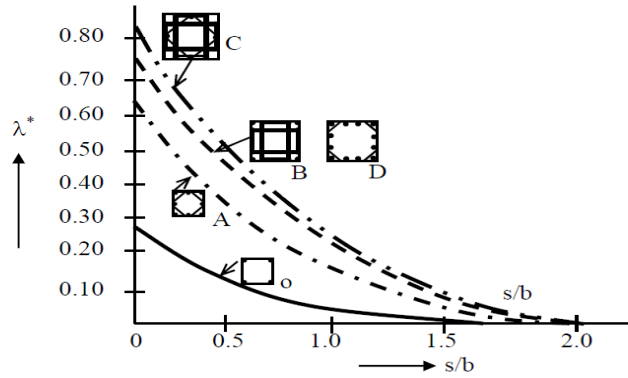
belirlenmesi olmuştur. Hata ; $\sum_{i=1}^{24} \text{abs} \left[(K_s)_{exp} - (K_s)_{anal} \right] / (K_s)_{exp}$ denkleminden hesaplanmıştır.

Regresyon analizinden sabitler için aşağıdaki değerler seçilmiştir. 24 Kolon için kümülatif hata her bir kolon için 0.035 olmak üzere akma 0.836'dır. $\alpha = 5.5$; $\theta = 45^\circ$; $\lambda = 0.5$; $\beta = 0.0071$ ($f_s' = \text{MPa}$)

Sonuç denklemi şu şekilde yazılabilir;

$$K_s = 1.0 + \frac{B^2}{140P_{occ}} \left(1 - \frac{nC^2}{5.5B^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2B} \right)^2 \sqrt{\rho_s f_s'} \quad (3.50)$$

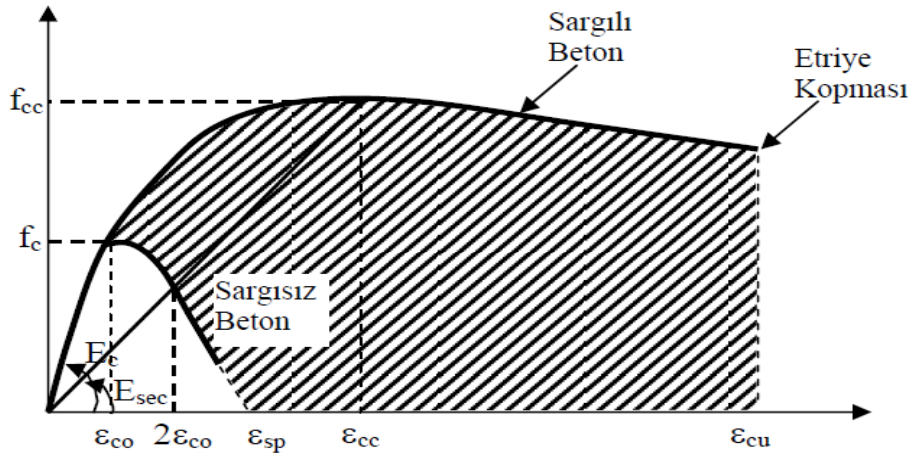
Boyuna donatının davranışı ve λ^* ile gösterilen sargının etkisi kare kolon çekirdeği için Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Etriye aralığı çekirdek hacminden iki kat büyük olduğunda sargının betonun dayanımına etkisinin hiç olmadığı görülmüştür (Kaba, 1993), (Sheikh, 1980), (Sheikh, 1982).



Şekil 3.17:Etriye aralığının bir fonksiyonu olarak etkili sarılmış beton alanı ve çeşitli kare donatı yerleşimleri için çekirdek alanı (Sheikh ve Üzümeri, 1980)

3.1.11 Mander ve Diğ. (1988) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Mander vd. 1988 yılında hem spiral hem de dörtgen enine donatılı kesitlere uygulanabilen bir model önermişlerdir. Model, Sheikh&Üzümeri modeline benzer şekilde etkili olarak sargılanan beton alanının hesaplanmasına dayanmaktadır. Modele göre etkili sargılanamayan beton alanı; yatayda boyuna tutulu donatılar arasında, düşeyde de enine donatı adımları arasında, 45 derece ilk eğim açısına sahip ikinci derece bir parabol şekline sahiptir. Sheikh&Üzümeri modelinde merkezden merkeze alınan donatılar arası mesafe yerine donatılar arasında bulunan net açıklık dikkate alınmaktadır. Mander tarafından önerilen sargısız ve sargılı beton davranış modelleri Şekil 3.18'de gösterilmiş ve denklemleri de aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.18: Mander tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Mander, 1988)

$$\sigma_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \quad (3.51a)$$

$$\sigma_c = 0 \quad \epsilon_c > \epsilon_{cu} \quad (3.51b)$$

$$f_{cc} = f_c \left(2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f_1}{f_c}} - \frac{2 f_1}{f_c} - 1,254 \right) \quad (3.52)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (3.53)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left(1 + \frac{5 f_{cc}}{f_c} \right) \quad (3.54)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.55)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_c} \quad (3.56)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f_c} \quad (3.57)$$

$$f_1 = \frac{f_{1x} + f_{1y}}{2} \quad (3.58)$$

$$f_{1x} = k_0 \frac{A_{shx} \cdot f_{sy}}{s \cdot b} \quad (3.59)$$

$$f_{1y} = k_o \frac{A_{shu} \cdot f_{sy}}{s \cdot h} \quad (3.60)$$

$$k_o = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{6bh}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b}\right) \left(1 - \frac{s'}{2h}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (3.61)$$

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \rho_s f_{sy} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.62)$$

Burada;

f_t : Ortalama yanal sargı basıncı,

f_{1x} : X yönünde oluşan sargı basıncı,

f_{1y} : Y yönünde oluşan sargı basıncı,

k_e : Sargılamanın etkinliği ile ilgili katsayı,

A_{shx} : X yönünde uzanan toplam enine donatı kesit alanı,

A_{shy} : Y yönünde uzanan toplam enine donatı kesit alanı,

b : Enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonu X'e paralel boyutu,

h : Enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonu Y'ye paralel boyutu,

s : Enine donatı merkezinden merkezine ölçülen etriye aralığı,

s' : Enine donatı net aralığı,

n : Boyuna donatı sayısı,

w_i : Boyuna donatılar arası i'nci net açıklık,

ρ_{cc} : Boyuna donatı kesit alınının beton çekirdek alanına oranı,

ϵ_{cu} : Beton nihai basınç birim şekil değiştirme değeri,

ϵ_{cc} : Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri,

ϵ_{su} : Enine donatı nihai çekme birim şekil değiştirme değeridir (Mander, 1988).

3.1.12 Kappos ve Diğ. (1991) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Yakın geçmişte Kappos tarafından yapılan çalışmada tüm etriye şekilleri için bir sargı indeksi geliştirilmeye çalışılmış ve Şekil 3.19'da gösterilen gerilme-şekildeğiştirme modeli önerilmiştir. Toplam 63 kolon numunesinin beş farklı program kullanılarak test edildiği deneysel veriler yardımıyla aşağıdaki genel denklem ortaya atılmıştır.

$$K=1+\alpha(\omega_w)^b \quad (3.63)$$

Deneysel katsayılar α ve b değerleri aşağıdaki gibidir.

$\alpha=0.55$ $b=0.75$ tek kollu etriye için

$\alpha=1.00$ $b=1.00$ elmas şekilli çift etriye için

$\alpha=1.25$ $b=1.00$ çok sayıdaki etriye için (üç yada daha fazla)

(3.63) Denklemini tek kollu etriye durumunda diğer modellerden çok daha iyi sonuçlar vermiştir. 63 Numune için çift ve daha fazla etriye durumunda ise karşılaştırılabilir sonuçlar bulunmuştur. ϵ_{cc1} şekil değiştirmesi göz önünde bulundurularak en üst pik gerilmesi ile yöndeş olan Park, Priestley ve Gill (1982) tarafından aktarılan $\epsilon_{cc1}=K\epsilon_{c1}$ değeri, ki burada $\epsilon_{c1}=0.002$ 'dir, ve sarılmamış beton için (Kappos 1991 $\epsilon_{cc1}=K^2\epsilon_{c1}$ değerini daha iyi deneysel kayıtlar ile bulduğunda) uygun değerdir. Sheikh ve Üzümeri tarafından gerilmenin sürekli ϵ_{cc1} ve ϵ_{cc2} değeri arasında kaldığı düşünülmüştür.

$$\epsilon_{cc1}=80K_s f_c \times 10^{-6} \quad (3.64)$$

$$\epsilon_{cc2}=0,002 \left\{ 1 + \frac{248}{b_i} \left[1 - 5 \left(\frac{s}{b_c} \right)^2 \right] \frac{\rho_w f_{yw}}{f_c^{1/2}} \right\} \quad (3.65)$$

burada, f_c , f_{yw} MPa ve b_i mm birimindedir.

Eğrinin azalan kolu göz önünde bulundurularak (daha önce bahsedilen tüm modellerde lineerdir) Park, Priestley ve Gill (1982) aşağıdaki genelleştirmeyi önermişlerdir;

$$Z = \frac{0,5}{\epsilon_{cc50} - \epsilon_{cc1}} \quad (3.66)$$

$$\varepsilon_{cc50} = \frac{3+0,29f_{ck}}{145f_{ck}-1000} + 0,75\rho_w \left(\frac{b_c}{s}\right)^{1/2} \quad (3.67)$$

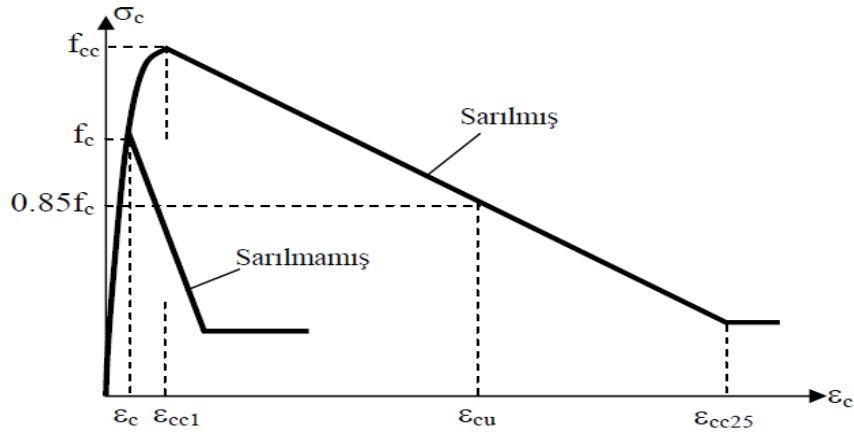
Aynı denklemlerde f_c yerine f_c/K ifadesi Kappos (1991) modeline uygulanmıştır. Sargının yardımı ile azalan eğrinin dikliğini (3.67) denkleminin ikinci terimi ile açıklar, bu da hacimsel oran ve etriye aralığı değerlerinin hesaba katılması anlamına gelmektedir. Benzer bir açıklama Sheikh ve Üzümeri (1982) tarafından kullanılmıştır, burada eğrinin azalan bölümü $\varepsilon_{cc2} > \varepsilon_{cc1}$ deformasyonu ile başlamaktadır.

$$Z = \frac{0,5}{0,75\rho_w (b_c/s)^{1/2}} \quad (3.68)$$

Sheikh ve Üzümeri (1982), Kappos (1991) modellerinde, etriyenin merkezinden itibaren tanımlanan hacimsel oran (ρ_w) olarak isimlendirilmiştir. Park, Priestley ve Gill (1982) ρ_w değerini etriyenin dış tarafından itibaren tanımlamışlardır.

(3.68) denkleminin temelinde (σ - ε) diyagramının azalan eğrisi boyunca maksimum dayanım değerinin %15 düştüğü nokta bulunmaktadır. Apsis noktası;

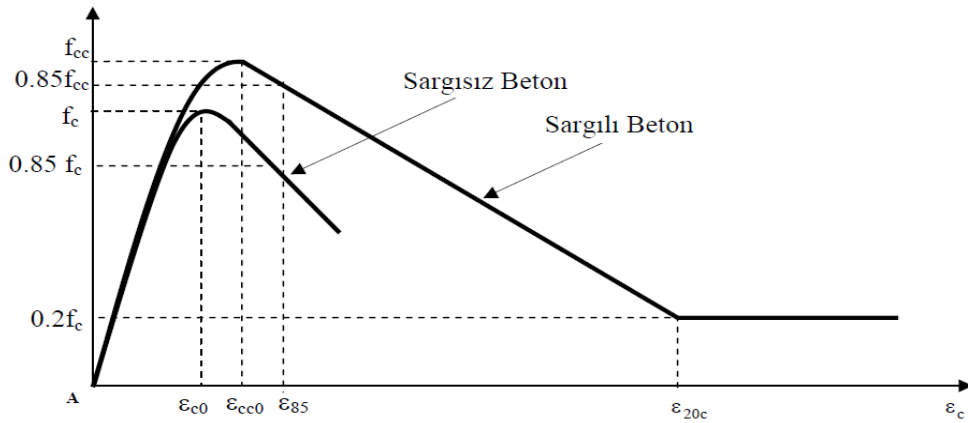
$$\varepsilon_{cc85} = 0,22\rho_w \sqrt{b_c/s} + \varepsilon_{cc2} \quad (3.69)$$



Şekil 3.19:Kappos tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Kappos, 1991)

3.1.13 Saatçioğlu ve Razvi (1992) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

1992 yılında Saatçi oğlu ve Razvi tarafından önerilen model, enine donatı yakınında maksimuma ulaşan ve donatılar arasında azalan yanıl basıncın ortalama değeriin hesaplanması esasına dayanır. Artan ilk bölüm bir parabol, düşen kol bir doğrudan oluşur. Kent&Park ve Sheikh&Üzümeri modelleri gibi içsel sürtünme nedeniyle beton gerilme dayanımının belirli bir oranının altına düşmediği varsayılır ($0.20f_{cc}$). Model denklemleri aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 3.20:Saatçioğlu&Razvi tarafından önerilen betonun genel gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (Saatcioglu ve Razvi, 1992)

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \quad (3.70)$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[1 - \frac{0.15(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc})}{\varepsilon_{85} - \varepsilon_{cc}} \right] \quad \varepsilon_{20} > \varepsilon_c > \varepsilon_{cc} \quad (3.71)$$

$$\sigma_c = 0.2f_{cc} \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{20} \quad (3.72)$$

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 f_{le} \quad (3.73)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} (1 + 5\lambda) \quad (3.74)$$

$$\lambda = \frac{k_1 f_{le}}{k_3 f_c} \quad (3.75)$$

$$k_1 = 6.7 (f_{le})^{-0.17} \quad (3.76)$$

$$\varepsilon_{cc85}=260\rho_s\varepsilon_{cc}+\varepsilon_{085} \quad (3.77)$$

$$f_{1e}=\frac{f_{1ex}b_x+f_{1ey}b_y}{b_x+b_y} \quad (3.78)$$

$$f_{1ex}=\beta_x f_{1x} \quad (3.79)$$

$$f_{1ey}=\beta_y f_{1y} \quad (3.80)$$

$$f_{1x}=\frac{\sum A_o f_{sx} \sin \alpha_x}{sb_x} \quad (3.81)$$

$$f_{1y}=\frac{\sum A_o f_{sy} \sin \alpha_y}{sb_y} \quad (3.82)$$

$$\beta_x=0,26\sqrt{\frac{b_x}{a_x}}\frac{b_x}{s}\frac{1.0}{f_{1x}} \quad (3.83)$$

$$\beta_y=0,26\sqrt{\frac{b_y}{a_y}}\frac{b_y}{s}\frac{1.0}{f_{1y}} \quad (3.84)$$

Burada;

f_{1e} : Efektif yanal sargı basıncı,

f_{1x} : X yönünde oluşan sargı basıncı,

f_{1y} : Y yönünde oluşan sargı basıncı,

f_{1ex} : X yönünde oluşan efektif sargı basıncı,

f_{1ey} : Y yönünde oluşan efektif sargı basıncı,

k_1 : Betonun özelliğine bağlı katsayı,

k_e : Sargılamanın etkinliği ile ilgili katsayı,

A_o : Enine donatı kesit alanı,

b_x : Enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonu X'e paralel boyutu,

b_y : Enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonu Y'ye paralel boyutu,

s : Enine donatı merkezinden merkezine ölçülen etriye aralığı,

a_x : b_x boyunca tutulan boyuna donatılar arası mesafe,

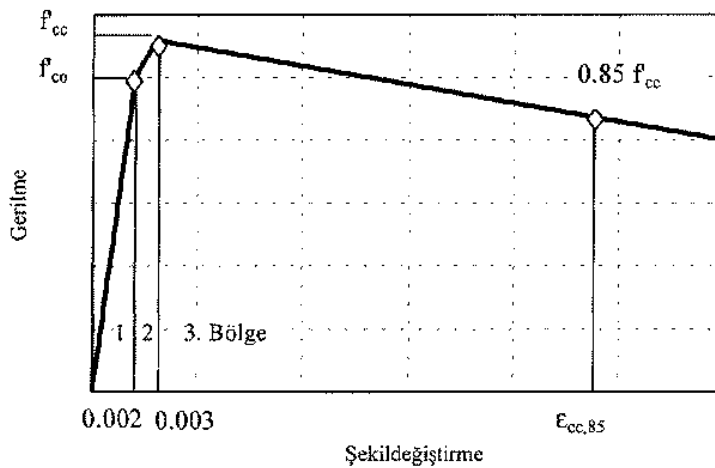
a_y : b_y boyunca tutulan boyuna donatılar arası mesafe,

α_x : Enine donatı ve b_x arasındaki açı,

α_y : Enine donatı ve b_y arasındaki açıdır (Saatcioglu ve Razvi, 1992).

3.1.14 İlki ve Diğ. (2004) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

İlki modelinde, enine donatıların etkisinin elastik ötesi bölgede olduğu belirtildiğinden elastik bölge için yaklaşık bir kabul yeterli olduğu belirtilmiştir. İlki modelinde önerilen üç doğrulu basit model şekilde gösterilmiştir. Buna göre birinci bölge 0,002 eksenel kısalmaya kadar olan bölge 1.bölge olarak belirtilmiştir ve bu kısalma olduğu zaman betondaki gerilmenin sargılanmamış eleman beton basınç dayanımı (f'_{co}) olduğu kabul edilmiştir. İkinci bölge ise 0,002 ve 0,003 şekil değiştirmeleri arasında tanımlanan bir doğrudan oluşur. 0,003 şekil değiştirme durumunda gerilmenin sargılanmış beton basıncına (f'_{cc}) eşit olduğu belirtilmiştir. Sargılanmış betonda dayanıma karşı gelen şekil değiştirmede sağlanan artış ise gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin düşen kolu üzerinde, modelde tanımlanan üçüncü bölgede, sargılanmış beton basınç dayanımının %85'i olan gerilmeye karşı gelen şekil değiştirme (ϵ_{85}) için verilen bir bağıntı aracılığıyla yaklaşık olarak temsil edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.21: İlki ve diğ. tarafından önerilen betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi (İlki, 2004)

Sargılanmış eleman beton basıncı ilki modelinde şöyle bulunmuştur;

$$f'_{cc} = f_{co}' \left[1 + 4.65 \frac{f'_l}{f_{co}'} \right] \quad (3.85)$$

Burada f'_l etkili yanal sargı basıncı, f_l yanal sargı basıncı ve k_e etki katsayısı yardımıyla bulunmuştur.

$$f'_l = k_e f_l \quad (3.86)$$

k_e etki katsayısı da A_e etkili olarak sargılanmış alanın, A_{cc} enine donatının merkezinden merkezine olan alanına bölünmesi ile bulunmuştur.

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (3.87)$$

A_e de Mander ve diğ. Tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(\omega'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \quad (3.88)$$

f_l de daha önceki çalışmalar ışığında şöyle bulunmuştur (Mander, 1982)

$$f_l = \frac{2A_{sh}f_{yh}}{d_c s} \text{ (dairesel kesitli)} \quad (3.89)$$

$$f_l = \frac{\sum A_{sh}f_{yh} \sin a}{s b_c} \text{ (kare kesitli)} \quad (3.90)$$

$$f'_l = \frac{f'_{lx} b_{cx} + f'_{ly} b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}} \quad \text{(dikdörtgen kesitli)} \quad (3.91)$$

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} \quad (3.92)$$

$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s b_c} f_{yh} \quad (3.93)$$

$$f'_{lx} = f_{lx} k_e \quad (3.94)$$

$$f'_{ly} = f_{ly} k_e \quad (3.95)$$

$$s \leq 9\phi_l \text{ ise ;} \quad \varepsilon_{cc.85} = \varepsilon_{co} \left[1 + 120 \frac{f'_l}{f_{co}'} \right] \quad (3.96)$$

$$s \geq 9\phi_l \text{ ise;} \quad \varepsilon_{cc.85} = \varepsilon_{co} \left[1 + 120 \frac{f'_l}{f_{co}'} \right] \left[\frac{9\phi_l}{s} \right]^2 \quad (3.97)$$

Burada;

A_{cc} : Sargılanmış enkesit alanı(enine donatının merkezinden merkezine)

A_e : Etkili olarak sargılanmış enkesit alanı

A_S : Boyuna donatı toplam enkesit alanı

A_{SH} : Test bölgesinde mevcut enine donatı (veya donatı alanı)

d_c : Sargılanmış enkesit çapı (enine donatının merkezinden merkezine)

f'_c : 28 günlük ortalama silindir beton basınç dayanımı

f'_{cc} : Sargılı beton basınç dayanımı

f'_{co} : Elemanda sargılanmamış beton basınç dayanımı (bu çalışmada $0,75f'_c$)

f_l : Yanal sargı basıncı

f'_l : Etkili yanıl sargı basıncı

f_{yh} : Enine donatı akma dayanımı

k_e : Etki katsayısı

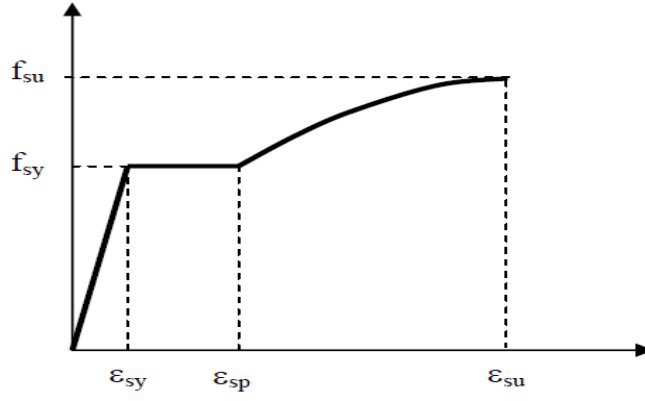
s : Enine donatı aralığı

s' : Enine donatılar arası temiz aralık

3.2 Çelik İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Modeli

Betonarme; beton ve donatı çeliğinden oluşan kompozit bir malzemedir. Bu sebeple gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenmesi için, onu oluşturan donatı çeliğinin de gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin bilinmesi gereklidir. Homojen yapısı nedeniyle çeliğin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi üzerinde beton kadar çok sayıda ve farklı yapıda model bulunmamaktadır.

Literatürde bulunan yumuşak çelik ve daha sert çelikler için önerilen modelleri inceleyerek; Mander her iki tür çelik içinde kullanılabilecek bir model önermiştir. Bu modelde akma birim şekildeğiştirme değerine kadar gerilme değeri doğrusal artmakta, bu değerden sonra akma platosunda bir müddet akma dayanımında sabit kalmakta ve daha sonra pekleşerek nihai birim şekil değıştırme değerine ulaşmaktadır. Pekleşme bölgesi çelik özelliklerine bağlı olarak değışen derecede bir eğri denklemi şekkindendir(Şekil 3.22).



Şekil 3.22:Çelik için gerilme-şekildeğiştirme modeli (Mander,1988)

Üç bölümden oluşan modelin denklemi;

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad \epsilon_s \leq \epsilon_{sy} \quad (3.85)$$

$$\sigma_s = f_{sy} \quad \epsilon_{sp} \geq \epsilon_s > \epsilon_{sy} \quad (3.86)$$

$$E_s = f_{sy} / \epsilon_{sy} \quad (3.87)$$

$$\sigma_s = f_{su} + (f_{sy} - f_{su}) \left[\frac{\epsilon_{su} - \epsilon_s}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sp}} \right]^p \quad \epsilon_{su} \geq \epsilon_s > \epsilon_{sp} \quad (3.88)$$

$$P = E_{sh} \left[\frac{\epsilon_{su} - \epsilon_{sp}}{f_{su} - f_{sy}} \right] \quad (3.89)$$

Burada;

σ_s : Çelik gerilmesi,

ϵ_s : Çelik birim şekil değıştirme,

ϵ_{sy} : Çelik akma birim şekil değıştirme,

ϵ_{sp} : Çeliğin pekleşmeye başladığı birim şekil değıştirme değeri,

ϵ_{su} : Çelik nihai birim şekil değıştirme değeri,

f_{sy} : Çelik akma dayanımı,

f_{su} : Çelik nihai dayanımı,

E_s : Çelik elastisite modülü,

E_{sh} : Çelik pekleşme modülü,

P: Çeliğin pekleşme derecesidir.

Görüldüğü gibi çeliğin pekleşme denklemi P'inci dereceden bir denklemdir ve E_{sh} katsayısına bağlıdır. E_{sh} modellenecek çelik donatı ile yapılan deneylerden elde edilmelidir fakat elde mevcut veri yoksa pekleşme denklemi ikinci derece bir denklem olarak alınabilir.

4. DENEY NUMUNELERİ VE ÖLÇÜM SİSTEMİ

Bu bölümde; çalışmada kullanılan betonun, kalıpların, donatının özelliklerine, deney düzeneğinin kurulum safhalarına ve deney uygulamalarına yer verilmiştir.

4.1 Numune Özellikleri

Deneysel çalışma için üretilen betonarme kolon numuneler, üretim şekillerine, içerisinde bulunan etriyenin yapısal özellikleri(düz veya nervürlü), yanal(etriye) donatıya ek olarak çirozun bulunup bulunmaması, etriyenin kanca açısı (ϕ), kanca boyu (l) ve etriyeler arasındaki mesafeye (S) göre isimlendirilmişlerdir. İsimlendirme sırasıyla üretim şeklini (kare numuneyse S veya dikdörtgen numuneyse R), etriyenin yapısal özelliğini (düz donatıysa D veya nervürlü donatıysa N), kanca açısını (açı 90, 112.5 veya 135 derece),kanca boyunu (4 cm veya 8cm) ve etriyeler arasındaki mesafeyi (mesafeler 50 mm veya 100 mm) belirtir. Ayrıca çiroz bulunan dikdörtgen numuneler (C) sembolüyle belirtilmiştir. Örneğin S-90-4-N-S50, numunenin kare şekilli , ve etriyenin kanca açısının 90 derece, kanca boyunun 4 cm, nervürlü etriyeli ve etriyeler arasındaki mesafenin de 50 mm olduğunu ifade etmektedir. R-135-8-NÇ-S100, numunenin dikdörtgen şekilli, kanca açısının 135 derece, kanca boyunun 8 cm etriyenin nervürlü, yanal donatıya ek olarak çirozun bulunduğu ve etriyeler arasındaki mesafelerinde 100 mm olduğunu ifade etmektedir. Numunelere ait özet bilgiler Çizelge 4.1 ve çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kare numunelerine ait özet bilgiler

Numune Adı		f_{cc} (MPa)	b(mm)	d(mm)	h(mm)	f_y (MPa)	Etriye Aralığı(S), (mm)	Etriye Kanca Açısı(ϕ) (°)	Etriye Kanca Boyu(l) (mm)	Çiroz
Kare Numuneler	S-Ref	35.60	250	250	500	557	-	-	-	-
	S-90-4-N-S50	38.00	250	250	500	557	50	90	40	-
	S-112.5-4-N-S50	39.50	250	250	500	557	50	112.5	40	-
	S-135-4-N-S50	37.30	250	250	500	557	50	135	40	-
	S-90-8-N-S50	39.20	250	250	500	557	50	90	80	-
	S-112.5-8-N-S50	44.80	250	250	500	557	50	112.5	80	-
	S-135-8-N-S50	36.00	250	250	500	557	50	135	80	-

Çizelge 4.2: Dikdörtgen numunelerine ait özet bilgiler

Numune Adı		f _{cc} (MPa)	b(mm)	d(mm)	h(mm)	f _y (MPa)	Etriye Aralığı(S), (mm)	Etriye Kanca Açısı(φ), (°)	Etriye Kanca Boyu(l), (mm)	Çiroz
Dikdörtgen Numuneler	R-90-4-NC-S100	34.68	250	375	500	557	100	90	40	var
	R-112.5-4-NC-S100	37.87	250	375	500	557	100	112.5	40	var
	R-135-4-NC-S100	35.50	250	375	500	557	100	135	40	var
	R-90-4-NC-S50	42.33	250	375	500	557	50	90	40	var
	R-112.5-4-NC-S50	41.00	250	375	500	557	50	112.5	40	var
	R-135-4-NC-S50	41.78	250	375	500	557	50	135	40	var
	R-90-8-NC-S50	41.59	250	375	500	557	50	90	80	var
	R-112.5-8-NC-S50	37.80	250	375	500	557	50	112.5	80	var
	R-135-8-NC-S50	41.57	250	375	500	557	50	135	80	var
	R-90-8-NC-S100	36.75	250	375	500	557	100	90	80	var
	R-112.5-8-NC-S100	38.60	250	375	500	557	100	112.5	80	var
	R-135-8-NC-S100	37.53	250	375	500	557	100	135	80	var

4.2 Malzeme Özellikleri

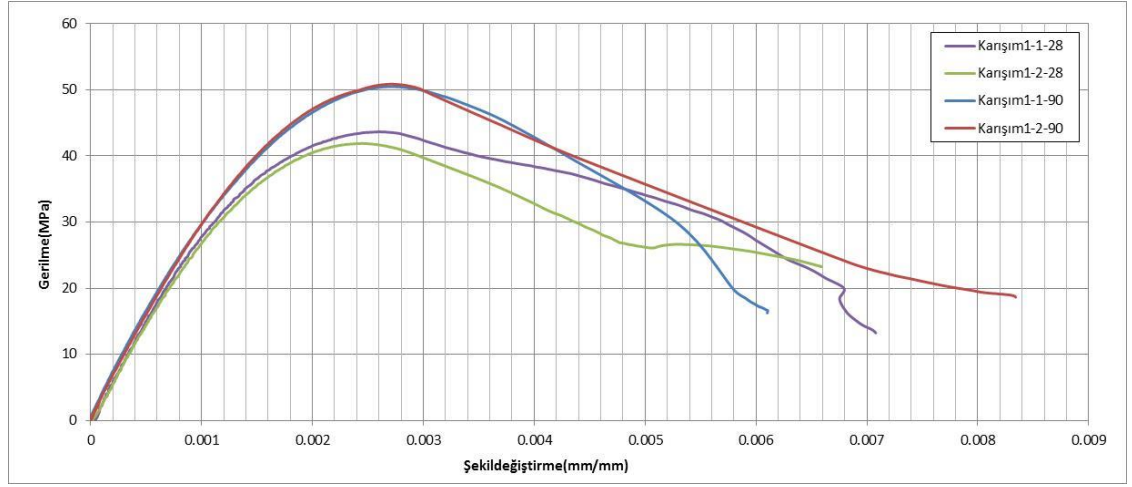
Betonarme bir taşıyıcı elemanın eksenel yük altındaki davranışı birçok etkene dayanmaktadır. Bu etkilerin başında numuneyi oluşturmak için kullanılan malzemeler gelmektedir.

Bu çalışmada, malzeme olarak, C30 hazır beton ve sargı donatıları için S420(Nervürlü donatı) kullanılmıştır. C30 beton, 28 günlük karakteristik basınç dayanımı (Betonun standart basınç dayanımı, 28 gün boyunca $20 \pm 2^\circ$ sıcaklıkta, % 100 nemli ortamda ve kireçli suda kür edilen çapı 150 mm boyu 300 mm olan silindir numunelerin eksenel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır.) 30 MPa olan betondur. Bu betonun karışım oranları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3: Beton karışım oranları

Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Mıcır (kg/m ³)	Taş tozu (yıkanmış) (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Taş tozu (kg/m ³)	Kimyasal katkı (kg/m ³)
385	232	776	262	688	283	3,85

Deney için kullanılan betonun gerçek dayanımını belirlemek için 150 mm çapında boyu 300 mm olan silindirik kalıplara beton dökümü yapılmıştır.



Şekil 4.1:Karışım1-1, karışım1-2 numunelerin 28 ve 90 günlük beton basınç dayanımları

Numunelere, kalıplara döküldükten 28 ve 90 gün sonra eksenel basınç deneyi uygulanmıştır. Eksenel basınç deneyine tabi tutulan 28 ve 90 günlük Karışım1-1 ve Karışım1-2 numunelerinin beton basınç dayanımları Şekil 4.1'deki gibi bulunmuştur. Beton dökümü sırasında yapılan slump deneyi ile de çökme 19,5 cm olarak ölçülmüştür.

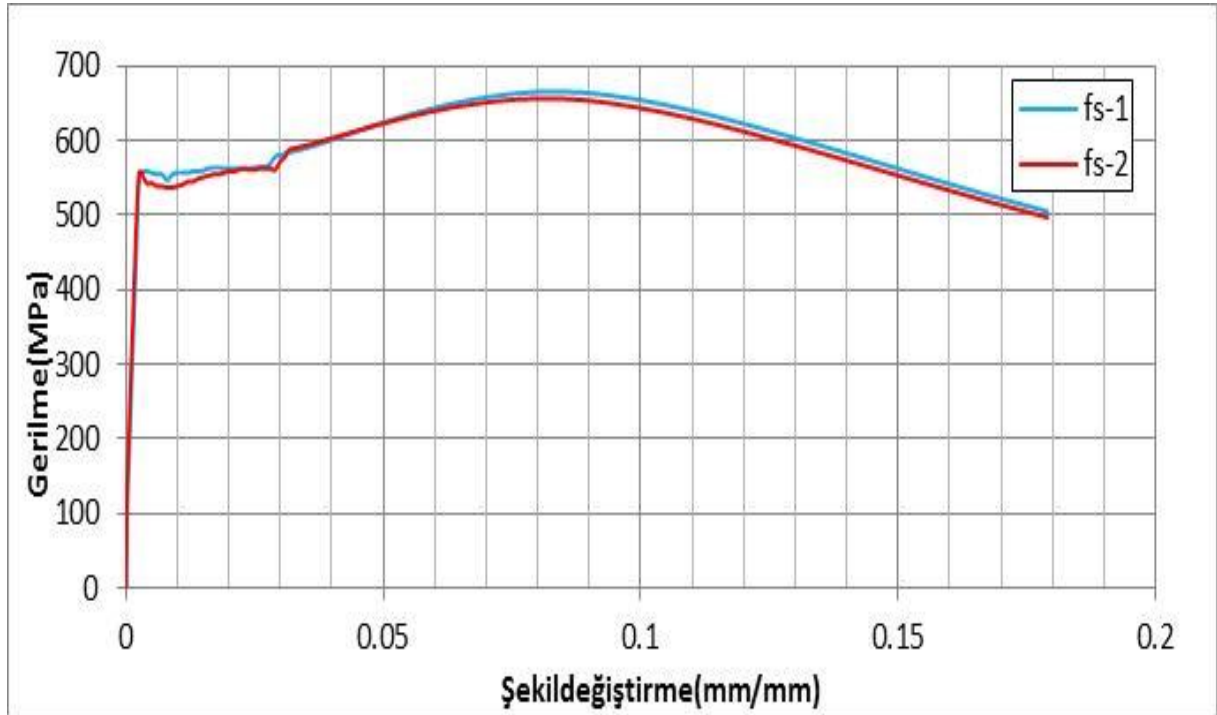


Şekil 4.2: 28 Günlük karışım1-1 silindir numunesinin test edilmesi



Şekil 4.3: 28 Günlük karışım1-2 silindir numunesinin test edilmesi

Sargı donatısı olarak kullandığımız S420 nervürlü demirin ise karakteristik çekme dayanımı 420 MPa'dır. Kullandığımız sargı donatılarının gerçek çekme dayanımlarını bulmak için yaptığımız çekme çubuğu deney sonucunda, donatıların akma dayanımı 557 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4:Çelik gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

4.3 Numune İmalatı

Deneyde kullanılan malzemeleri şöyle sıralayabiliriz;

4.3.1 Donatılar

Bu çalışmada, etriyelerin yerleşimindeki eksikliklerin betonarme kolonun aksel yükler altındaki dayanımına etkisi araştırılmıştır.



Şekil 4.5: Kare etriyelerde kanca biçimleri

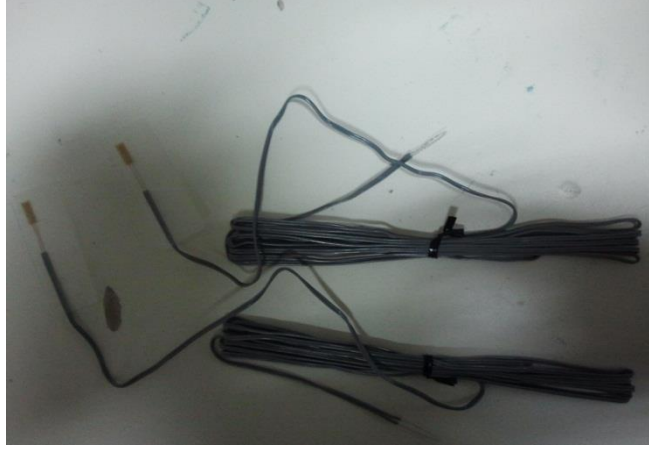
Bunun için İTÜ Deprem ve Yapı Mühendisliği Laboratuvarında bu amaca uygun Ø8'lik nervürlü demir donatı kullanılarak, her bir numuneye, yanal(etriye) donatı aralığı 100 mm olan numunelerde 8 adet, yanal(etriye) donatı aralığı 50 mm olan numunelerde 12 adet olmak üzere, her bir grup numune için toplam 20 adet etriye donatısı hazırlanmıştır.

Çizelge 4.4:Etriye kanca boyu ve kanca açıları

Etriye Grupları	Kanca Boyu (cm)	Kanca Açıları (°)
1.	8	135
2.	4	135
3.	8	112.5
4.	4	112.5
5.	8	90
6.	4	90

Ayrıca etiyelerde meydana gelecek olan yanal şekil değiştirmeyi ölçebilmek amacıyla bu donatılara şekildeğiştirmeölçer yapıştırılmıştır.

Şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmadan önce donatı yüzeyleri temizlenmiş ve zımparalanmıştır. Bu işlemden sonra ölçüm boyu uzunluğu 5 mm olan şekildeğiştirmeölçerlere yapıştırıcı sürülmüş ve donatı üzerine yapıştırılmıştır.



Şekil 4.6:Şekildeğiştirmeölçerler(Strain Gauges)

Yapıştırılan bu ölçeri izole edebilmek için N1 yapıştırıcısı iki aşamada sürülmüş önce ilk kat sürülüp bu kat kuruduktan sonra ikinci kat N1 yapıştırıcı sürülmüştür. Böylelikle ölçer tam olarak koruma altına alınmıştır.



Şekil 4.7:N-1 yapıştırıcı

Ayrıca bu iki kat yapıştırıcı üzerine de yine şekil değiştirme ölçeri dış etkenlerden korumak amacıyla M3 bandı yapıştırılmış ve donatı bağlama işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.8:3M izolasyon bandı



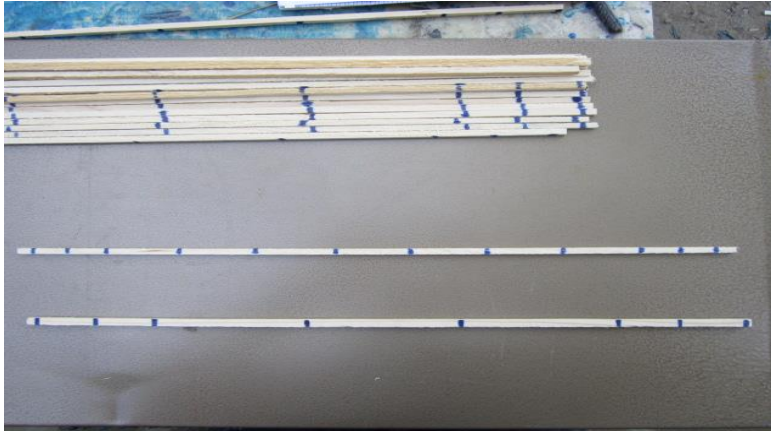
Şekil 4.9:Şekildeğiştirmeölçerli etriyeler

Böylelikle etiyeler de meydana gelecek olan yanıl şekil değıştirmeler ölçülmüş ve yanıl sargı donatılarının aksenel yükler altında gerilme-şekildeğiştirme davranışđ doğru bir şekilde öğrenilmiş olacaktır.

Çizelge 4.5:Kullanılan şekil değıştirme ölçerlerin teknik özellikleri

Tip	Ölçüm Uzunluğu(mm)	Ölçüm Faktörü
YFLA-5-3L	5	2.10 ± 2 (%)

Deneyimizin sonuçlarında boyuna donatı etkisinin olmamasını istediğimiz için etriyeler ince çıtalarla bağlanarak kalıplara yerleştirilmiştir. Bundaki amaç ise etriyelerin dizaynının bozulmaması ve kalıplar içinde daha düzgün bir doğrultuda bulunmasını sağlamaktır.



Şekil 4.10:Donatının hazırlanması aşamasında kullanılan çıtalar



Şekil 4.11:Etriyelerin çıtalarla bağlanması

4.3.2 Kalıplar

7 adet 25x25x50 cm³ ve 12 adet 25x37,5x50 cm³ boyutlarında betonarme kolon numuneler elde etmek için istenilen boyutlara uygun plywood kalıplar hazırlanmıştır.



Şekil 4.12:Kare numuneler için hazırlanan kalıplar



Şekil 4.13:Dikdörtgen numuneler için hazırlanan kalıplar

Kalıplar içinde yatay ve düşey yönde 15 mm büyüklüğünde plastik paspayları da mevcuttur. Paspayları hakkında kısaca bilgi verilecek olursa; Betonarme ile ilgili şartnamelerde net beton örtüsü adıyla anılan paspayı: "Bir beton elemanın içinde bulunan en dış donatının dışında beton bitim yerine kadar ölçülen kalınlık" olarak

tanımlanmaktadır. 1985 yılından bu yana kullanılmakta olan TS 500 standartlarında bu kalınlıkla ilgili çok ayrıntılı bilgi yoktur. Sadece 12.2.1 numaralı maddede "Kirişlerde beton ölçüsü, içteki elemanlarda 1.5 cm, dışındaki elemanlarda ise 2 cm den az olmamalıdır." biçiminde bir açıklama yapılmaktadır. Ancak Şubat 2000 tarihinde yürürlüğe giren yeni TS 500 standardında bu konuyla ilgili olarak ayrıntılı bilgiler getirilerek bir anlamda yıllardır süregelen bu boşluk önlenmiştir (Kaya).



Şekil 4.14:Kullanılan paspayları

4.3.3 Kalıpların delinmesi ve delikler için tij kullanılması

Betondaki yer değiştirme ve uzama-kısalma miktarını ölçmek için numunelerin 4 yüzeyini de alttan 10 cm yukardan, üstten 10 cm aşağıdan 10'luk matkapla kalıplar delinmiştir.



Şekil 4.15:Delinen kalıplar

Bu işlemin ardından, her bir deliğe 1 adet tij gelecek şekilde, kare numunelerde her yönde 41cm'lik, dikdörtgen numunelerde kısa kenarda 41 cm'lik uzun kenarda ise 54 cm'lik tijleri 8 cm içerde 8 cm dışarıda kalacak şekilde kalıplara yerleştirilmiştir.



Şekil 4.16: Tijlerin kalıplara yerleştirilmeden önce spiralde hazırlanması



Şekil 4.17: Tijlerin kalıplara yerleştirilmesi

4.3.4 Beton

Deneyde numuneleri üretimi aşamasında C30 hazır betonu kullanılmıştır. Beton dökümü yapılmadan önce donatıların ve paspaylarının doğru bir şekilde yerleştirilip yerleştirilmediği kontrol edilmiş ve hatalı kısımlar düzeltilmiş ve beton dökümüne hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.18:Yanal(etriye) donatısı yerleştirilen kalıplara beton dökümü

Beton döküm aşamasında betonun kalıplara iyi bir şekilde yerleşmesini sağlamak amacıyla şişleme yöntemiyle yerleştirme yapılmış bu şekilde kalıplar içinde boşluk kalmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 4.19:Beton dökümü ve şişlemenin yapılması

4.3.5 Numunenin köşelerinin pahlanması

Numune başlıklarına sağlıklı bir şekilde lifli polimer uygulanması için başlıklardan 8,5'er cm gövdeye doğru köşeler Yapı ve Deprem Mühendisliği laboratuvarında pahlama işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.20: Pahlama işlemi yapılırken

Köşeleri pahlanmış numunelerin başlıklarını sarmak için kare kesitli numuneler 220 cm, dikdörtgen kesitli numuneler için 395 cm uzunluğunda, 7,5 cm genişliğinde lif kesilmiştir.



Şekil 4.21: 7,5 cm boyunda kesilen karbon kumaş

Kesilmiş olan bu lifler daha sonra her numunenin baş kısmından ve alt kısmından pahlanmış olan 8,5 cm'lik mesafenin baş kısmından 1cm'lik mesafe bırakılarak yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı malzeme olarak ise Akresin EP 200B ve Akresin EP 200A malzemeleri kullanılmış ve bu iki malzeme ise sırasıyla $\frac{1}{4}$ oranında karıştırılmıştır. Kullanılan yapıştırıcı malzemenin karışım oranları Çizelge 4.4 'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.6:Akresin EP 200 A ve B maddeleri karışım oranları

İsim	Miktar(Kg)	Karışım Oranı(%)
AKRESİN EP 200B	1	20
AKRESİN EP 200A	4	80

Bu iki malzeme karıştırıldıktan hemen sonra sargılama işlemine geçilmiş ve önce 7 adet kare numune alttan ve üstten olmak üzere sargılanmıştır. Daha sonra ise 12 adet dikdörtgen numunelerde aynı şekilde sargılanmıştır. Sargılama yapılırken lifli polimer malzemenin sargılanan katlar arasında boşluk bırakmayacak şekilde sargılama işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.22:Karbon kumaşla 2 kat sarılan betonarme kare numuneler



Şekil 4.23:Üst kısımları sargılanmış betonarme dikdörtgen numuneler.

4.4 Deney Düzeneginin Hazirlanisi

İlk olarak beton numunelerinin döküleceğı kalıplar hazırlanmaya başlanmıştır. Plywood kullanılarak 7 adet 20x20x50 cm³ ve 12 adet 20x37,5x50 cm³ şeklinde teraziler kontrol edilerek kalıplar çakılmıştır.



Şekil 4.24: Hazırlanan kalıplar

Kalıplar çakılıp hazırlandıktan sonra, beton dökümü sırasında kalıplarda herhangi bir kayma meydana gelmemesi için hepsi terazili bir şekilde birbirine sabitlenmiştir. Normal şartlar da enine donatılar boyuna donatıya bağlanmaktadır. Ancak bu numunelerde sadece enine donatının aksenel yükler altındaki davranışı ölçüleceğinden boyuna donatı bulunmamaktadır.



Şekil 4.25: Farklı kanca açılı ve boylu etriyeler

Bu nedenle etriyelerin düzgün bir formasyonda durmasını sağlamak amacıyla etriyeler çیتالara bağlanmıştır. Bu bağlama işlemi yapıldıktan sonra etriyeler üzerine paspayları bağlanmış ve kalıplara yerleştirilmiştir. Etriyeler çeşitli açılarda, bindirme boylarında ve çeşitli mesafe aralıklarında tasarlanmıştır.



Şekil 4.26:Kalıplara konulmaya hazır yanıl(etriye) donatılar

Bu çalışmada etriyelerle beraber çirozlarda kullanılmıştır. Etriyelerle çirozların uyumu ve aksel yükler altında betonarme kolonun dayanımına ne gibi etkisinin olduğunu araştırılması amaçlanmıştır. Çirozlar genellikle etriyenin bombelenme boyunu azaltır, betonun şişmesini önler, boyuna donatının yanıl yer değıştirmesini ve burkulmasını önler (Topçu, 2008).



Şekil 4.27:Farklı kanca açılı ve boylu çirozlar

Etriyeler kalıplara yerleştirildikten sonra C30 hazır beton sipariş edilmiştir. Beton kalıplara doldurularak şişleme yöntemiyle betonun kalıplar içinde eşit oranda dağılması sağlanmıştır. Betonun yüzeyi düzeltildikten sonra priz alması için bırakılmıştır. Daha sonra 28 gün dayanımı için beklemeye başlanılmış bu süre zarfında numunenin rötire yapmaması ve çatlamaması için betonarme kolon numuneler sulanmıştır.

28 gün sonra numuneler kalıplardan çıkartılmıştır. Numunelerin başlıklarından 8,5 cm mesafesinde ovalleştirilmiştir. Bu ovalleştirmenin nedeni başlıklarda oluşacak ezilmeyi engellemek ve istenilen hasarların test bölgesinde oluşmasını sağlamak için sarılacak olan lifli polimer kumaşın sargılama işlemini kolaylaştırmak ve bu bölgelerde meydana gelecek ani yırtılmaları önlemektir. Numunelerin her bir tarafta alttan ve üstten 10 cm mesafeden 4 tarafından toplam 8 adet delik açılmıştır. Numunedeki ezilme miktarını ölçmek için kullanacağımız aletleri sabitlemek amacıyla tijler 8 cm dışarda kalacak şekilde terazili bir şekilde yerleştirilmiştir. Tijlerimizin sabitliği kontrol edildikten sonra ovalleştirdiğimiz numunelerin 7,5 cm'lik kısımlarına yapıştırıcı reçine yardımıyla lifli polimer yapıştırma işlemine geçilmiştir. İlk önce bir kat reçine sürülüp bir tur lifli polimer sarılmıştır.



Şekil 4.28:Sargılama işlemleri tamamlanmış numuneler

Daha sonra bu polimerin üzerine tekrar reçine sürülüp bir tur daha geçilmiştir. Her numunede polimer karbon kumaş sargılandıktan sonra 20 cm'lik bir bindirme boyunda bu numulere sargılanmıştır. Şekil 4.28'de sargılama işlemleri tamamlanmış ve başlık yapımına hazır numuneler gözükmektedir. Numunelerin başlıklarında

düzgün olmayan kısımlar basıncın numuneye eşit şekilde dağılması amacıyla düzeltilmiş ve Yapı Malzemesi Laboratuvarında bu numunelere başlıklar yapılmıştır.



Şekil 4.29: Numunelere başlık yapılması

Bu işlemler tamamlandıktan sonra numuneler Yapı Malzeme laboratuvarına taşınmıştır. Laboratuvarda tijlere CDP-25 transducer bağlanıp terazisi kontrol edilmiştir. Transducerlerin amacı mesafe değişimini ölçmesidir. Beton basınç almaya başladıkça belirli bir kısalma gösterecektir bu kısalma yerdeğiştirmeölçerler yardımıyla ölçülecektir. Bir numunede toplam 4 adet transducer bulunmaktadır. Numunenin yanında bağımsız olarak 4 adet transducer daha konularak bağımsız bir ölçüm yapılmış ve numunedeki dönmenin belirli bir kısmı ihmal edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.30: Teste hazır deney düzeneği

Bu transducerler data kablosu yardımıyla Data Logger'a bağlanmıştır. Data logger değişen akımlar yardımıyla topladığı bilgiyi bilgisayara aktarmada kullanılmaktadır.



Şekil 4.31:Veri toplayıcı

Numuneler INSTRON test cihazına yerleştirilerek metre yardımıyla ortalanmış ve numunelerin boyu ve tijler arasındaki mesafeler ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra bütün transducerlerin çalışması kontrol edilip kanal kontrolü yapılmıştır. Kanal kontrolleri bittikten sonra sorun olmadığı için numune sıkıştırılarak basınç verme işlemine başlandı.

Basınçlar veri toplayıcı çalıştırılarak CDP'lerin mesafe değişimi ölçülmüştür. Bu datalar toplanarak kelime işlem yazılımı yardımıyla gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir.

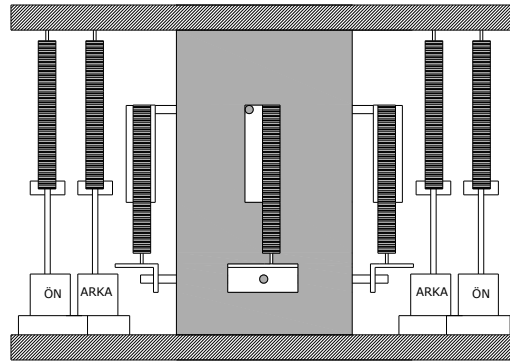
4.5 Ölçüm Sistemi

Hazırlanan numuneler üzerindeki deneyler İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan Instron basınç cihazıyla yapılmıştır. Satec 1000RD, yük veya yerdeğiştirme kontrollü olarak, kapalı çevrim yükleme yapabilen 500 ton kapasiteli bir cihazdır, Şekil 4.32. Deneylerde cihazın izleyeceği yükleme adımları ve hızı Instron tarafından sağlanan Bluehill 2 yazılımı ile hazırlanmıştır. Deney numunelerinin başlıklarının ezilmesi veya deney aleti ile numune arasındaki boşluklar sebebiyle cihazın kendi ölçümleri, gerçek değerler ile aralarında oluşabilecek farklar düşünülerek sadece dışarıdan alınan ölçümlerin kontrolü amacıyla değerlendirildi. Deney sonuçlarında dikkate alınan değerler numune üzerinden alınan ölçümlerdir.



Şekil 4.32: 500 ton kapasiteli Instron test cihazı

Deneylerde, numune üzerinde düşey doğrultularda oluşan yer değiştirmeler ve bu değerlere karşılık gelen yük değerleri ölçüldü. Yer değiştirmeler, 200 mm'den ölçüm yapabilen 4 yer değiştirme ölçerle numune üzerinden ve 4 tane de numunenin tüm boyundan ölçüm yapabilen CDP-25'ler ile yapılmıştır. Şekildeğiştirme ölçümleri ise numune içinde bulunan merkez yanal donatıdan ölçülmüştür. Şekildeğiştirmeölçerlerin ölçüm boyu 5 mm' dir. Test düzeneğinin genel görünümü şekil 4.33' de verilmiştir. Şekildeğiştirmeölçerler ve yerdeğiştirmeölçerlerin ölçümleri TDS-303 elektronik veri toplama aleti ile toplanmış ve kaydedilmiştir. Deney aletinin ölçümleri sisteme bağlı olan bilgisayar ile dış ölçümler ile karşılaştırma yapabilmek için kaydedilmiştir. Deney verilerinin işlenmesinde yükleme sisteminden alınan değerler kullanılmamıştır.



Şekil 4.33:Deney düzeneği genel görünüm

Yüksek hızda yükleme yapılan deneylerde sağlıklı ölçüm alabilmek için ölçüm aletleri elektronik veri toplama aletine tepki hızlarına göre sıralanarak bağlanmıştır, Çizelge 4.7.

Çizelge 4.7: Ölçüm aletlerinin özellikleri

Ölçüm Aleti	Tepki Hızı	Ölçüm Boyu/Kapasitesi
YFLA-5-3L	10 Hz	5 mm
CDP-25	8 Hz	25 mm

Dikdörtgen numunelerde 8 tane yerdeğiştirmeölçer ve 3 tanede şekildeğiştirmeölçer kullanıldığı ve TDS-303 aletindeki kanal sayısı yetersiz kaldığı için bir çoğaltma kutusundan yararlanılmıştır, Şekil 4.34.



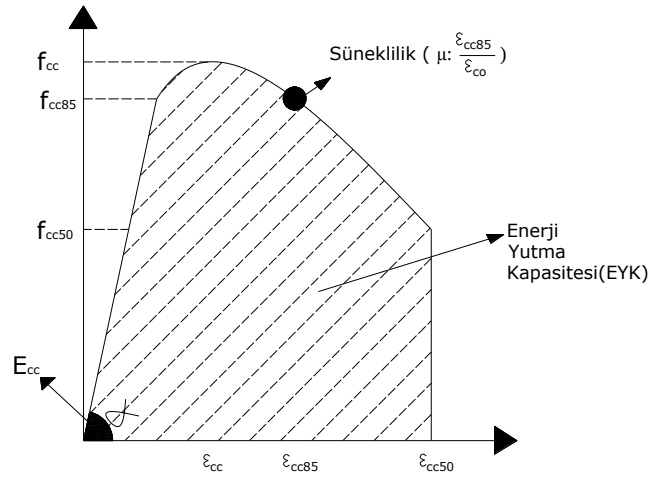
Şekil 4.34: Deney ortamı genel görünüş

Numuneler ile deney aleti arasındaki sürtünme kuvvetini azaltmak amacıyla numunenin iki yüzüne çelik plakalar yerleştirilmiştir. Deneylere başlanmadan kare numunelere 94 kN, dikdörtgen numunelere 140 kN ön yük verilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

5.1 Giriş

Bu bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar her seri için ayrı olarak sunulmuştur. Özdeş numuneler aynı başlık altında incelenmiş, deney sonuçlarından elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiş ve gerekli yorumlamalar bu ilişkiye dayanılarak gerekli yorumlamalar yapılmıştır. Numunelerin E_{cc} değerleri f_{cc} değerinin %5'i ile %45'i arasında kalan bölümden, gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolundan elde edilmiştir. Süneklik(μ) ifadesi ise ϵ_{cc85} sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolu üzerinde dayanımının % 85'ine karşı gelen şekildeğiştirmenin , ϵ_{c0} ise sarılmamış betonda dayanımına karşı gelen şekil değiştirmeye oranı olarak hesaplanmıştır. E^* (enerji yutma kapasitesi) ifadesi ise gerilme-şekildeğiştirme ifadesinde düşen koldaki şekildeğiştirmenin %50 dahil olmak üzere grafiğin altında kalan alanın hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Şekil 5.1'de bu değerlerin nasıl hesaplandığı belirtilmiştir.

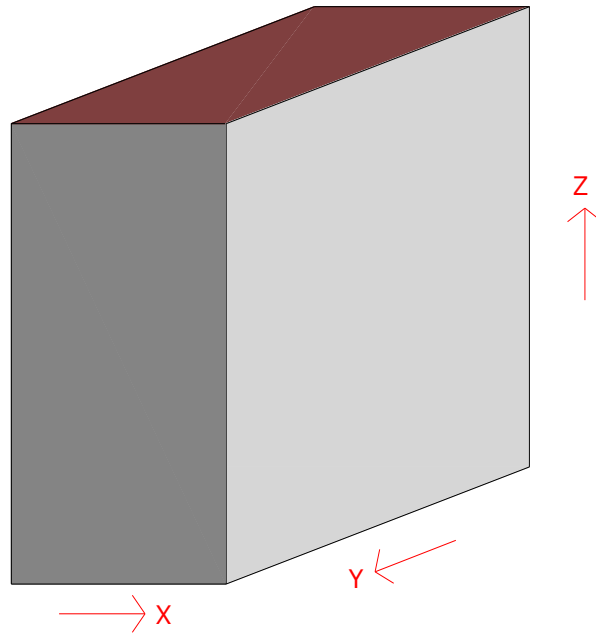


Şekil 5.1: Süneklik ve enerji yutma kapasitesinin(EYK) hesaplanması

Kare numunelerde karşılaştırmalar referans numuneye göre her seri kendi içerisinde, dikdörtgen numunelerde ise karşılaştırmalar aynı parametreye sahip olan numuneler

arasında yapılmıştır. Grafiklerde düşey eksen gerilme (f_{cc}) değerini, yatay eksen ise düşey şekil değiştirmeyi (ϵ_{cc}) göstermektedir. Ayrıca deney sonucunda elde edilen gerilme değerlerinin tümü maksimum gerilmeye bölünerek normalize edilmiş ve karşılaştırmalar buna göre yapılmıştır.

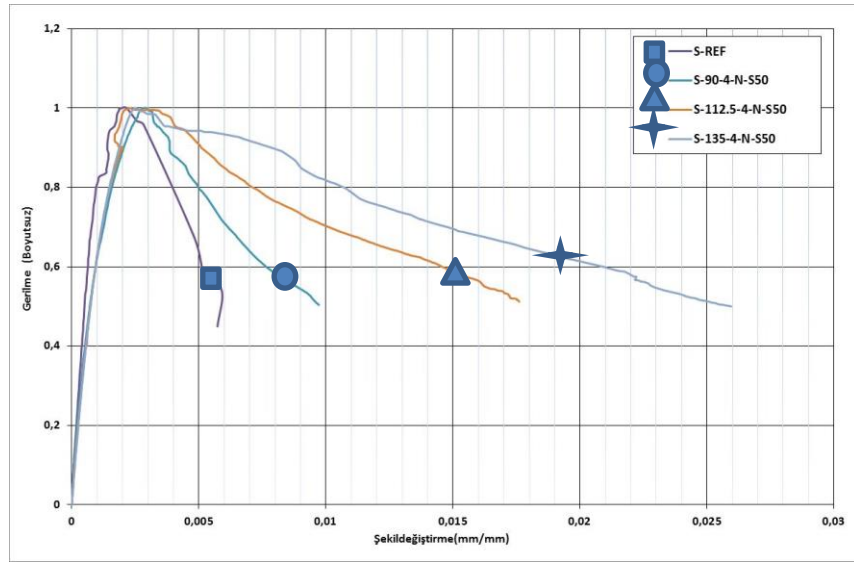
Hazırlanan 7 adet kare ve 12 adet dikdörtgen numune aynı yükleme hızı(0.4mm/dak.) ve aynı koşullar altında denenmiş ve çıkan sonuçlar neticesinde gerekli yorumlamalar yapılmıştır. Test sonuçlarının işlendiği tabloda her bir numuneye ait gerekli tüm değerler bulunmaktadır. Bu çizelgelerde bulunan f_{cc} değeri numunenin test sonucunda oluşan maksimum gerilmeyi, ϵ_{cc} değeri sargılı betonarme numunenin şekil değiştirmesini, E_{cc} değeri Sargılı betonun elastisite modülünü, $\epsilon_{str-ort}$ değeri ise merkez enine donatıda bulunan şekil değiştirme ölçerlerden elde edilen maksimum şekil değiştirme değeri ortalamasını, μ değeri sünekliliği ve E^* ise enerji yutma kapasitesini(EYK) göstermektedir. Ayrıca dikdörtgen numunelerde çirozlar bulunduğu için merkez çiroz donatısındaki şekil değiştirme ölçülmüş ve çizelgeye ϵ_{cir} olarak eklenmiştir. Numunenin eksenel yönleri sırasıyla b(mm) X eksenine paralel, d(mm) Y eksenine paralel, h(mm) ise Z eksenine paralel olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.2’de numunelerin boyutları görülmektedir.



Şekil 5.2: Numunenin eksenel yönleri

5.2 S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 Numuneleri

Kare numunelerin ilk serisini oluşturan bu 4 adet deney numunesi aynı beton sınıfı, aynı kanca boyu, aynı yatay donatı ve etriyeler arasındaki mesafeler aynı olup, aynı koşullarda test edilmiştir. Referans numune dahil tüm numuneler 0.4 mm/dakika yükleme hızı ile denenmişlerdir. Numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, Şekil 5.3, deney sonrası bilgileri, Çizelge 5.1, ve görünüşleri aşağıda verilmiştir, Şekil 5.4.



Şekil 5.3: S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Gerilme değerleri, birim gerilmeye çevrilerek, gerilme-şekildeğiştirme grafikleri elde edilmiş ve karşılaştırmalar bu duruma göre yapılmıştır. Yukarıdaki grafikte tüm özelliklerini aynı ancak etriye kanca açıları farklı olan numuneler test edilmiş ve Çizelge 6.1'deki sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre, sargılı betonun basınç dayanımı, sargısız betonun basınç dayanımından daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla sargı donatısı betonun basınç dayanımını arttırmaktadır. Süneklilik ve enerji yutma kapasitesi açısından karşılaştırmaya bakacak olursak, sargılanma oranı arttıkça betonarme kolon numunelerinin süneklilik değeri artmış ve numune daha sünek davranış göstermiştir. Betonarme kolon numunelerinin eksenel yükler altında sargılanma oranına bağlı olarak sünek davranış göstermesi, bu numunelerin süneklilik oranına paralel olarak daha fazla enerji yutmasını sağlamıştır. Örneğin S-135-4-N-S50 numunesinin süneklilik ve enerji yutma kapasitesi oranlarında, S-ref

numunesine göre sırasıyla %143 ve %140'lik bir artış meydana gelmiştir. Buda sargı donatısının süneklilik ve enerji yutma kapasitesi üzerindeki etkisini göstermektedir.

Çizelge 5.1: S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 numunelerinin deney bilgileri

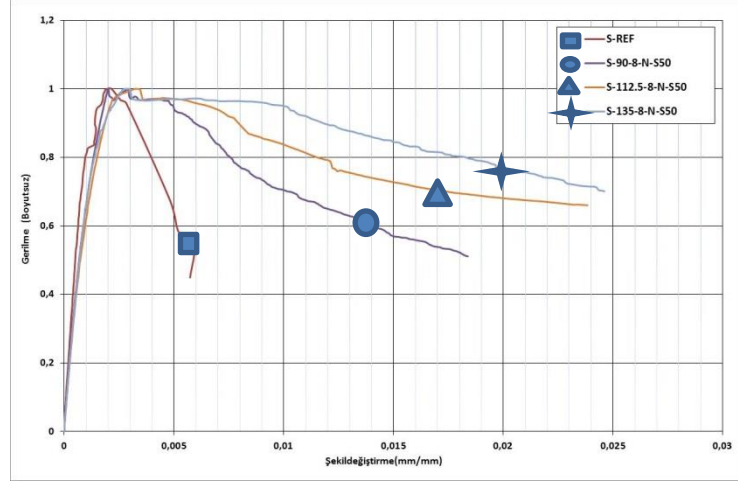
Numune Adı	f_{cc}	ϵ_{cc}	E_{cc}	$\epsilon_{str-ort}$	μ	E^*
S-Ref	35.60	0.0023	31935.40	-	1.85	0.176
S-90-4-N-S50	38.00	0.0026	28399.42	0.001	2.20	0.210
S-112.5-4-N-S50	37.30	0.0023	26266.76	0.003	2.95	0.281
S-135-4-N-S50	36.00	0.0022	31940.89	0.002	4.50	0.428



Şekil 5.4: Sırasıyla S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50 numunelerinin deney sonrası görünüşleri

5.3 S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 Numuneleri

Kare numunelerin, referans numuneyle beraber ikinci serisini oluşturan bu 4 adet deney numunesi aynı beton sınıfı, aynı kanca boyu, aynı yatay donatı ve etriyeler arasındaki mesafeler aynı olup, aynı koşullarda test edilmiştir. Referans numune dahil tüm numuneler 0.4 mm/dakika yükleme hızı ile denenmişlerdir. Numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, Şekil 5.5, deney sonrası bilgileri, Çizelge 5.2, ve görünüşleri aşağıda verilmiştir, Şekil 5.6.



Şekil 5.5: S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Numunelere ait deney sonuçları, Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, betonarme kolon numunelerde bulunan etriyelerin kanca açısı ve kanca boyuna bağlı olarak numunenin dayanım, süneklilik, enerji yutma kapasitesinde artışlar meydana gelmiştir. S-135-8-N-S50 numunesi, referans ve diğer numunelere göre daha sünek davranış göstermiş ve daha fazla enerji hapsedmiştir. Ayrıca yine deney sonuçlarından da anlaşıldığı gibi, aynı özelliklere sahip olan iki numuneden kanca boyu büyük olan numune dayanım, süneklilik ve EYK bakımından daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlarla beraber sargılı betonun dayanım, süneklilik ve EYK’ında artışların meydana gelmesinde etriyenin kanca açısı ve boyunun etkili olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca referans numuneye göre S-135-8-N-S50 numunesinin süneklilik ve EYK’ında sırasıyla %290 ve %289’luk artış meydana gelmiştir.

Çizelge 5.2: S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 deney bilgileri

Numune Adı	f_{cc}	ϵ_{cc}	E_{cc}	$\epsilon_{str-ort}$	μ	E^*
S-Ref	35.60	0.0023	31935.40	-	1.85	0.176
S-90-8-N-S50	39.50	0.0024	28423.25	0.0017	3.35	0.318
S-112.5-8-N-S50	39.20	0.0031	28874.57	0.0012	4.65	0.442
S-135-8-N-S50	44.80	0.0023	27428.14	0.0013	7.20	0.685

Deney sırasında kare numuneler, eksenel yüke maruz kaldıkça şekil değiştirmede artışlar meydana gelmekte ve aynı zamanda numune yüzeylerinde ilk yük

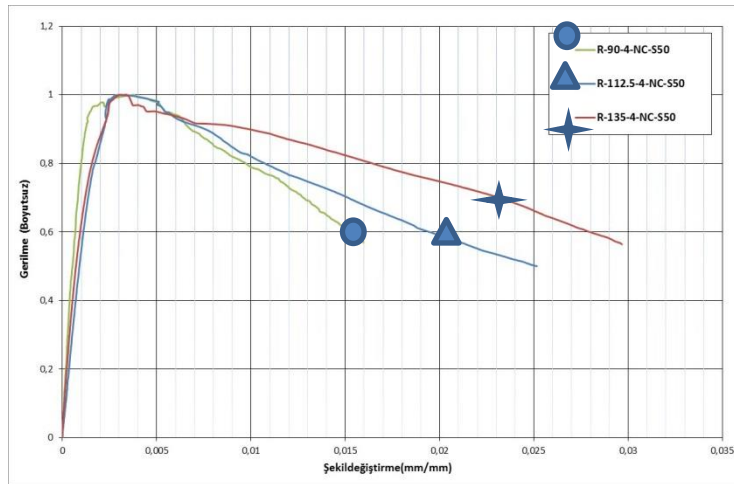
durumlarında kılcal çatlaklar, daha sonraki aşamalarda ise derin çatlaklar meydana gelmektedir. Deney sonrası görüntüler Şekil 5.6’te verilmiştir.



Şekil 5.6: Sırasıyla S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50 deney sonrası görünüşleri

5.4 R-90-4-NÇ-S50, R-112.5-4-NÇ-S50, S-135-4-NÇ-S50 Numuneleri

Dikdörtgen numunelerin ilk serisini oluşturan bu 3 adet deney numunesi aynı beton sınıfı, aynı kanca boyu, aynı yatay donatı ve etriyeler arasındaki mesafeler aynı olup, aynı koşullarda test edilmiştir. Referans numune dahil tüm numuneler 0.4 mm/dakika yükleme hızı ile denenmişlerdir. Numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, Şekil 5.7 deney sonrası bilgileri, Çizelge 5.3 ve görünüşleri aşağıda verilmiştir, Şekil 5.8.



Şekil 5.7: R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Deney sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, tüm özellikleri aynı olan numunelerde kanca açısı büyük olan numunede sargılanma daha fazla olmuştur. Bunun sonucu olarak eksenel yükler altında betonarme kolon numuneler daha sünek davranış göstermiş, basınç dayanımı artmış ve EYK'sında hatırı sayılır artışlar meydana gelmiştir. Örnek olarak R-135-4-NC-S50 numunesinin, R-90-4-NC-S50 numunesine göre süneklilik ve EYK'sında sırasıyla %67 ve %66 artışlar olmuştur. Buda enine donatı kanca açısının ve boyunun betonarme kolonlarda, sargılanmayı, sünekliliği ve EYK'yı arttırmada etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Çizelge 5.3: R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 deney bilgileri

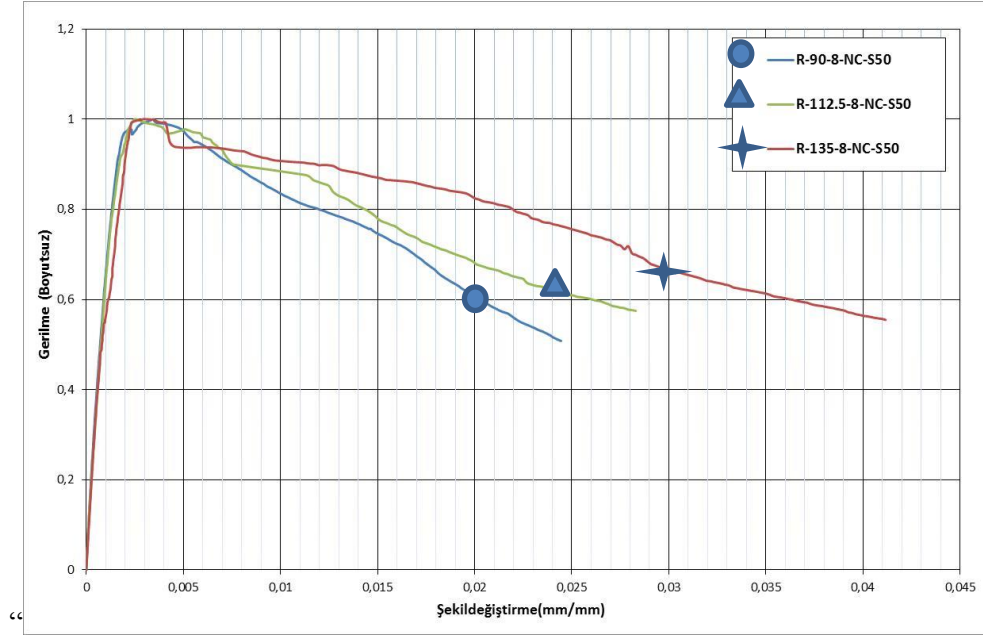
Numune Adı	f_{cc}	ϵ_{cc}	E_{cc}	$\epsilon_{str-ort}$	ϵ_{cir}	μ	E^*
R-90-4-NC-S50	42.33	0.00210	25783.04	0	0.0512	3.95	0.200
R-112.5-4-NC-S50	40.99	0.0019	24848.30	0.0020662	0.0025	4.35	0.220
R-135-4-NC-S50	41.78	0.0028	26337.15	0.0013552	0.0327	6.60	0.334



Şekil 5.8: Sırasıyla R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 deney sonrası görünüşleri

5.5 R-90-8-NÇ-S50, R-112.5-8-NÇ-S50, R-135-8-NÇ-S50 numuneleri

Dikdörtgen numunelerin ikinci serisini oluşturan bu 3 adet deney numunesi aynı beton sınıfı, aynı kanca boyu, aynı yatay donatı ve etriyeler arasındaki mesafeler aynı olup, aynı koşullarda test edilmiştir. Referans numune dahil tüm numuneler 0.4 mm/dakika yükleme hızı ile denenmişlerdir. Numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, Şekil 5.9, deney sonrası bilgileri, Çizelge 5.4, ve görünüşleri aşağıda verilmiştir, Şekil 5.10.



Şekil 5.9 :R-90-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50, R-135-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Deney sonuç bilgileri Çizelge 5.4’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, tüm özellikleri aynı sadece enine donatı kanca açıları farklı olan numunelerde, kanca açısı büyük olan numune daha sünek davranış göstermiştir. Örnek olarak R-135-8-NC-S50 numunesinin, R-90-8-NC-S50 numunesine göre süneklik ve EYK’ında sırasıyla %92 ve %92’lik artışlar meydana gelmiştir. Yine deney sonuçlarına dayanarak tüm dikdörtgen numuneler arasında, dayanım, süneklik, EYK açısından en iyi sonuçları veren numune R-135-8-NC-S50 numunesi olmuştur. Bu durum sargılanma etkisini arttırmak, daha sünek ve EYK’sı daha iyi bir betonarme kolon numune imal etmek için seçilmesi gereken kanca açısı, boyu ve enine donatılar arası mesafenin sırasıyla 135°, 80 mm ve 50 mm olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Çizelge 5.4: R-90-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50, R-135-8-NC-S50 deney bilgileri

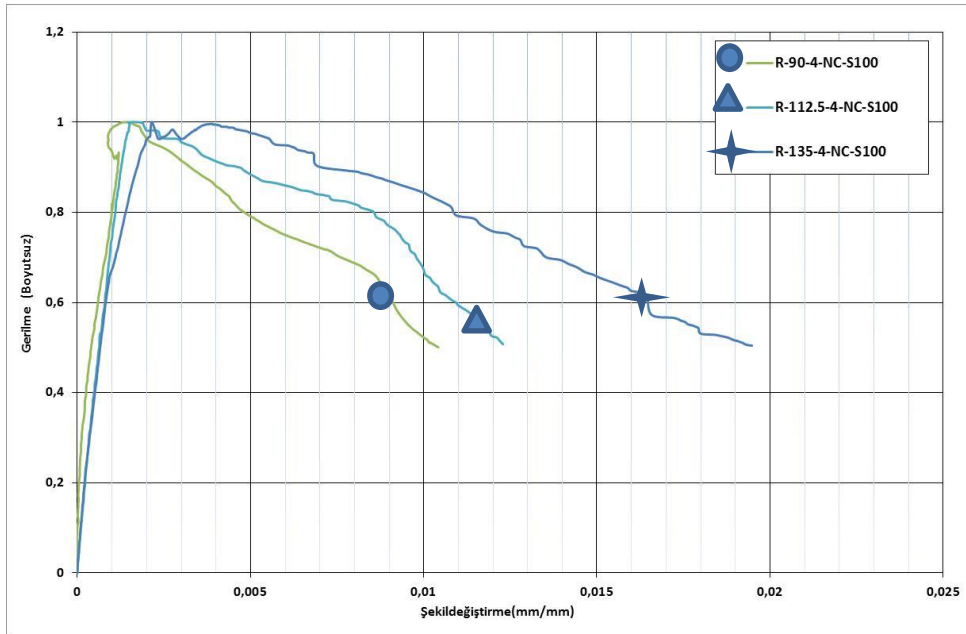
Numune Adı	f_{cc}	ϵ_{cc}	E_{cc}	$\epsilon_{str-ort}$	ϵ_{cir}	μ	E^*
R-90-8-NC-S50	41.59	0.0029	25661.79	0.0025071	0.0003	4.55	0.490
R-112.5-8-NC-S50	37.80	0.0017	25974.50	0.001375	0.0027	6.15	0.662
R-135-8-NC-S50	41.57	0.0025	25837.40	0.000995	0.0032	8.75	0.942



Şekil 5.10: Sırasıyla R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50 deney sonrası görünüşleri

5.6 R-90-4-NÇ-S100, R-112.5-4-NÇ-S100, S-135-4-NÇ-S100 Numuneleri

Dikdörtgen numunelerin üçüncü serisini oluşturan bu 3 adet deney numunesi aynı beton sınıfı, aynı kanca boyu, aynı yatay donatı ve etriyeler arasındaki mesafeler aynı olup, aynı koşullarda test edilmiştir. Referans numune dahil tüm numuneler 0.4 mm/dakika yükleme hızı ile denenmişlerdir. Numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, Şekil 5.11 deney sonrası bilgileri, Çizelge 5.5, ve görünüşleri aşağıda verilmiştir, Şekil 5.12.



Şekil 5.11: R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Deney sonuçları Çizelge 5.5’de verilmiştir. Sadece kanca açıları farklı olan numunelerin aksel yükler altında denenmesi sonucunda kanca açısı büyük olan numunelerin süneklik ve EYK’ında artışlar meydana gelmiştir. Örnek olarak R-135-4-NC-S100 numunesinin, R-90-4-NC-S100 ve R-112.5-4-NC-S100 numyelerine göre süneklik ve EYK’ında sırasıyla %140,%52 ve %140 ve %52 oranında artışlar meydana gelmiştir.

Çizelge 5.5: R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100 deney bilgileri

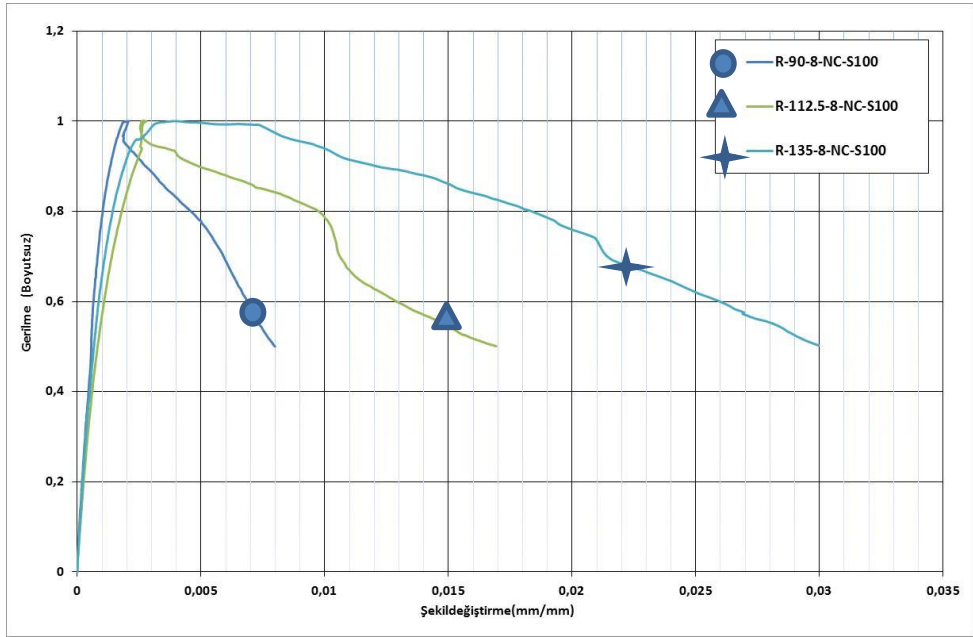
Numune Adı	f_{cc}	ε_{cc}	E_{cc}	$\varepsilon_{str-ort}$	ε_{cir}	μ	E^*
R-90-4-NC-S100	34.68	0.0018	24693.65	0.00294	0.0015	2.03	0.390
R-112.5-4-NC-S100	37.87	0.0018	29654.99	0.00168	0.0025	3.23	0.621
R-135-4-NC-S100	35.50	0.0021	28162.57	0.001124	0.0020	4.89	0.940



Şekil 5.12: Sırasıyla R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100 deney sonrası görünüşleri

5.7 R-90-8-NÇ-S100, R-112.5-8-NÇ-S100, S-135-8-NÇ-S100 Numuneleri

Dikdörtgen numunelerin dördüncü serisini oluşturan bu 3 adet deney numunesi aynı beton sınıfı, aynı kanca boyu, aynı yatay donatı ve etriyeler arasındaki mesafeler aynı olup, aynı koşullarda test edilmiştir. Referans numune dahil tüm numuneler 0.4 mm/dakika yükleme hızı ile denenmişlerdir. Numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, Şekil 5.13, deney sonrası bilgileri, Çizelge 5.6, ve görünüşleri aşağıda verilmiştir, Şekil 5.14.



Şekil 5.13 :R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Deney sonuç bilgileri Çizelge 5.6’de verilmiştir. Kanca açıları farklı olan numunelerde, bu değişkene bağlı olarak numunelerin süneklik ve EYK’sında artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca genel sonuçları göz önünde bulundurursak, süneklik ve EYK üzerinde etkili diğer parametrede etriyeler arasındaki mesafelerdir. Bu mesafe ne kadar küçükse numune o kadar iyi sargılanmış ve daha kompakt davranış göstermiştir.

Çizelge 5.6: R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100 deney bilgileri

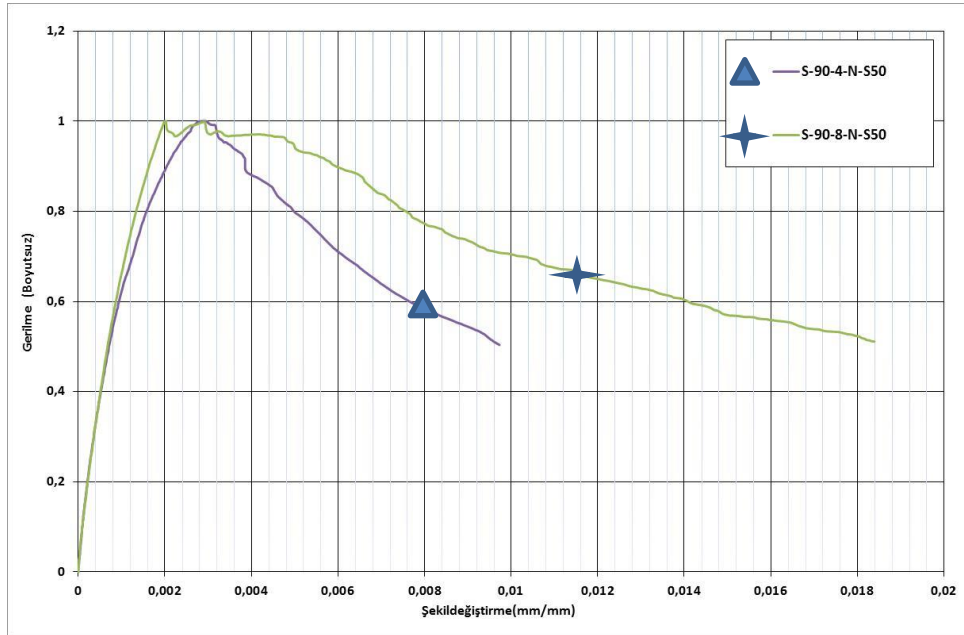
Numune Adı	f_{cc}	ϵ_{cc}	E_{cc}	$\epsilon_{str-ort}$	ϵ_{cir}	μ	E^*
R-90-8-NC-S100	36.75	0.0014	23963.35	0.00141	0.0024	1.70	0.402
R-112.5-8-NC-S100	38.60	0.0026	25900.77	0.00174	0.0025	3.60	0.851
R-135-8-NC-S100	37.53	0.0021	25928.92	0.002001	0.0049	7.67	1.800



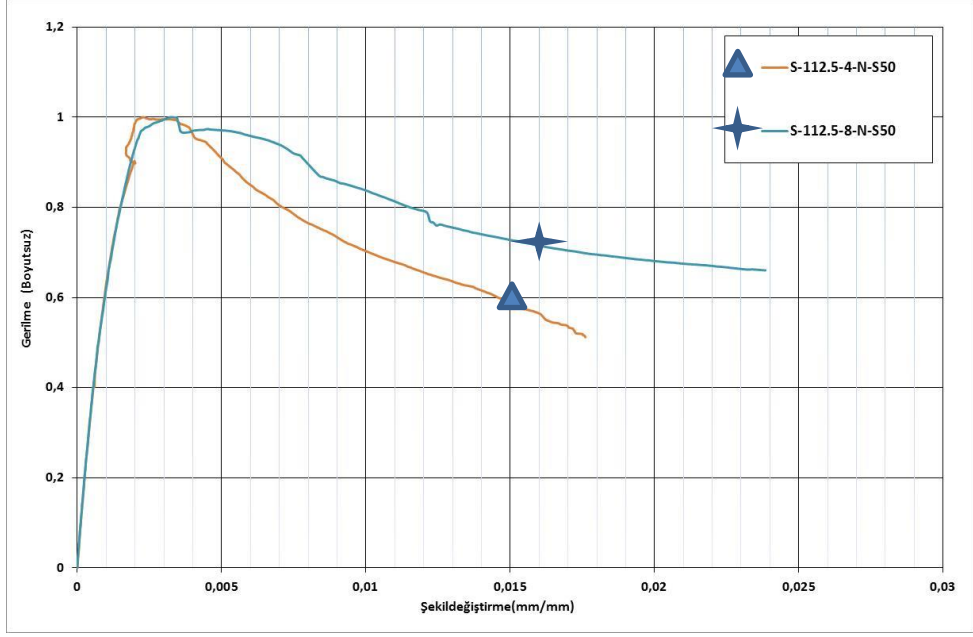
Şekil 5.14: Sırasıyla R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100 deney sonrası görünüşleri

5.8 S-90-(4-8)-N-S50, S-112.5-(4-8)-N-S50, S-135-(4-8)-N-S50, R-90-(4-8)-NC-S50, R-112.5-(4-8)-NC-S50, R-135-(4-8)-NC-S50, R-90-(4-8)-NC-S100, R-112.5-(4-8)-NC-S100, R-135-(4-8)-NC-S100 Numunelerinin İkili Karşılaştırılması

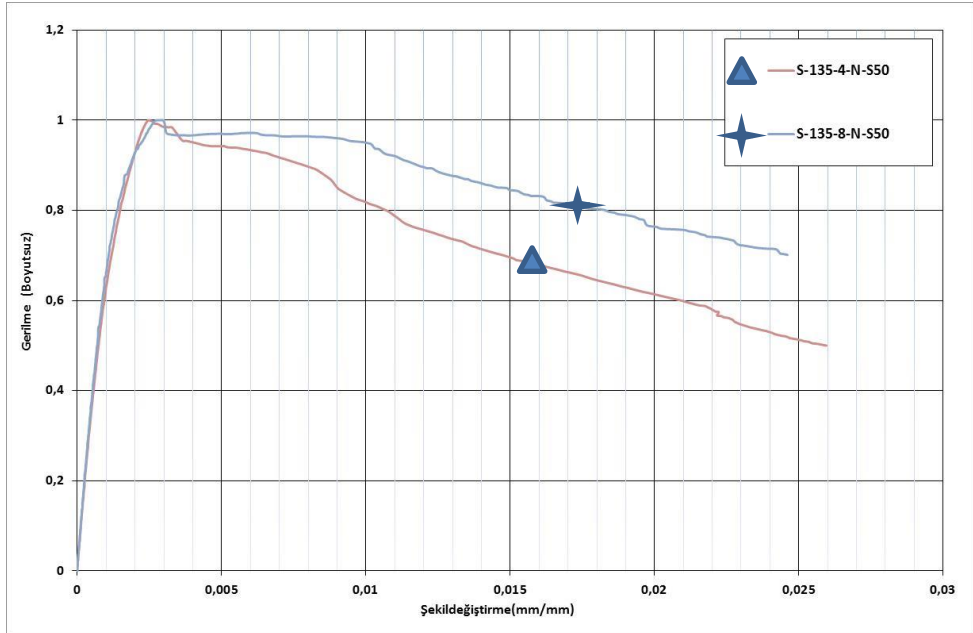
Bu başlık altında, kare ve dikdörtgen numunelerde değişkenin sadece kanca boyu olduğu ilişkiler sırasıyla verilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda, değişkenlerin aynı olduğu tüm numunelerde, kanca boyu büyük olan numuneler süneklik ve dayanım açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Buda kanca boyunun betonarme kolon numunelerde sargılanma oranının arttırılmasında etkili olduğunu ortaya koymuştur.



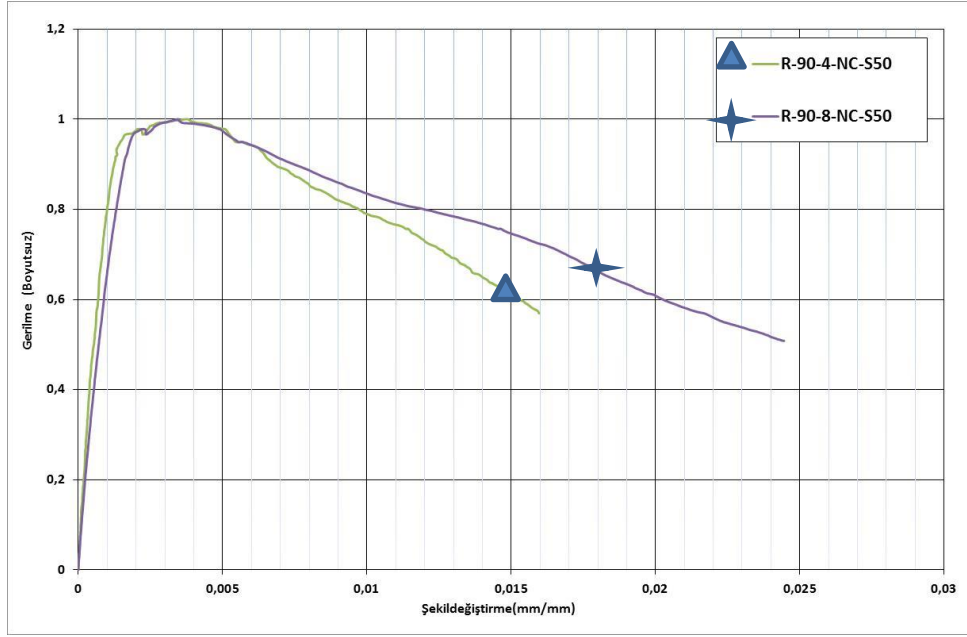
Şekil 5.15: S-90-4-N-S50, S-90-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



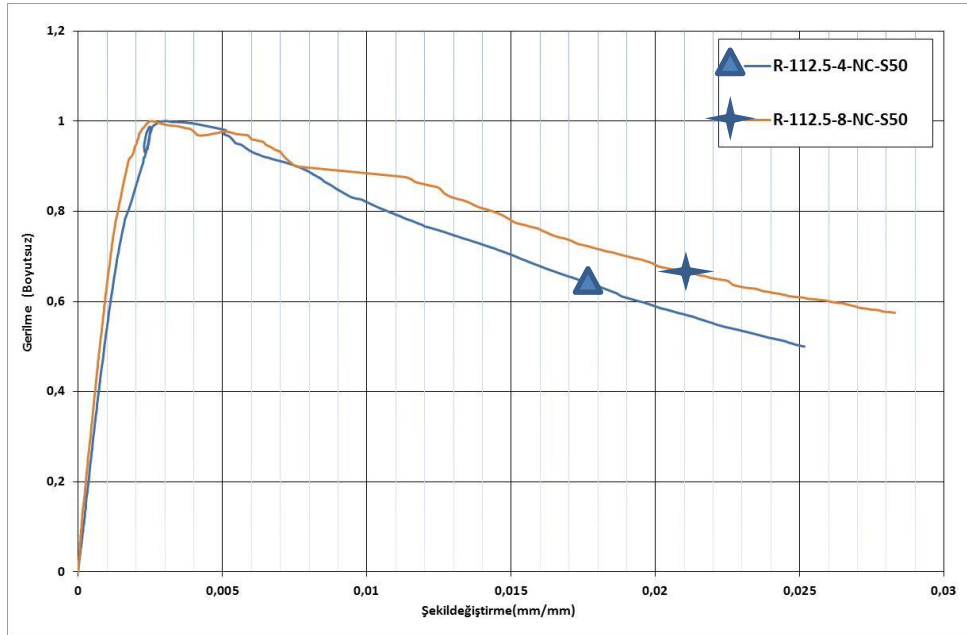
Şekil 5.16: S-112.5-4-N-S50, S-112.5-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



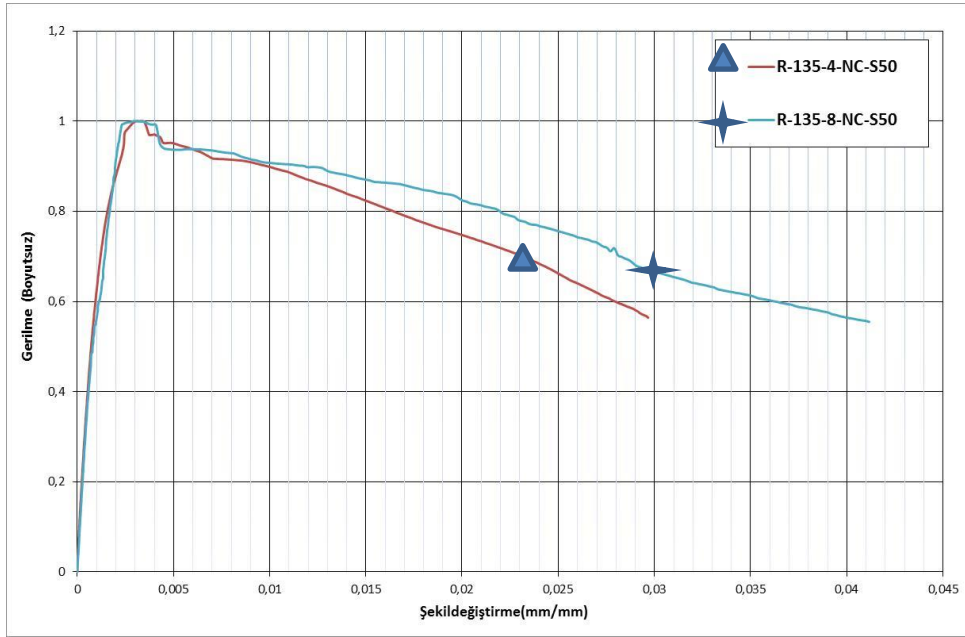
Şekil 5.17: S-135-4-N-S50, S-135-8-N-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



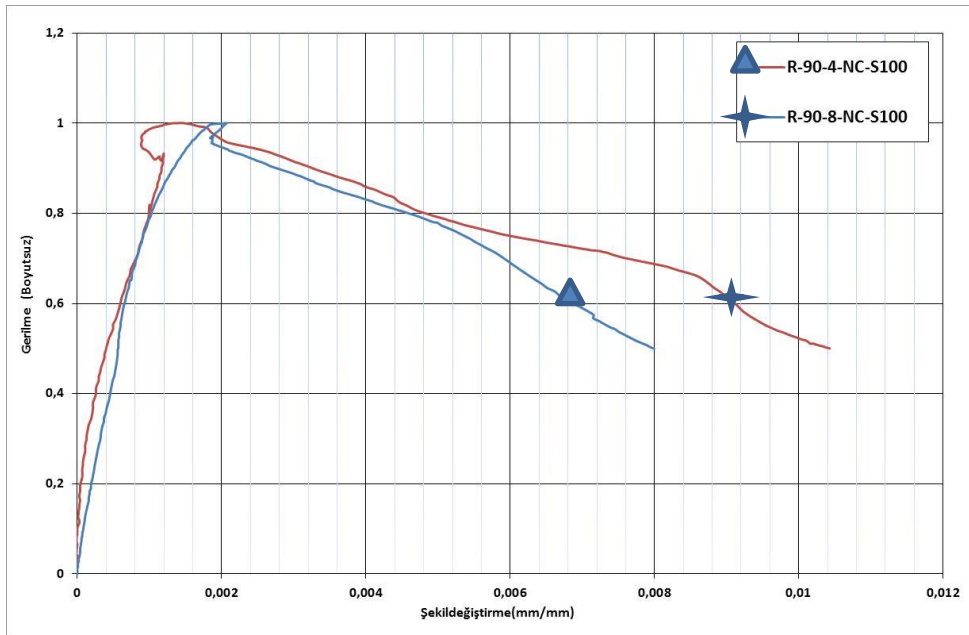
Şekil 5.18: R-90-4-NC-S50, R-90-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



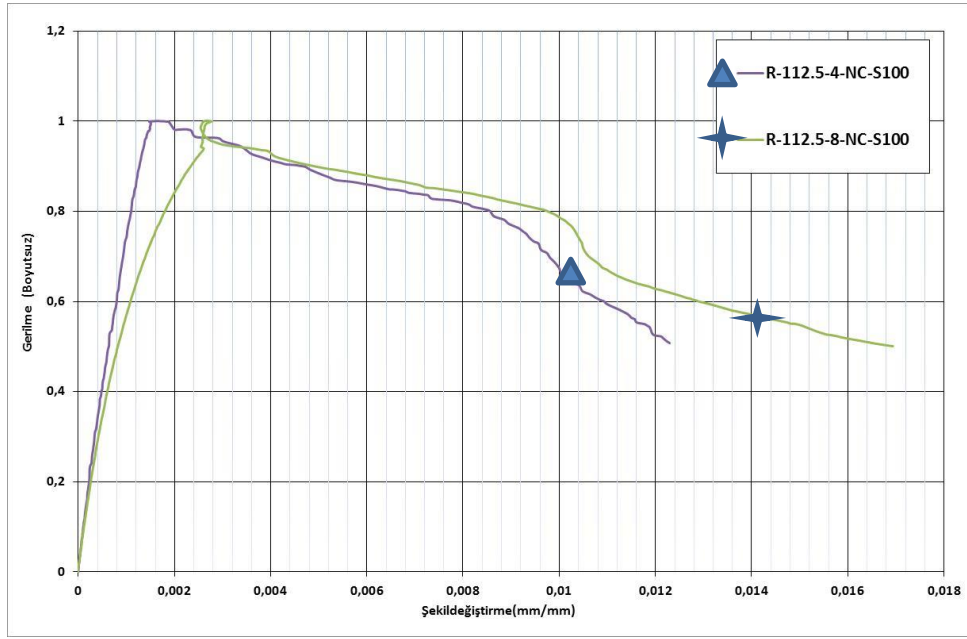
Şekil 5.19: R-112.5-4-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



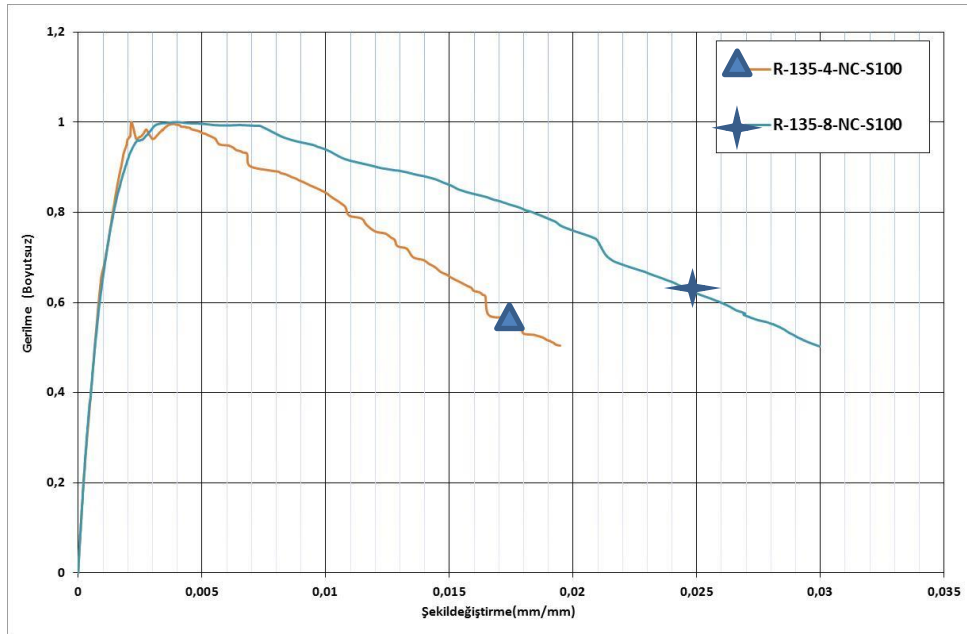
Şekil 5.20: R-135-4-NC-S50, R-135-8-NC-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 5.21: R-90-4-NC-S100, R-90-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 5.22: R-112.5-4-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

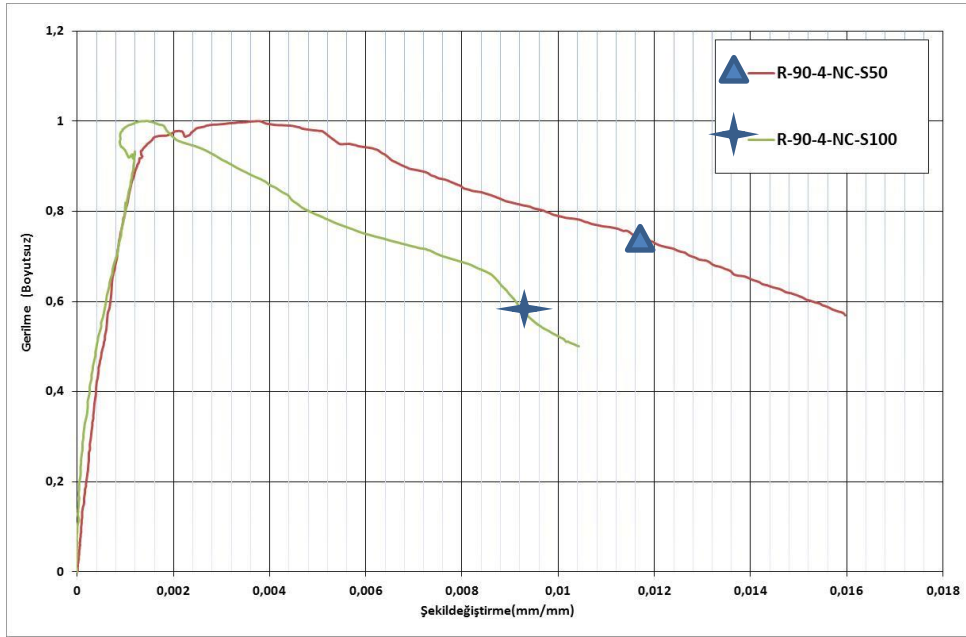


Şekil 5.23: R-135-4-NC-S100, R-135-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

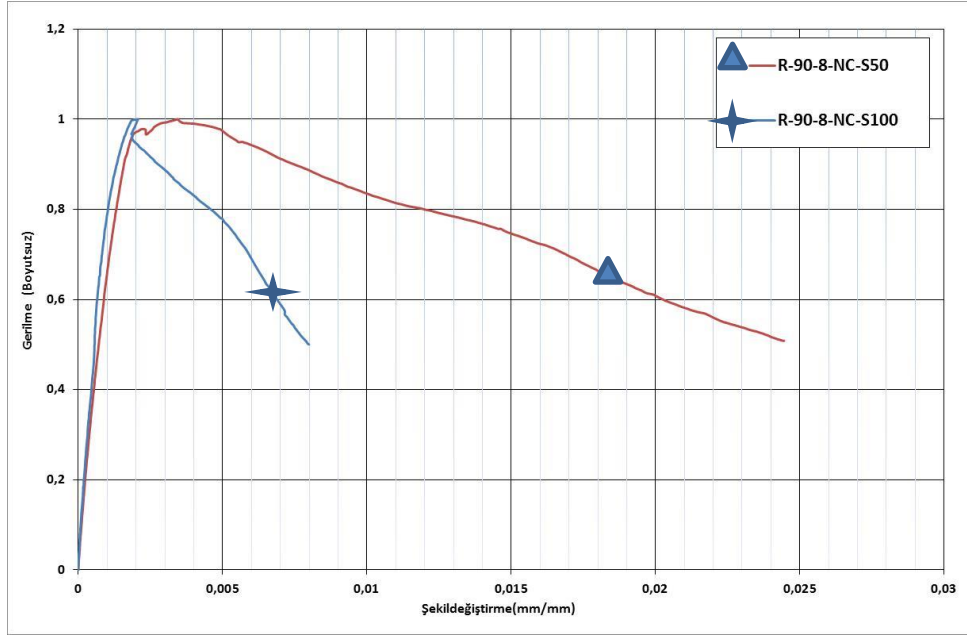
5.9 R-90-4-NC-S(50-100), R-90-8-NC-S(50-100), R-112.5-4-NC-S(50-100), R-112.5-8-NC-S(50-100), R-135-4-NC-S(50-100), R-135-8-NC-S(50-100)

Numunelerinin İkili Karşılaştırılması

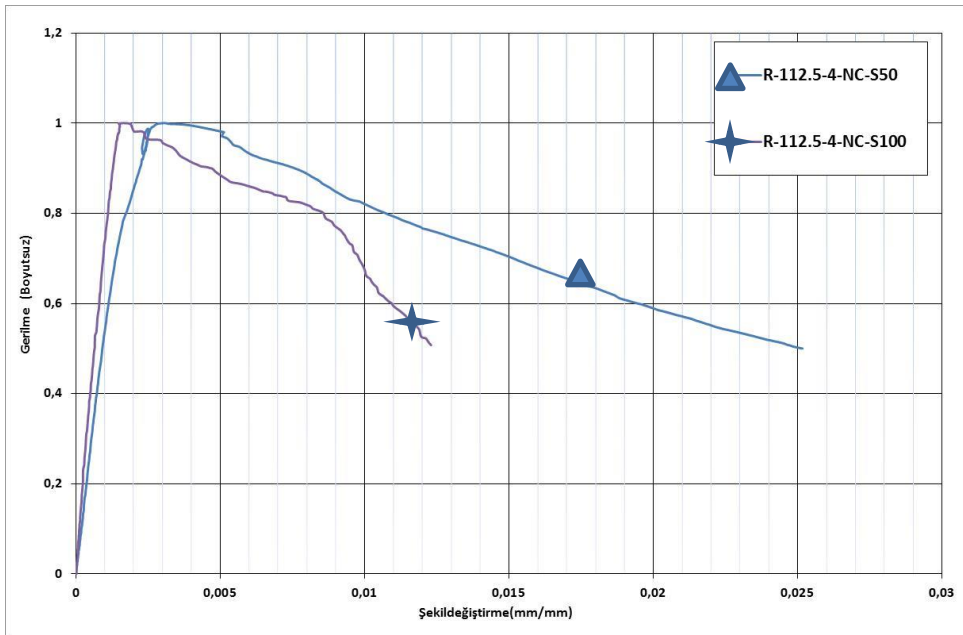
Bu başlık altında, bütün özellikleri aynı olan yalnızca etriyeler arasındaki mesafelerin değiştiği dikdörtgen numuneler arasında karşılaştırma yapılmış ve etriyeler arasındaki mesafenin etkinliğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Test sonuçları, etriyeler arası mesafenin betonarme kolon numunelerinin sargılanması ve daha kompakt bir davranış göstermesine olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Aynı özelliklere sahip iki numuneden etriyeler arası mesafesi daha az olan numune daha sünek davranış göstermiş ve daha fazla enerji hapsedmiştir.



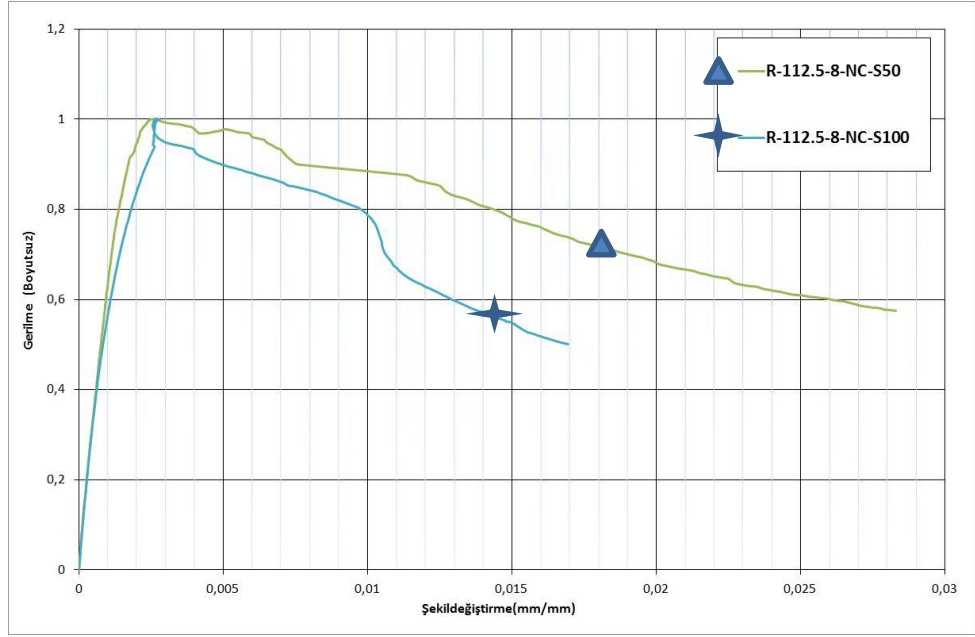
Şekil 5.24: R-90-4-NC-S50, R-90-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



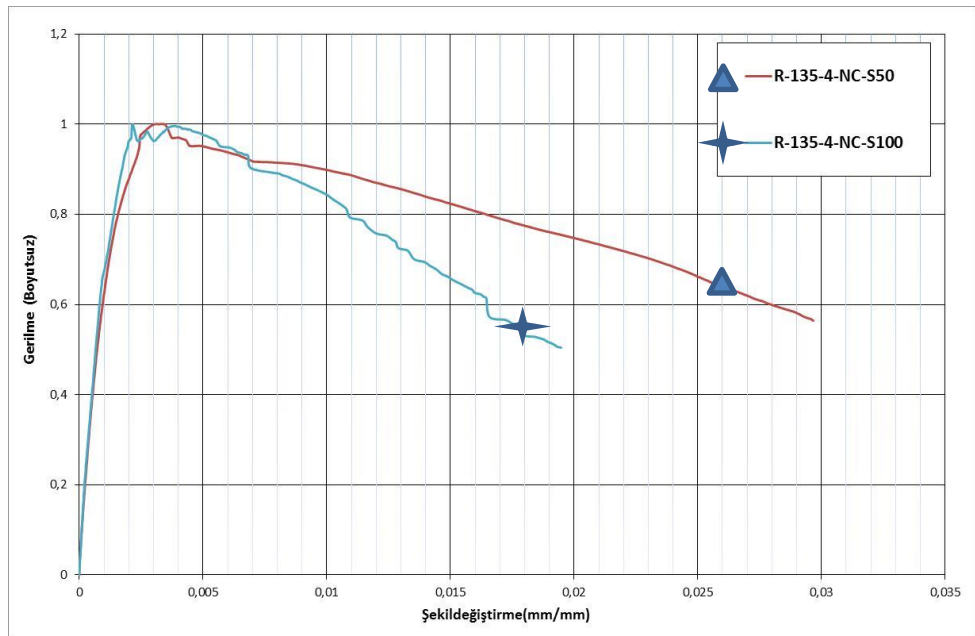
Şekil 5.25: R-90-8-NC-S50, R-90-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



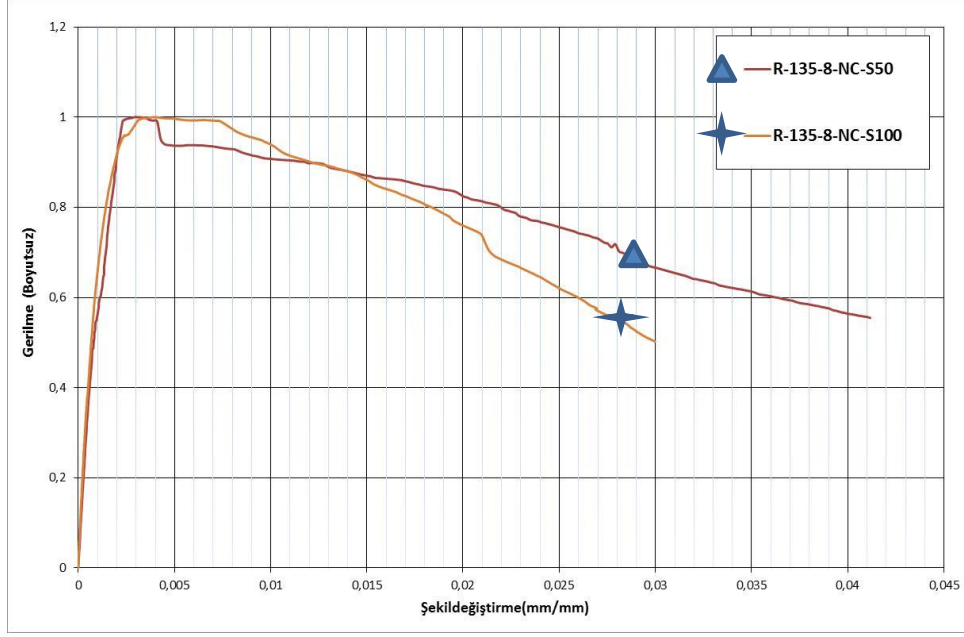
Şekil 5.26: R-112.5-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 5.27: R-112.5-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 5.28: R-135-4-NC-S50, R-135-4-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 5.29: R-135-8-NC-S50, R-135-8-NC-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

5.10 Deneysel Sonuçların Genel Değerlendirilmesi

Bu bölümde deneysel çalışma sonucunda elde edilen bilgiler genel olarak değerlendirilmiştir. Eksenel yükler altında denenen 7 adet kare ve 12 adet dikdörtgen betonarme kolon numunesinden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Kare numunelerde test parametreleri kanca açısı ve kanca boyudur. Bu iki değişken göz önüne alındığında, numuneler arasında dayanım, süneklilik ve EYK bakımından en iyi sonucu veren numune kanca açısı 135° ve kanca boyu 80 mm olan(S-135-8-N-S50) numune olmuştur. Bu numunede daha fazla sargılanma meydana gelmiş ve daha kompakt bir yapı oluşmuştur.

Hem dikdörtgen numunelerde hem de kare numunelerde kanca boyu etkisine bakacak olursak, aynı özelliklere sahip iki numuneden kanca boyu büyük olan numune süneklilik ve EYK açısından daha iyi sonuç vermiştir. Kısa kanca boyuna sahip olan numunede daha az sargılanma meydana gelmiştir. Kare ve dikdörtgen numunelerin basınç dayanımlarındaki artışlara bakılırsa, hem kare hem de dikdörtgen numunelerin dayanımlarında referans numunenin basınç dayanımına göre artışlar meydana gelmiştir. Kare ve dikdörtgen numuneler arasında süneklilik ve EYK açısından en az artış gösteren numuneler, kareler için S-90-4-N-S50, dikdörtgenler

için ise R-90-4-NC-S100 numuneleridir. Bu durum bize kısa kancalı ve etriyeler arası mesafelerin fazla olduğu kolonların sünek davranmasının çok zor olduğunu göstermiştir. Kesit farkının numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi üzerindeki etkisine bakacak olursak, hem kare hem de dikdörtgen numunelerde sadece enine donatının kanca açısı, kanca boyu ve etriyeler arasındaki mesafeye bağlı olarak değişimler meydana geldiği ve kesit farkının numunelerin gerilme-şekildeğiştirmesi üzerine herhangi bir etkide bulunmadığı tespit edilmiştir. Göçme modlarına bakacak olursak, tüm numunelerde maksimum gerilmeye kadar herhangi bir hasar meydana gelmediği, maksimum gerilme seviyelerinde kılcal çatlakların oluştuğu, ileri yük durumları için kılcal çatlak genişliklerinin arttığı ve derin çatlakların meydana geldiği gözlenmiştir. Tüm numunelerde maksimum yükün %50'sine kadar, yani düşüş kolundaki gerilme değerinin %50'sine kadar yükleme yapılmış ve deney bu yük değerinde sonlandırılmıştır.

6. DENEY SONUÇLARININ MEVCUT MODELLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde daha önce farklı araştırmacılar tarafından sargılı beton için önerilmiş olan matematiksel modellerle elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerine ve bunların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Aşağıda hem çalışılan modellerin deney sonuçlarını tahmin etmedeki başarılarına hem de birbirleriyle olan ilişkilerine değinilmiştir. Üç ana model dikkate alınmış ve deney sonuçları da bu modeller üzerinden değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

6.1 İlki ve Diğ.(2004) Modeli

Kare Kesit İçin Hesap:

Kare kesit için (250x250 mm²) ;

20 mm pas payı kullanıldı, dolayısıyla

a = 202 mm(etriyenin merkezinden merkezine ölçülmüştür.)

$$d_c = b_c = 202 \text{ mm}$$

$$w' = 194 \text{ mm}$$

$$s' = 42 \text{ mm}$$

$$A_e = \left(202 \times 202 - \sum_{i=1}^n \frac{(194)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{42}{2 \times 202} \right) \left(1 - \frac{42}{2 \times 202} \right) = 12616$$

$$f_l = \frac{\sum A_{sh} f_{yh} \sin a}{s b_c} = \frac{2 \times 50 \times 557}{210 \times 50} = 5,51$$

$$A_{cc} = 202 \times 202 = 40804 \text{ mm}^2$$

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{12616}{40804} = 0,309$$

$$f'_l = k_e f_l = 0,309 \times 5,51 = 1,70 \text{ MPa}$$

Deneyde referans numune beton basınç dayanımını $f'_c = 35,6$ MPa olarak bulunmuştur.

$$f'_{co} = 0,75 \times f'_c = 0,75 \times 35,6 = 26,7 \text{ MPa}$$

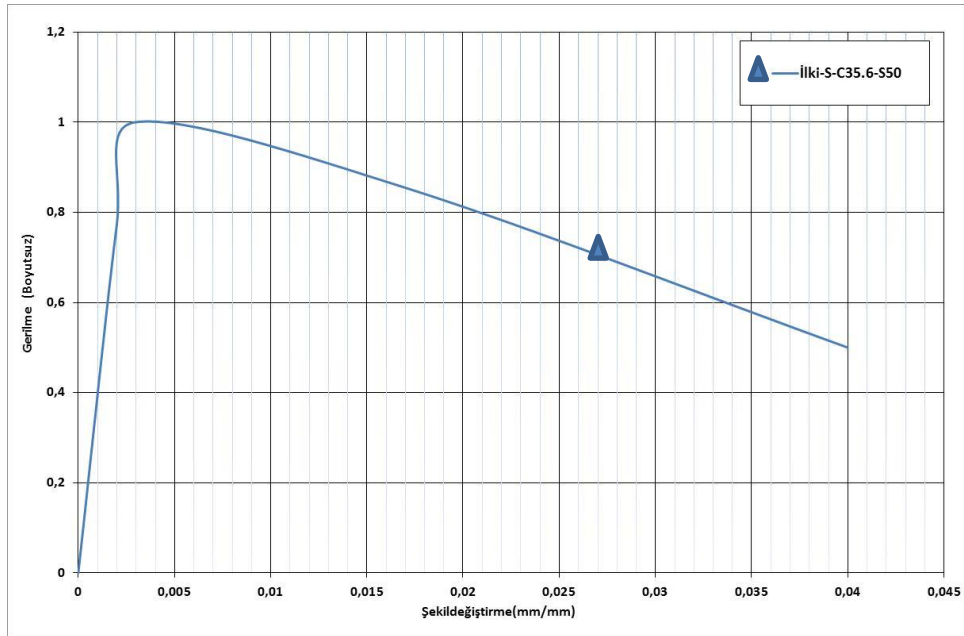
$$f'_{cc} = f'_{co} \left[1 + 4.65 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] = 26,7 \left[1 + 4.65 \frac{1,70}{26,7} \right] = 34,605 \text{ MPa}$$

$$0,85 f'_{cc} = 25,84$$

Deneyimizde enine donatı aralığı $s < 9\phi_l$ olduğu için ;

$$\varepsilon_{cc85} = \varepsilon_{co} \left[1 + 120 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] = 0,002 \left[1 + 120 \frac{1,70}{26,7} \right] = 0,0173$$

Bu sonuçlar ışığında numunemizi İlki modeline uyarlırsak;



Şekil 6.1: İlki Modeline Göre S-C35.6-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Dikdörtgen Kesit İçin Hesap:

Dikdörtgen kesit için (250x375 mm²),

20 mm pas payı kullanılmıştır, dolayısıyla

$$d_c = 202 \text{ mm}$$

$$b_c = 327 \text{ mm}$$

$$w'_d = 194 \text{ mm} \quad w'_b = 159,5 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$s' = 92 \text{ mm}$$

$$A_e = \left(327 \times 202 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{92}{2 \times 327} \right) \left(1 - \frac{92}{2 \times 202} \right) = 29882,72$$

$$f_l = \frac{f_{lx} b_{cx} + f_{ly} b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}}$$

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = \frac{2 \times 50}{100 \times 202} 557 = 2,75$$

$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s d_c} f_{yh} = \frac{2 \times 50}{100 \times 327} 557 = 1,70$$

$$f_l = \frac{2,75 \times 327 + 1,70 \times 202}{202 + 327} = 2,35$$

$$A_{cc} = 202 \times 327 = 66054$$

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{29882}{66054} = 0,45$$

$$f'_l = k_e f_l = 0,45 \times 2,35 = 1,06$$

Deneyde referans numune beton basınç dayanımını $f'_c = 35 \text{ MPa}$ olarak bulunmuştur.

$$f'_{co} = 0,75 \times f'_c = 0,75 \times 35,0 = 26,3 \text{ MPa}$$

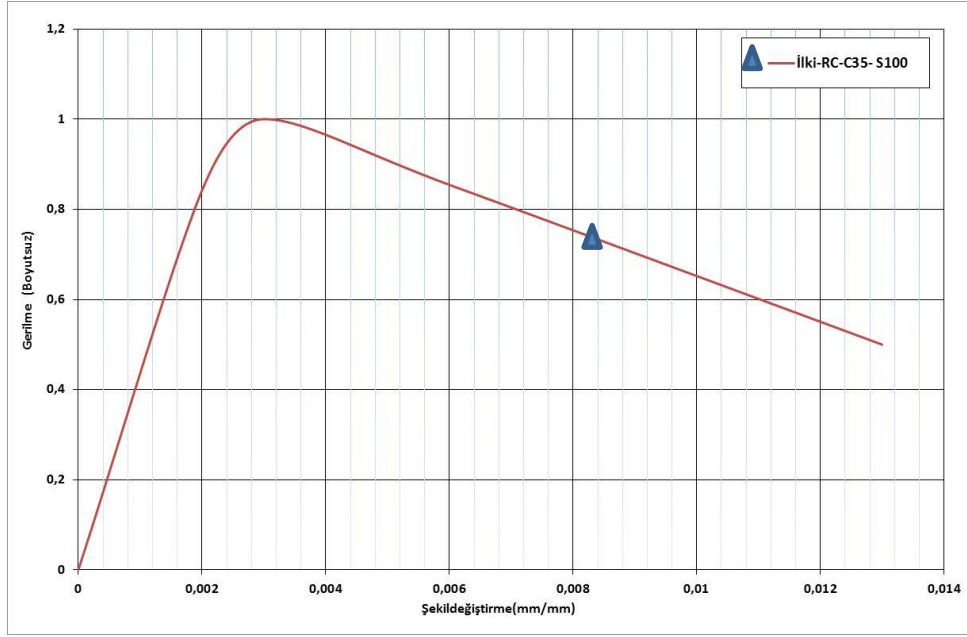
$$f'_{cc} = f'_{co} \left[1 + 4,65 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] = 26,3 \left[1 + 4,65 \frac{1,06}{26,3} \right] = 31,23$$

$$0,85 f'_{cc} = 26,54$$

Deneyimizde enine donatı aralığı $s \geq 9\phi_l$ olduğu için ;

$$\varepsilon_{cc85} = \varepsilon_{co} \left[1 + 120 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] \left[\frac{9\phi_l}{s} \right]^2 = 0,002 \left[1 + 120 \frac{1,06}{26,54} \right] \left[\frac{9 \times 8}{100} \right]^2 = 0,0060$$

Bu veriler altında ilki modelini uygularsak;



Şekil 6.2:İlki Modeline Göre R-NC-C35-S100 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Dikdörtgen kesit için(250x375 mm²),(s=50)

C30 beton,

20 mm pas payı kullanılmıştır, dolayısıyla

$$d_c = 202 \text{ mm}$$

$$b_c = 327 \text{ mm}$$

$$w'_d = 194 \text{ mm} \quad w'_b = 159,5 \text{ mm}$$

$$s = 50 \text{ mm}$$

$$s' = 42 \text{ mm}$$

$$A_e = \left(327 \times 202 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{42}{2 \times 327} \right) \left(1 - \frac{42}{2 \times 202} \right) = 51830$$

$$f_l = \frac{f_{lx} b_{cx} + f_{ly} b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}}$$

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = \frac{2 \times 50}{50 \times 202} 557 = 5,51$$

$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s d_c} f_{yh} = \frac{2 \times 50}{50 \times 327} 557 = 3,40$$

$$f_l = \frac{5,51 \times 327 + 3,40 \times 202}{202 + 327} = 4,70$$

$$A_{cc} = 202 \times 327 = 66054$$

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{51830}{66054} = 0,78$$

$$f'_l = k_e f_l = 0,78 \times 4,70 = 3,588$$

Deneyde referans numune beton basınç dayanımını $f'_c = 35$ MPa olarak bulunmuştur.

$$f'_{co} = 0,75 \times f'_c = 0,75 \times 35 = 26,25$$

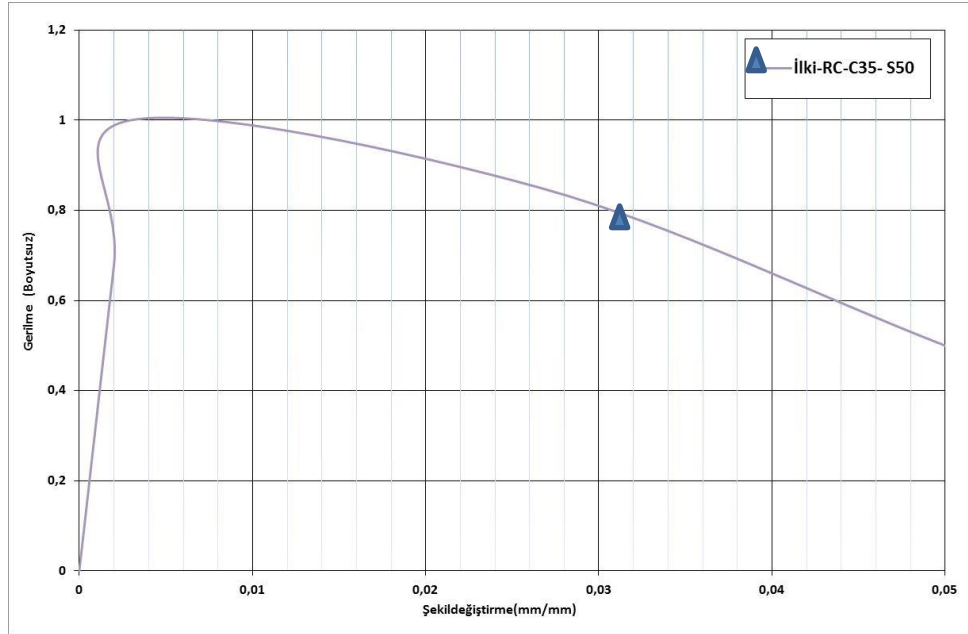
$$f'_{cc} = f'_{co} \left[1 + 4,65 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] = 26,25 \left[1 + 4,65 \frac{3,588}{26,25} \right] = 42,93 \text{ MPa}$$

$$0,85 f'_{cc} = 36,50 \text{ MPa}$$

Deneyimizde enine donatı aralığı $s < 9\phi_l$ olduğu için ;

$$\varepsilon_{cc85} = \varepsilon_{co} \left[1 + 120 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] = 0,002 \left[1 + 120 \frac{3,588}{26,25} \right] = 0,0348$$

Bu veriler altında ilki modelini uygularsak;



Şekil 6.3:İlki Modeline Göre RÇ-C35-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

6.2 Saatçioğlu ve Razvi (1992) Modeli

Kare kesit için hesap(250x250 mm²):

Deneyde referans numune beton basınç dayanımını $f'_c = 35,6$ MPa olarak bulunmuştur.

20 mm paspayı kullanılmıştır.

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b_{kx} = b_{ky} = 210 \text{ mm}$$

$$s = 50 \text{ mm}$$

$$s' = 42 \text{ mm}$$

Sargı donatısı, 4Φ8/ 100 mm

$$\alpha = 90^\circ$$

a = 202 mm (Etriyenin merkezinden merkezine ölçülmüştür.)

$$f_c = f_{ck} = 35,60 \text{ MPa}$$

$$f_{ywk} = 557 \text{ MPa}$$

$$A_o = \pi \times r^2 = \frac{\pi \times 8,045^2}{4} = 50,83 \text{ mm}^2$$

$$\sum A_{ox} f_{ywk} \sin \alpha = 2 \times 50,83 \times 557 \times \sin 90 = 56624,6 \text{ N}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum A_o f_{ywk} (\sin \alpha)}{(s \times b_k)} = \frac{56624,6}{50 \times 210} = 5,39 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,26 \sqrt{\left(\frac{210}{202}\right) \left(\frac{210}{50}\right) \left(\frac{1,0}{5,39}\right)} = 0,234 \leq 1,0$$

$$\sigma_{2e} = \beta \sigma_2 = 0,234 \times 5,39 = 1,26 \text{ MPa}$$

$$k_1 = \frac{6,7}{(\sigma_{2e})^{0,17}} = \frac{6,7}{(1,26)^{0,17}} = 6,44$$

$$k_3 = 0.85 \quad k_3 f_c = 0.85 \times 30 = 25,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_{2e} = 0.85 \times 35,60 + 6,44 \times 1,26 = 38,37 \text{ MPa}$$

$$\lambda = \frac{k_1 \sigma_{2e}}{k_3 f_c} = \frac{6,44 \times 1,26}{30,26} = 0.268$$

$$\varepsilon_{coc} = \varepsilon_{co} [1 + 5\lambda] = 0.002 [1 + 5 \times 0,268] = 0,00468$$

$$\rho = \frac{\sum A_{oxy} \sin \alpha}{s(b_{kx} + b_{ky})} = \frac{2 \times 2 \times 50,83 \sin 90}{50(210 + 210)} = 0.00968$$

$$\varepsilon_{c85} = 260 \rho \varepsilon_{coc} + \varepsilon_{u85}$$

$$\varepsilon_{u85} = 0.0038 \text{ (Hognestad modelinden)}$$

$$\varepsilon_{c85} = 260 \times 0.00968 \times 0.00468 + 0.0038 = 0.016$$

σ - ε eğrisinin (sargılı), doğrusal bölümünün eğimi :

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{38,37 - 0.85 \times 38,37}{0.0048 - 0.016} = -514 \text{ MPa}$$

$$\text{Boyutsuz eğim} = K_c = -\frac{514}{38,37} = -13,39$$

Eğrinin ilk bölümü ($0 \leq \varepsilon_c \leq 0.0048$)

$$\frac{1}{1 + 2\lambda} = \frac{1}{1 + (2 \times 0.268)} = 0.651$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\left(\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} \leq f_{cc}$$

$$\sigma_c = 38,37 \left[\left(\frac{2\varepsilon_c}{0.0048} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.0048} \right)^2 \right]^{0.651} \text{ (MPa)}$$

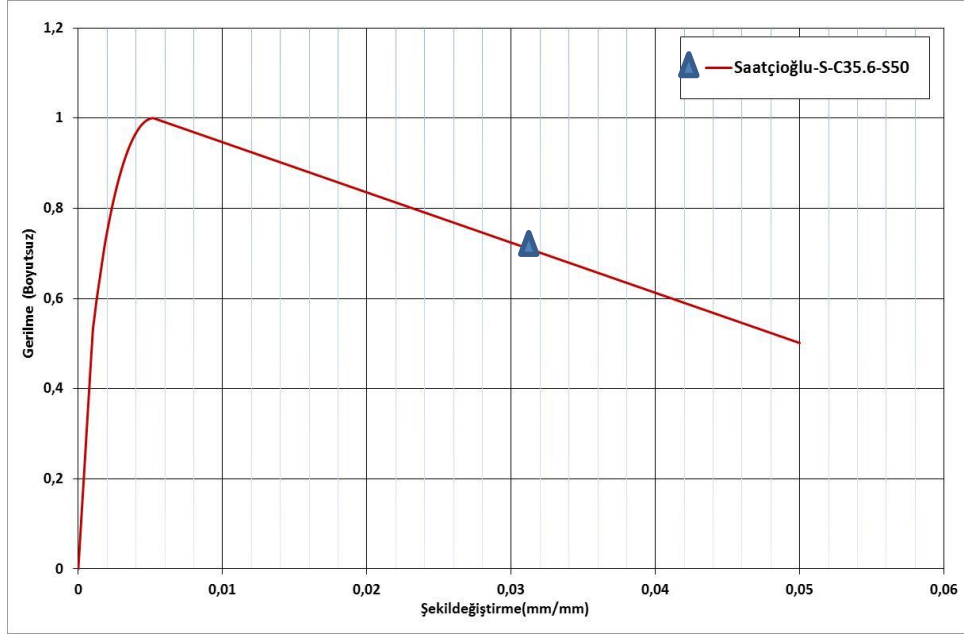
Eğrinin ikinci bölümü ($\varepsilon_c \geq 0.0048$)

$$\sigma_c = f_{cc} + \left(\frac{f_{cc} - f_{c85}}{\varepsilon_{coc} - \varepsilon_{c85}} \right) (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})$$

$$\sigma_c = 38,37 + \left(\frac{38,37 - 0.85 \times 38,37}{0.0048 - 0.013} \right) (\varepsilon_c - 0.0048)$$

$$\sigma_c = 21.74 - 387.7 (\varepsilon_c - 0.0048) \text{ (MPa)}$$

Bu sonuçlara göre Saatçioğlu ve Razvi modeline göre gerilme-şekildeğiştirme grafiği şekildeki gibi olmaktadır.



Şekil 6.4:Saatçioğlu ve Razvi modeline göre S-C35.6-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Dikdörtgen Kesit İçin Hesap (250x375 mm²):

Deneyde referans numune beton basınç dayanımını $f'_c = 35$ MPa olarak bulunmuştur.

$$b_{kx} = 327 \text{ mm}$$

$$b_{ky} = 202 \text{ mm}$$

$$a_x = 319 \text{ mm}$$

$$a_y = 194 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$s' = 92 \text{ mm}$$

$$\sigma_{2x} = \frac{\sum A_{0x} f_{ywk} \sin \alpha}{(s \times b_{kx})} = \frac{56624,6}{100 \times 327} = 1,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2y} = \frac{\sum A_{0y} f_{ywk} \sin \alpha}{(s \times b_{ky})} = \frac{56624,6}{100 \times 202} = 2,80 \text{ MPa}$$

$$\beta_x = 0,26 \sqrt{\left(\frac{b_{kx}}{a_x}\right)\left(\frac{b_{kx}}{s}\right)\left(\frac{1,0}{\sigma_{2x}}\right)} = 0,26 \sqrt{\frac{327}{319} \frac{327}{100} \frac{1,0}{1,73}} = 0,361$$

$$\beta_y = 0,26 \sqrt{\left(\frac{b_{ky}}{a_y}\right)\left(\frac{b_{ky}}{s}\right)\left(\frac{1,0}{\sigma_{2y}}\right)} = 0,26 \sqrt{\frac{202}{194} \frac{202}{100} \frac{1,0}{2,80}} = 0,225$$

$$\sigma_{2ex} = \beta_x \sigma_{2x} \quad \text{ve} \quad \sigma_{2ey} = \beta_y \sigma_{2y}$$

$$\sigma_{2ex} = 0,361 \times 1,73 = 0,631 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2ey} = 0,225 \times 2,80 = 0,630 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2e} = \frac{(\sigma_{2ex} b_{kx} + \sigma_{2ey} b_{ky})}{(b_{kx} + b_{ky})} = \frac{(0,631 \times 327 + 0,630 \times 202)}{(202 + 327)} = 0,630 \text{ MPa}$$

$$k_1 = \frac{6,7}{(\sigma_{2e})^{0,17}} = \frac{6,7}{(0,630)^{0,17}} = 7,24$$

$$k_3 = 0,85 \quad k_3 f_c = 0,85 \times 35,00 = 29,75 \text{ MPa}$$

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_{2e} = 0,85 \times 35,00 + 7,24 \times 0,630 = 38,76 \text{ MPa}$$

$$\lambda = \frac{k_1 \sigma_{2e}}{k_3 f_c} = \frac{7,24 \times 0,630}{29,75} = 0,153$$

$$\varepsilon_{coc} = \varepsilon_{co} [1 + 5\lambda] = 0,002 [1 + 5 \times 0,465] = 0,00665$$

$$\rho = \frac{\sum A_{oxy} \sin \alpha}{s(b_{kx} + b_{ky})} = \frac{2 \times 2 \times 50,83 \sin 90}{100(327 + 202)} = 0,00384$$

$$\varepsilon_{c85} = 260 \rho \varepsilon_{coc} + \varepsilon_{u85}$$

$$\varepsilon_{u85} = 0,0038 \text{ (Hognestad modelinden)}$$

$$\varepsilon_{c85} = 260 \times 0,00384 \times 0,00665 + 0,0038 = 0,0104$$

(σ - ε) eğrisinin (sargılı), doğrusal bölümünün eğimi :

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{43,60 - 0,85 \times 43,60}{0,00665 - 0,00860} = -3353,84 \text{ MPa}$$

$$\text{Boyutsuz eğim} = K_c = -\frac{3353,84}{43,60} = -79,92$$

Eğrinin ilk bölümü ($0 \leq \varepsilon_c \leq 0,0048$)

$$\frac{1}{1+2\lambda} = \frac{1}{1+(2 \times 0.465)} = 0.518$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\left(\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} \leq f_{cc} \square$$

$$\sigma_c = 34,312 \left[\left(\frac{2\varepsilon_c}{0.00665} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.00665} \right)^2 \right]^{0.518} (MPa)$$

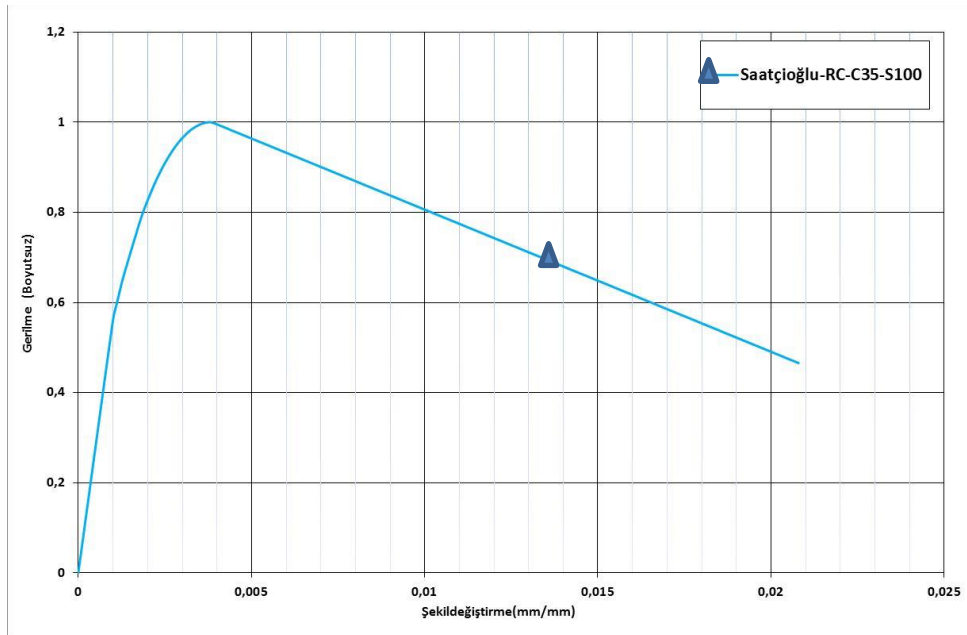
Eğrinin ikinci bölümü ($\varepsilon_c \geq 0.0048$)

$$\sigma_c = f_{cc} + \left(\frac{f_{cc} - f_{c85}}{\varepsilon_{coc} - \varepsilon_{c85}} \right) (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})$$

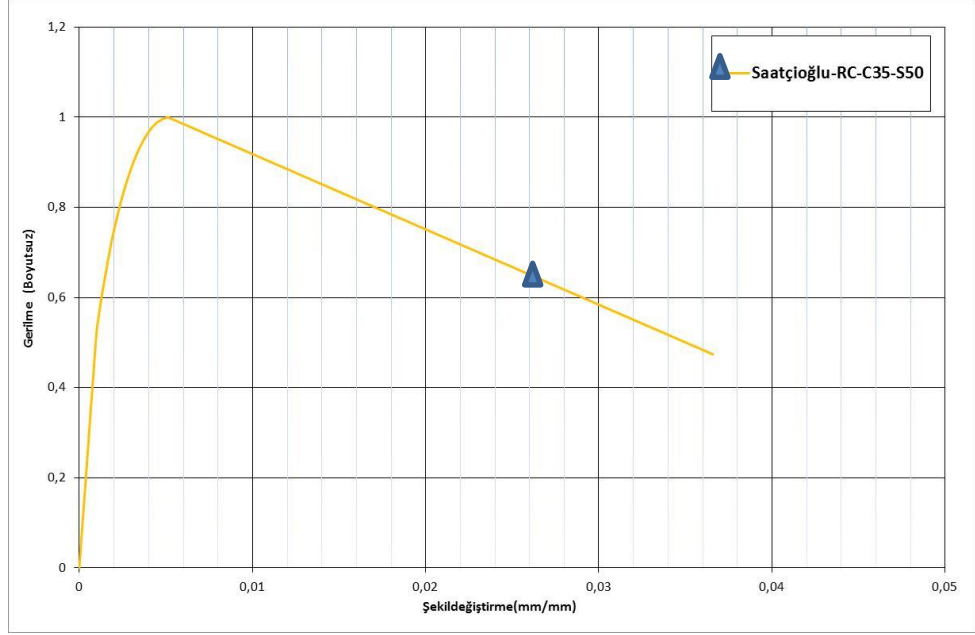
$$\sigma_c = 34,312 + \left(\frac{34,312 - 0.85 \times 34,312}{0.00465 - 0.0086} \right) (\varepsilon_c - 0.0048)$$

$$\sigma_c = 34,312 - 1552 (\varepsilon_c - 0.0048) \quad (MPa)$$

Bu sonuçlara göre Saatçioğlu ve Razvi modeline göre gerilme-şekildeğiştirme grafiği şekildeki gibi olmaktadır.



Şekil 6.5: Saatçioğlu ve Razvi modeline göre RÇ-C35-S100 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi



Şekil 6.6:Saatçioğlu ve Razvi modeline göre RÇ-C35-S50 numunesinin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi

6.3 Mander ve Diğ. (1988) Modeli

Deneyde referans numune beton basınç dayanımını $f'_c = 35.6$ MPa olarak bulunmuştur.

20 mm paspayı kullanılmıştır.

$b = 250$ mm

$d=250$ mm

$h = 500$ mm

$b_{kx} = b_{ky} = 210$ mm

sargı donatısı, $4\Phi 8 / 100$ mm

$a = 202$ mm(etriyenin merkezinden merkezine ölçülmüştür.)

$f_{c0} = f_{ck} = 35$ MPa

$f_{ywk} = 557$ MPa

$s = 100$ mm

$s' = 92$ mm

Kare Kesit:

$$\rho_{sx} = \rho_{sy} = \frac{A_{sp}}{d_c \times s} = \frac{2 \times 50}{50 \times 202} = 0.0099$$

$$\varepsilon_{co} = 0.002$$

$$k_e = (1 - (50/(2 \times 202))) \times (1 - (50/(2 \times 202))) = 0.768$$

$$f_{ex} = k_e \times \rho_x \times f_{yw} = 0.768 \times 0.0099 \times 557 = 4,23 \text{ MPa}$$

$$f_{ey} = k_e \times \rho_y \times f_{yw} = 4,23 \text{ MPa}$$

$$f'_l = 0,5 \times k_e \times \rho_s \times f_{yw} = 2,11 \text{ MPa}$$

$$\lambda_c = \left(2.254 \times \sqrt{\left(1 + 7.94 \times \frac{2,11}{35} \right)} \right) - \left(2 \times \frac{2,11}{35} \right) - 1.254 = 1,366$$

$$f_{cc} = \lambda_c \times f_{c0} = 1.366 \times 35 = 47,14 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \times (1 + 5 \times (\lambda_c - 1)) = 0.002 \times (1 + 5 \times (1.32 - 1)) = 0.00520$$

$$E_c = 5000 \times \sqrt{f_{c0}} = 29580 \text{ MPa}$$

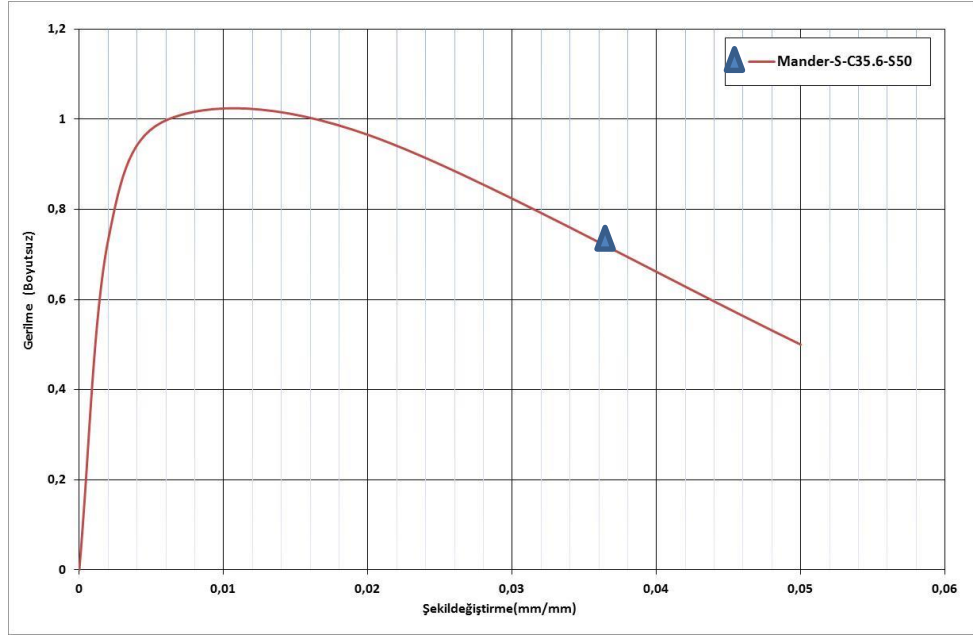
$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} = 8446 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} = 0.004 / 0.00566 = 0,706$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = 1,40$$

$$f_c = f_{cc} \times x \times \frac{r}{r - 1 + x^r} = 47,81 \times 0,706 \times \frac{1,40}{1,40 - 1 + 0,706^{1,40}} = 46,60 \text{ MPa}$$

Bu sonuçlara göre Mander modeline göre gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi şekildeki gibi olmaktadır.



Şekil 6.7:Mander modeline göre S-C35.6-S50 numunesinin gerilme- şekildeğiştirme ilişkisi

Dikdörtgen Kesit:

C30 beton,

20 mm paspayı kullanılmıştır.

Dikdörtgen kesit için(250x375 mm²),

$$d_c = 202 \text{ mm}$$

$$b_c = 327 \text{ mm}$$

$$w'_d = 194 \text{ mm} \quad w'_b = 159,5 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$s' = 92 \text{ mm}$$

$$f_{c0}=f_{ck}=35 \text{ MPa}$$

$$f_{ywk}= 557 \text{ MPa}$$

$$s = 50 \text{ mm}$$

$$s' = 42 \text{ mm}$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sp}}{ds \times s} = \frac{2 \times 50}{100 \times 327} = 0.00305$$

$$\rho_{sy} = \frac{A_{sp}}{ds \times s} = \frac{2 \times 50}{100 \times 202} = 0.00495$$

$$\rho_s = 0.00305 + 0.00495 = 0.00800$$

$$k_e = (1 - (100/(2 \times 319))) \times (1 - (100/(2 \times 202))) = 0.634$$

$$f_e = k_e \times \rho_s \times f_{yw} = 0.634 \times 0.008 \times 557 = 2.82 \text{ MPa}$$

$$\lambda_c = \left(2.254 \times \sqrt{\left(1 + 7.94 \times \frac{2.82}{35} \right)} \right) - \left(2 \times \frac{2.82}{35} \right) - 1.254 = 1.54$$

$$f_{cc} = \lambda_c \times f_{c0} = 1.11 \times 35 = 39 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} \times (1 + 5 \times (\lambda_c - 1)) = 0.002 \times (1 + 5 \times (1.54 - 1)) = 0.0074$$

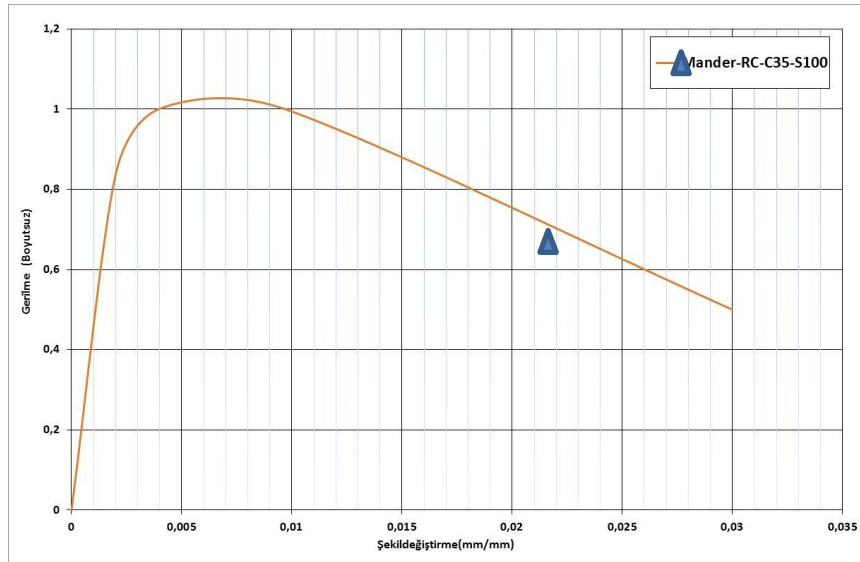
$$E_c = 5000 \times \sqrt{f_{c0}} = 27386 \text{ MPa}$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} = 6243 \text{ MPa}$$

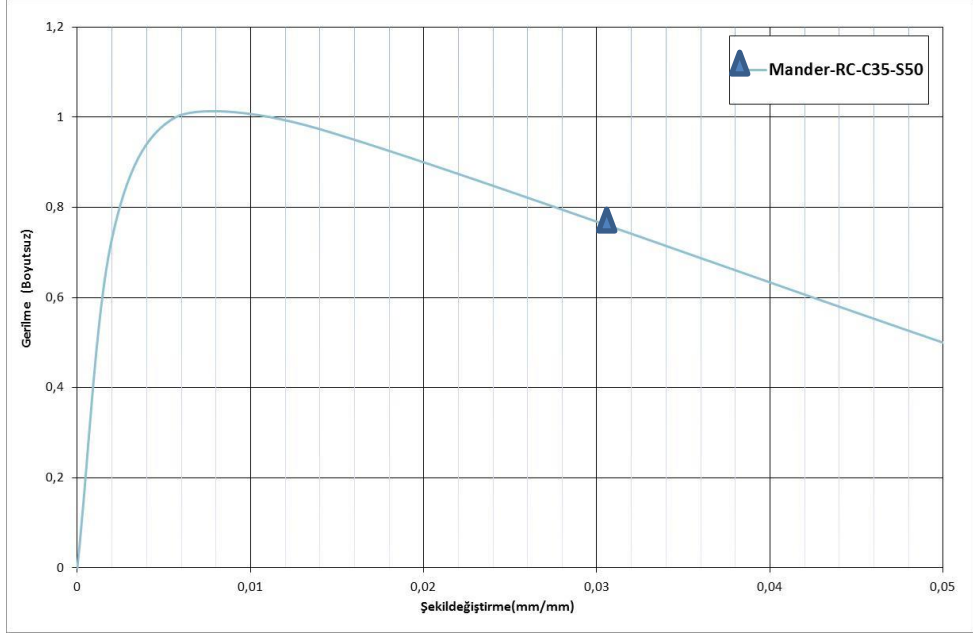
$$\chi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} = 0.004/0.0074 = 0.540$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = 1.29$$

Bu sonuçlara göre Mander modeline göre gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri şekildeki gibi olmaktadır.



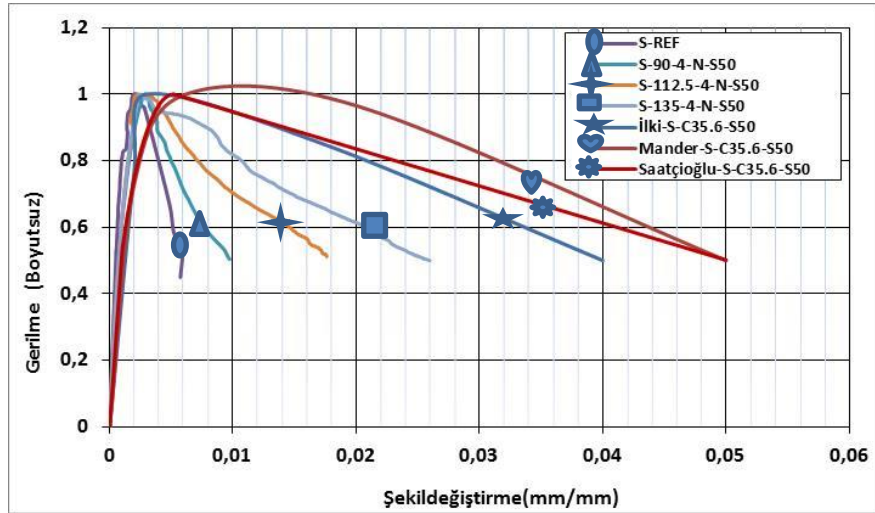
Şekil 6.8: Mander modeline göre RÇ-C35-S100 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi



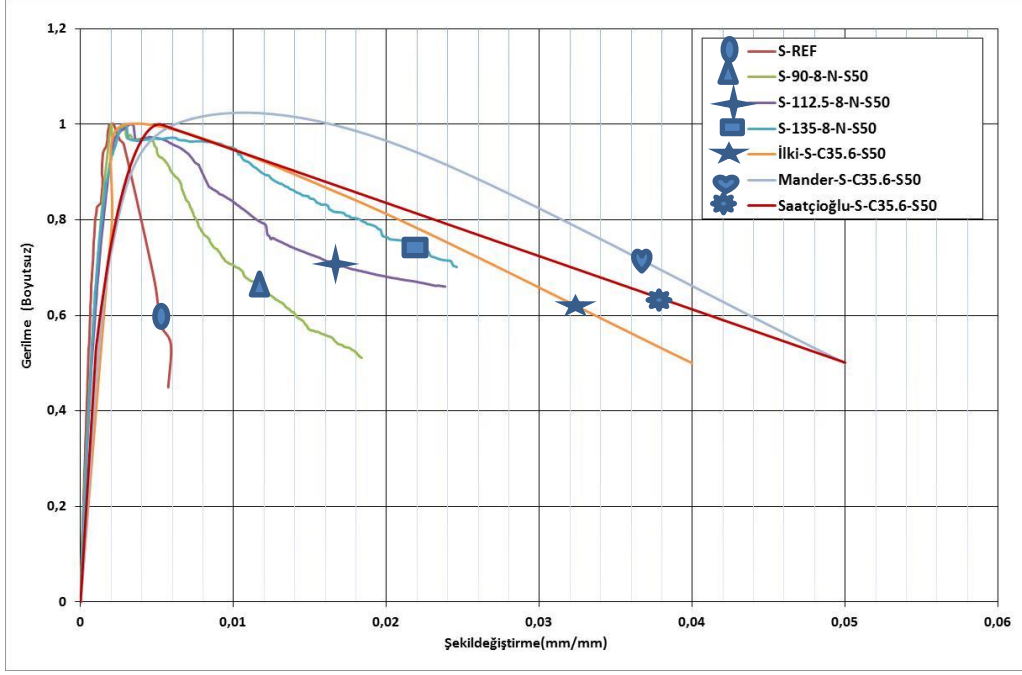
Şekil 6.9:Mander modeline göre RÇ-C35-S50 numunesinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

6.4 Deney Sonuçlarının Matematiksel Modellerle Karşılaştırılması

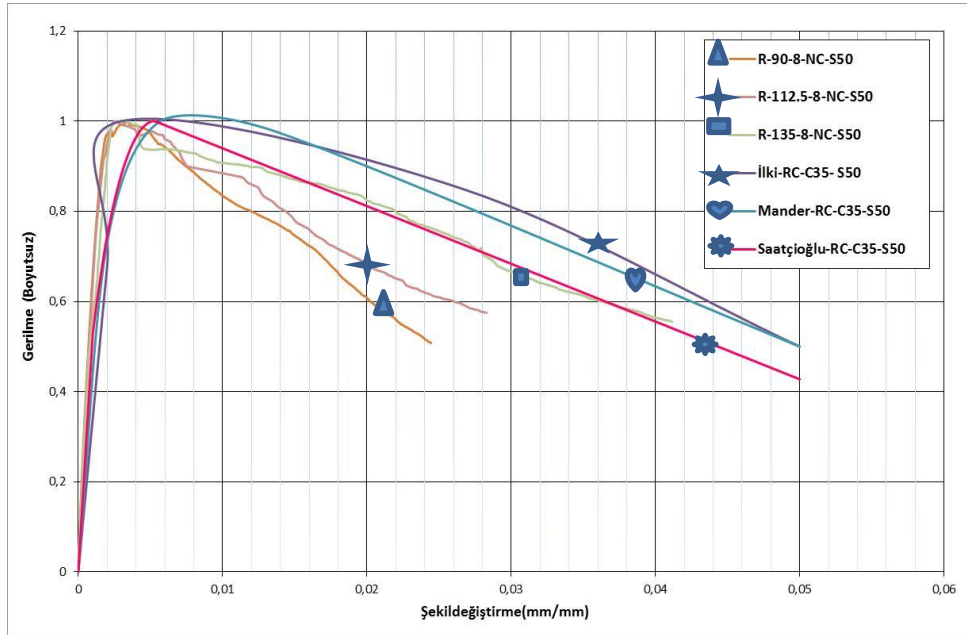
Bu başlık altında, testler sonucunda elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri ile matematiksel hesaplar sonucunda elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri karşılaştırılacaktır. Gerekli yorumlamalar ve değerlendirmeler sonuçlar kısmında verilecektir.



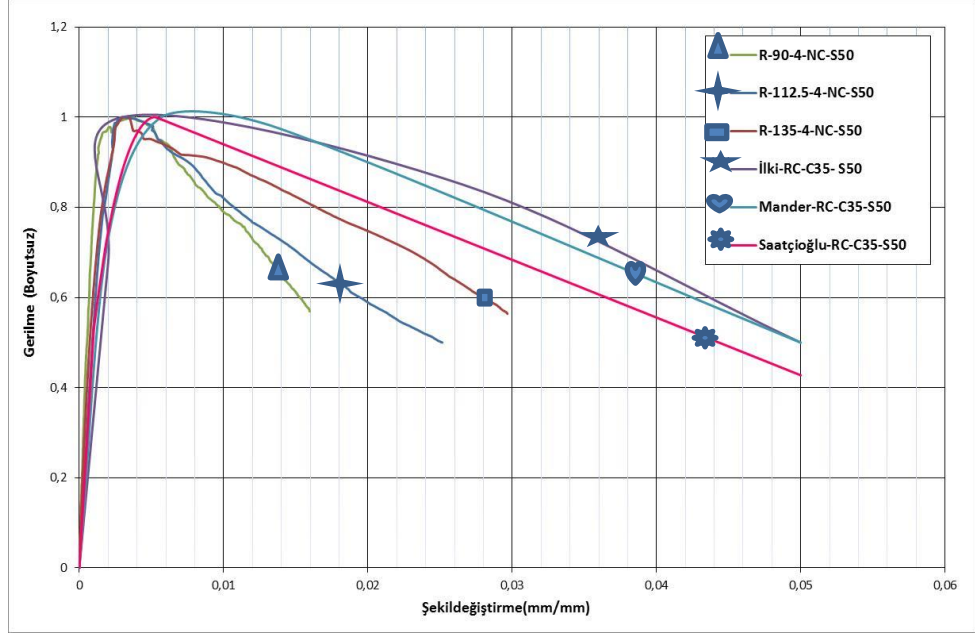
Şekil 6.10: S-Ref, S-90-4-N-S50, S-112.5-4-N-S50, S-135-4-N-S50, İlki-S-C35.6-S50, Saatçioğlu-S-C30-S50, Mander-S-C30-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



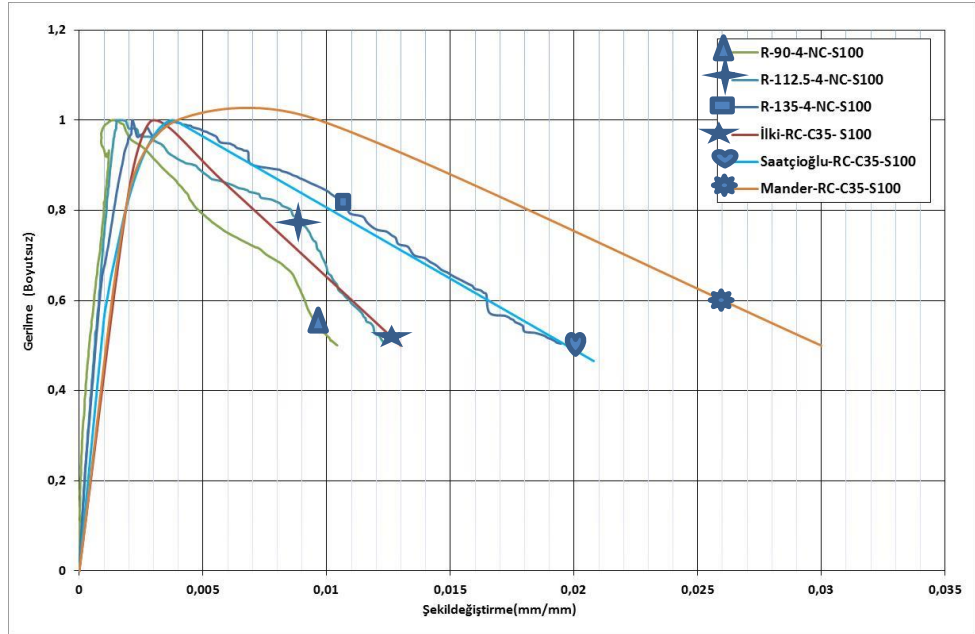
Şekil 6.11: S-Ref, S-90-8-N-S50, S-112.5-8-N-S50, S-135-8-N-S50, İlki-S-C30-S50, Saatçioğlu-S-C30-S50, Mander-S-C30-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



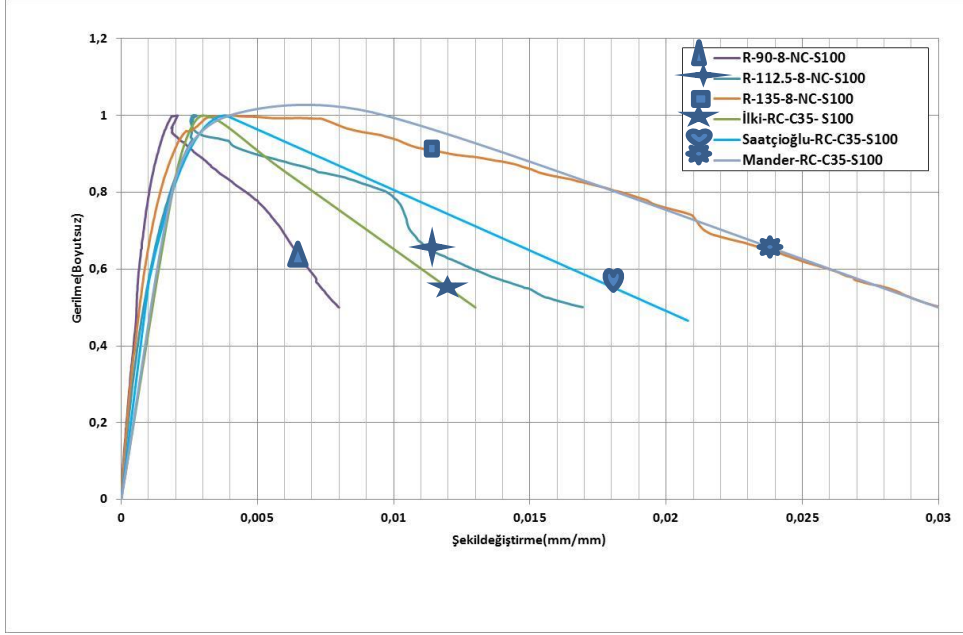
Şekil 6.12: R-90-8-NC-S50, R-112.5-8-NC-S50, R-135-8-NC-S50, İlki-RC-C35-S50, Saatçioğlu-RC-C35-S50, Mander-RC-C35-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 6.13: R-90-4-NC-S50, R-112.5-4-NC-S50, R-135-4-NC-S50, İlki-RC-C35-S50, Saatçioğlu-RC-C35-S50, Mander-RC-C35-S50 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 6.14: R-90-4-NC-S100, R-112.5-4-NC-S100, R-135-4-NC-S100, İlki-RC-C35-S100, Saatçioğlu-RC-C35-S100, Mander-RC-C35-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri



Şekil 6.15: R-90-8-NC-S100, R-112.5-8-NC-S100, R-135-8-NC-S100, İlki-RC-C35-S100, Saatçioğlu-RC-C35-S100, Mander-RC-C35-S100 numunelerinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri

Deney sonuçlarıyla matematiksel modellerden elde edilen dayanım, süneklilik ve şekildeğiştirme ifadeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan değerler ve karşılaştırma sonuçları aşağıdaki çizelge 6.1, 6.2 ve Çizelge 6.3’de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 6.1: Deneylerden elde edilen gerilme değerleriyle matematiksel modellerden elde edilen gerilmelerin karşılaştırılması

Numune Adı	Numune Test Sonuçları Gerilme,[1]	Mander ve dig.(1998) Gerilme, [2]	Saatçioğlu ve Razvi (1992) Gerilme, [3]	İlki ve dig. (2004), [4]	[1]/ [2]	[1]/ [3]	[1]/[4]
S-Ref	35.60	35.60	35.60	26.70	1.00	1.00	1.33
S-90/4-N-S50	38.00	47.14	38.37	34.61	0.81	0.99	1.10
S-90/8-N-S50	39.50	47.14	38.37	34.61	0.84	1.03	1.14
S-112.5/4-N-S50	37.30	47.14	38.37	34.61	0.79	0.97	1.08
S-112.5/8-N-S50	39.20	47.14	38.37	34.61	0.83	1.02	1.13
S-135/4-N-S50	36.00	47.14	38.37	34.61	0.76	0.94	1.04
S-135/8-N-S50	44.80	47.14	38.37	34.61	0.95	1.17	1.29
R-90/4-NC-S100	34.68	39.00	35.24	31.23	0.89	0.98	1.11
R-112.5/4-NC-S100	37.87	39.00	35.24	31.23	0.97	1.07	1.21
R-135/4-NC-S100	35.50	39.00	35.24	31.23	0.91	1.01	1.14
R-90/4-NC-S50	42.33	43.75	38.76	42.93	0.97	1.09	0.99
R-112.5/4-NC-S50	41.00	43.75	38.76	42.93	0.94	1.06	0.96
R-135/4-NC-S50	41.78	43.75	38.76	42.93	0.95	1.08	0.97
R-90/8-NC-S50	41.59	43.75	38.76	42.93	0.95	1.07	0.97
R-112.5/8-NC-S50	37.80	43.75	38.76	42.93	0.86	0.98	0.88
R-135/8-NC-S50	41.57	43.75	38.76	42.93	0.95	1.07	0.97
R-90/8-NC-S100	36.75	39.00	35.24	31.23	0.94	1.04	1.18
R-112.5/8-NC-S100	38.60	39.00	35.24	31.23	0.99	1.10	1.24
R-135/8-NC-S100	37.53	39.00	35.24	31.23	0.96	1.06	1.20

Çizelge 6.2: Deneylerden elde edilen şekildeğiştirme değerleriyle matematiksel modellerden elde edilen şekildeğiştirmelerin karşılaştırılması

Numune Adı	Numune Test Sonuçları Şekildeğiştirme [1]	Mander ve dig.(1988) Şekildeğiştirme [2]	Saatçioğlu ve Razvi (1992) Şekildeğiştirme [3]	İlki ve dig.(2004) Şekildeğiştirme [4]	[1]/ [2]	[1]/ [3]	[1]/[4]
S-Ref	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	1.0000	1.0000	1.0000
S-90/4-N-S50	0.0020	0.0052	0.0047	0.0035	0.3846	0.4255	0.5714
S-90/8-N-S50	0.0030	0.0052	0.0047	0.0035	0.5769	0.6383	0.8571
S-112.5/4-N-S50	0.0020	0.0052	0.0047	0.0035	0.3846	0.4255	0.5714
S-112.5/8-N-S50	0.0030	0.0052	0.0047	0.0035	0.5769	0.6383	0.8571
S-135/4-N-S50	0.0020	0.0052	0.0047	0.0035	0.3846	0.4255	0.5714
S-135/8-N-S50	0.0030	0.0052	0.0047	0.0035	0.5769	0.6383	0.8571
R-90/4-NC-S100	0.0015	0.0031	0.0067	0.0030	0.4839	0.2239	0.5000
R-112.5/4-NC-S100	0.0016	0.0031	0.0067	0.0030	0.5161	0.2388	0.5333
R-135/4-NC-S100	0.0021	0.0031	0.0067	0.0030	0.6774	0.3134	0.7000
R-90/4-NC-S50	0.0026	0.0045	0.0039	0.0048	0.5778	0.6667	0.5417
R-112.5/4-NC-S50	0.0030	0.0045	0.0039	0.0048	0.6667	0.7692	0.6250
R-135/4-NC-S50	0.0032	0.0045	0.0039	0.0048	0.7111	0.8205	0.6667
R-90/8-NC-S50	0.0030	0.0045	0.0039	0.0048	0.6667	0.7692	0.6250
R-112.5/8-NC-S50	0.0024	0.0045	0.0039	0.0048	0.5333	0.6154	0.5000
R-135/8-NC-S50	0.0030	0.0045	0.0039	0.0048	0.6667	0.7692	0.6250
R-90/8-NC-S100	0.0020	0.0031	0.0067	0.0030	0.6452	0.2985	0.6667
R-112.5/8-NC-S100	0.0026	0.0031	0.0067	0.0030	0.8387	0.3881	0.8667
R-135/8-NC-S100	0.0035	0.0031	0.0067	0.0030	1.1290	0.5224	1.1667

Çizelge 6.3: Deneylerden elde edilen süneklilik değerleriyle matematiksel modellerden elde edilen sünekliliklerin karşılaştırılması

Numune Adı	Numune Test Sonuçları Süneklilik [1]	Mander ve dig.(1988) Süneklilik [2]	Saatçioğlu ve Razvi (1992) Süneklilik [3]	İlki ve dig.(2004) Süneklilik [4]	[1]/ [2]	[1]/ [3]	[1]/[4]
S-Ref	1.85	14.10	9.15	8.90	0.13	0.20	0.21
S-90/4-N-S50	2.20	14.10	9.15	8.90	0.16	0.24	0.25
S-90/8-N-S50	3.35	14.10	9.15	8.90	0.24	0.37	0.38
S-112.5/4-N-S50	2.95	14.10	9.15	8.90	0.21	0.32	0.33
S-112.5/8-N-S50	4.65	14.10	9.15	8.90	0.33	0.51	0.52
S-135/4-N-S50	4.50	14.10	9.15	8.90	0.32	0.49	0.51
S-135/8-N-S50	7.20	14.10	9.15	8.90	0.51	0.79	0.81
R-90/4-NC-S100	2.03	8.00	4.25	3.00	0.25	0.48	0.68
R-112.5/4-NC-S100	3.23	8.00	4.25	3.00	0.40	0.76	1.08
R-135/4-NC-S100	4.89	8.00	4.25	3.00	0.61	1.15	1.63
R-90/4-NC-S50	3.95	12.00	8.75	13.00	0.33	0.45	0.30
R-112.5/4-NC-S50	4.35	12.00	8.75	13.00	0.36	0.50	0.33
R-135/4-NC-S50	6.60	12.00	8.75	13.00	0.55	0.75	0.51
R-90/8-NC-S50	4.55	12.00	8.75	13.00	0.38	0.52	0.35
R-112.5/8-NC-S50	6.15	12.00	8.75	13.00	0.51	0.70	0.47
R-135/8-NC-S50	8.75	12.00	8.75	13.00	0.73	1.00	0.67
R-90/8-NC-S100	1.75	8.00	4.25	3.00	0.22	0.41	0.58
R-112.5/8-NC-S100	3.60	8.00	4.25	3.00	0.45	0.85	1.20
R-135/8-NC-S100	7.67	8.00	4.25	3.00	0.96	1.80	2.56

7. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada 250x250x500 mm boyutlarında 7 adet kare betonarme kolonlar ile 250x375x500 mm boyutlarında 12 adet dikdörtgen kolonlar eksenel yükler altında denenmiştir. Çalışmada incelenen değişkenler; betonarme kolonlarda bulunan enine(etriye) donatılardaki kanca açısı, kanca boyu ve enine donatılar arasındaki mesafelerdir. Deneysel çalışmada denen en kanca açıları;135°,112.5°,90° kanca boyları; 80 mm ve 40 mm enine donatılar arası mesafeler; 100 mm ve 50 mm'dir. Deney anında farklı ölçüm boylarından, numune üzerinden 200 mm ve numunenin tüm boyundan 500 mm'den alınan ölçümlerle gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Sargı donatısı, betonarme kolonların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Kanca açısı ve kanca boyu büyük olan numunelerde sargılanma etkisi daha fazla olmuş, dayanımda özellikle de şekildeğiştirme kapasitesinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Örnek olarak kanca açısı 135° ve kanca boyu 80 mm olan bir dikdörtgen kolon numunesi, kanca açısı ve boyu 112.5° ve 80 mm olan diğer bir dikdörtgen numuneye göre daha sünek davranış göstermiş en az sünekliği ise kanca açısı ve boyu 90° ve 40 mm olan kolon numune göstermiştir. Tüm numunelerde kanca açısının etkisine yüzdelik olarak bakacak olursak, kanca açısı ve kanca boyu 135° ve 80mm olan bir kare ve dikdörtgen kolon numunesi, kanca açısı ve boyu 112.5° ve 80mm numuneye göre süneklikte ve EYK'sında %65 ve üzeri bir artış meydana gelmiştir. Aynı dikdörtgen ve kare numunenin (135° ve 80mm), kanca açısı ve boyu 90° ve 80 mm olan kare ve dikdörtgen numuneye göre süneklik ve EYK'da %150 ve üzeri artışlar meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar kanca boyu 40mm olan numuneler için de elde edilmiştir. Açıklanan sonuçlarla beraber, sargılanma oranının fazla olduğu betonarme kolon daha sünek davranış göstermiş, gerilme-şekildeğiştirme

ilişkisinde düşen kolda kanca açısı ve boyuna bağlı olarak sünekliklerde önemli derecede farklılıklar meydana gelmiştir.

Numunelerde kanca açısı ve boyu değişkenleriyle beraber diğer bir değişken etriyeler arası mesafedir. Deneysel çalışmada 50mm ve 100mm olmak üzere iki farklı etriye arası mesafe denenmiştir. Aynı özelliklere sahip iki betonarme kolon numunesinden etriyeler arası mesafesi 50mm olan numune daha sünek davranmış ve daha fazla enerji hapsedmiştir. R-135-8-NC-S50 numunesinin süneklik değeri 8.75 iken R-135-8-NC-S100 numunesinin süneklik değeri 7.67'dir. Yine R-90-8-NC-S50 numunesinin süneklik değeri 4.55 iken R-90-8-NC-S100 numunesinin süneklik değeri 1.75'dir. Bu durumda etriyeler arası mesafeye bağlı olarak, kanca açısı 135° olan numunelerin sünekliğinde %16'luk, kanca açısı 90° olan numunelerde ise %160 bir farklılık meydana gelmektedir. Aynı özelliklere sahip numuneleri seri olarak karşılaştırdığımızda, R-135-8-NC-S50'nin sünekliğinde, R-90-8-NC-S50'ye göre %92 artış meydana gelirken, R-135-8-NC-S100'ün sünekliğinde, R-90-8-NC-S100'e göre %310'luk bir artış meydana gelmektedir.

DBYBHY(2007)'de belirtilen kanca açısının, kanca boyunun ve etriyeler arası mesafenin dikkate alındığı enine donatıyla sargılanan betonarme kolon numunesi, süneklik ve EYK açısından en iyi sonucu vermiştir.

Matematiksel modellerle yapılan hesaplar ile deney sonuçlarından elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Şekildeğiştirme kapasitesi açısından Mander ve diğ.(1988) ile İlki ve diğ.(2004) modeli dikdörtgen kolon numuneler için ortalama %90 oranında yakın sonuçlar vermiştir. Kare numunelerde süneklik ve EYK açısından en iyi sonucu veren S-135-8-N-S50 numunesinin davranışını en iyi tahmin eden İlki ve diğ.(2004) modeli olmuştur. Dikdörtgen numunelerde ise süneklik ve EYK açısından en iyi sonucu veren R-135-8-NC-S50 numunesinin davranışını en iyi tahmin eden Saatçioğlu ve Razvi (1992) modeli olmuştur.

Modellerle deneysel sonuçlar arasındaki bu küçük farklılıklar göz önünde bulundurularak, sargılı betonun davranışını daha iyi tahmin edecek başka bir matematiksel model bu çalışmadan ortaya çıkacak uluslararası yayınlarda ortaya ortaya koyulacaktır.

KAYNAKLAR

- Akman M.S.** (1990). “Yapı Malzemeleri”, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Akyıldız, A.**(1997).“Betonarme Narin Kolonlarda Boyut Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Anderson, M., Lehman D., Stanton, J.**(2008). “A Cyclic Shear Stress-Strain Model for Joints Without Transverse Reinforcement”, Engineering Structures, Vol. 30, Issue: 4, p.p: 941-954, April.
- Anıl Ö., Belgin M. Ç.** (2007). “Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi”, Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 22, No 1, 191-197.
- Arslan, A. ve Ulucan, Z.Ç.,** “Çelik Liflerin Erken Yaş Betonu Davranışına Etkisi”,TMMOB, İnşaat Müh. Odası, Teknik Dergi, 1997. Cilt 8, Sayı-4.
- ASTM A615/A615M-03A**,(2003). Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- ASTM C1018-94b**, (1998).Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading).
- Berktaş, İ.**(1995). “Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları”, Birsan Yayınevi, Nisan, İstanbul.
- Brauns, J.**(1999). “Analysis of Stress State in Concrete-Filled Steel Column”, Journal of Constructional Steel Research, Sayı:49, Sayfa: 189-196.
- Büyükkuşoğlu, Z.** (1999). “Mantolama Yöntemi ile Güçlendirilmiş/ Onarılmış/ Diriltilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında davranışı”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Canbay, E.**(1995). “Behaviour of High-Strength Concrete Columns Under Eccentric Compression-Tied Columns”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ,Ankara.
- Celep Z., Kumbasar N.**(1998). “Betonarme Yapılar”, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Chan, W.L.**(1955). “The Ultimate Strength and Deformation of Plastic Hinges in Reinforced Concrete Frameworks”, Magazine of Concrete Research, Vol. 7, No. 21, November, pp. 121-132.
- Cıstık, M.**(1998). “Fretli Manto ile Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların (Spiralli ve Dairesel Etriyeli) Eksenel Yük Altında Davranışı”,Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.

- Conrad M., Aufleger M., Husein Malkawi A.I.** “Investigations on the Modulus of Elasticity of young RCC”, Institute of Hydraulic & Water Resources Engineering, Technische Universitaet Muenchen, Germany, 2007.
- Çağlar, Y.** (2002). “Çelik Plaklar ile Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi”, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz.
- Çiftçi, M.C.** (2003). “Niçin Depreme Dayanıklı Yapı Yapamıyoruz?”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli 1993.
- Çivici, F.** (2002). “İki Eksenli Eğilme Altında Lifli Betonların Davranışı””, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Balıkesir.
- DBYBHY** (2007). (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik)
- Demir, F., Korkmaz K.A.** (2008). “Prediction of Lower and Upper Bounds of Elastic Modulus of High Strength Concrete”, Construction and Building Materials, Vol. 22, Issue:7, p.p:1385-1393, July.
- Doğangün, A.** (2010). “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı”, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Dündar, C., Tokgöz, S., Tanrıku, A.K., Baran, T.** (2008). “Behaviour of Reinforced and Concrete-Encased Composite Columns Subjected to Biaxial Bending and Axial Load”, Building and Environment, Vol. 43, Issue: 6, p.p:1109-1120, June.
- Eid, R., Dancygier, A.N.** (2006). “Confinement Effectiveness in Circular Concrete Columns”, Engineering Structures, Sayı:28, Sayfa:1885-1896.
- Elçi, H.** (1998). “Boşluklu Betonarme Kirişlerin Davranışı Boşluk Çevresinde Gerilme Dağılımının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Balıkesir.
- ElMandooh, K., Ghobarah, A.** (2003). “Flexural and Shear Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Columns with Variable Axial Load”, Engineering Structures, Sayı:25, Sayfa: 1353-1367.
- Ergin, E.** (2001). “Betonarme Taşıyıcı Sistemli Yapıların Güçlendirilmesinde Beton Elastisite Modülü Değişiminin Yapısal Çözümlemedeki Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Eriş, T.A.** (2000). “Bileşik Eğilme Etkisindeki Simetrik Donatılı Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Taşıma Gücü Hesabı”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Ersoy, U.** (1987). “Betonarme Cilt 1”, Evrim Basım-Yayın-Dağıtım, İstanbul.
- Gupta, P.K., Sarda, S.M., Kumar, M.S.** (2007). “Experimental and Computational Study of Concrete Filled Steel Tubular Columns Under Axial Loads”, Journal of Constructional Steel Research, Sayı:63, Sayfa:182-193.
- Hadi, M.N.S.** (2007). “The Behaviour of FRP Wrapped HSC Columns Under Different Eccentric Loads”, Composite Structures, Sayı:78, Sayfa: 560-566, 2007.

- Harajli, M.H.**(2006).“Axial Stress-Strain Relationship for FRP Confined Circular and Rectangular Concrete Columns”, *Cement&Concrete Composites*, Sayı:28, Sayfa: 938-948.
- Hognestad, E., Hanson, N.W., McHenry, D.**(1995). “Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design”, *ACI Journal*, V. 52, No. 3, December 1955, pp. 455-480.
- Hossain, K.M.A.** (2003).“Axial Load Behaviour of Thin Walled Composite Columns”, *Composites Part B: Engineering*, Sayı: Part B 34, Sayfa: 715-725.
- İlki, A., Peker, O., Karamuk, E., Demir, C. and Kumbasar, N.** (2006). “Axial behavior of RC columns retrofitted with FRP composites”, *Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction*, Vol. 66, pp. 301-316.
- İlki, A., Kumbasar, N. & Koc, V.** (2004). Low strength concrete members externally confined with FRP sheets. *Structural Engineering and Mechanics*, 18(2): 167-194.
- İnel, M., Özmen, H. B., Bilgin, H.** “Betonarme Elemanların Doğrusal Ötesi Davranışlarının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi”, Tübitak Proje No: 105M024
- Jo B.W., Shon Y.H., Kim Y.J.**(2001). “The Evalution of Elastic Modulus for Steel Fiber Reinforced Concrete”, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 37, No.2.
- Kaba, M.**(1993).“A Comparative Study of Tied Columns Considering Different Confinement Models”, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- Kaltakçı, M.Y., Korkmaz, H.H., Korkmaz S.Z.** (2001).“Betonarme Kolonların Davranışına Etken Olan Tasarım Değişkenleri Üzerine Bir İnceleme” DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:3, Sayı:3, Sayfa: 11-32, Ekim 2001.
- Kaltakçı, M.Y., Köken, A., YILMAZ, Ü.S.**(2006). “Eksenel yük altındaki çelik lifli ve lifsiz etriyeli betonarme kolonların davranışının deneysel ve analitik olarak incelenmesi” Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi. Cilt: 8 Sayı: 1 s. 65-85, Ocak.
- Kaltakçı, M.Y., Köken, A.** (1998). “An Experimental And Analytical Investigation On Axially Loaded Reinforced Concrete Column Behaviour”, *Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*,13,2,10-17.
- Kaltakçı, M.Y. Yılmaz, Ü. S.**(2003). “Eksenel Yük Etkisindeki Çelik Lif Takviyeli Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışı”, *Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 18, 1, 55-64.
- Kaminski, M., Trapko, T.**(2006). “Experimental Behaviour of Reinforced Concrete Column Models Strengthened by CFRP Materials”, *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol:XII, No:2,109-115.
- Kappos A.J.** (1991). ‘Analytical Prediction of the Collapse Earthquake for RC Buildings: Suggested Methodology’, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 20(2), 167–176.

- Kent, D.C. and Park, R.** “Flexural Members with Confined Concrete”, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, No. ST7, July, 1971, pp. 1969-1990.
- Köken, A.**(1997).“Experiments For Teaching Reinforced Concrete Behaviour”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Kumutha, R., Vaidyanathan, R., Palanichamy, M.S.**(2007).“Behaviour of Reinforced Concrete Rectangular Columns Strengthened Using GFRP”, Cement&Concrete Composites, Sayı:29, Sayfa: 609-615.
- Kurugöl, S., Tanaçan L., Ersoy, H.Y.**(2008). “Young’s Modulus of Fiber-Reinforced and Polymer-Modified Lightweight Concrete Composites”, Construction and Building Materials, Vol. 22, Issue:6, p.p:1019-1028, June.
- Kwon, M., Spacone, E.**(2002) “Three Dimensional Finite Element Analyses of Reinforced Concrete Columns”, Computers&Structures Sayı:80, Sayfa: 199-212.
- Mander, JB, Priestley, M.J.N and Park, R.**(1988). Observed Stress-Strain Behaviour of Confined Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8:1827-49.
- Ngo, T.D., Mendis, P.A., Teo, D, Kusuma, G.**(2003) “Behaviour of High-Strength Concrete Columns Subjected to Blast Loading”, University of Melbourne, Australia.
- Mander, JB, Priestley, MJN, and Park, R.**(1988). “Theoretical stress-strain model for confined concrete.” J. Struct. Div., ASCE, 114(8), 1804–1825.
- Özcebe, G.**”http://www.ce.metu.edu.tr/~betonarmepdfBolum1_2.pdf”, Ders Notları”.
- Özmen, H.B., İnel, M., Bilgin, H.**(2007). “Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 22, No 2, 375-383, 2007 Vol.
- Park, R., Priestly M.J., Gill, W.D.,** (1982).“Ductility of Square Confined Concrete Columns”, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 108, ST4, April, pp. 929-950.
- Penelis G.G., Kappos A.J.**(1997) “Earthquake-Resistant Concrete Structures”. E&F Spon, London.
- Roy, H.E.H., Sözen, M.A.**(1964). “Ductility of Concrete”, Proceedings of the International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ASCE-ACI, Miami, November, pp. 213-224.
- S.,Bikçe, M.**(2003). “Türkiye’de Son Depremlerde Sıkça Görülen Donatı Yerleştirme Hataları”, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs, İstanbul.
- Sargin, M.**(1971).“Stress-Strain Relationships for Concrete and the Analysis of Structural Concrete Sections”, Study No. 4, Solid Mechanics Division, University of Waterloo, Canada, 1971, 167 pp.212

- Saatcioglu, M., Razvi S.R.**(1992). “Strength and Ductility of Confined Concrete”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6, pp. 1590-607.
- Sharif, A., Rahman, M.K., Al-Gahtani, A.S.**(2006). Hameeduddin, M., “Behaviour of Patch Repair of Axially Loaded Reinforced Concrete Beams” Cement&Concrete Composites, Sayı:28, Sayfa: 734-741.
- Shehata, I.A.E.M., Carneiro, L.A.V., Shehata, L.C.D.**(2002). “Strength of Short Concrete Columns Confined with CFRP Sheets”, Materials and Structures, Sayı:35, Sayfa:50-58.
- Sheikh, S.A. and Üzümeri, S. M.**(1982).“Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns”, Journal of the Structural Division, Vol. 108, No. 12, December 1982, pp. 2703–2722.
- Sheikh, S.A. and Üzümeri, S. M.**(1980). “Mechanism of Confinement in Tied Columns”, Proceedings of 7th World Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, September 8-13, 1980, pp. 71-78.213
- Shkolnik, I.E.**(2005).“Effect of Nonlinear Response of Concrete on its Elastic Modulus and Strength”, Cement&Concrete Composites, Sayı:27,Sayfa: 747-757.
- Soliman, M.T.M., Yu, C.M.**(1967).“The Flexural Stress-Strain Relationship of Concrete Confined by Rectangular Transverse Reinforcement”, Magazine of Concrete Research, Vol. 19, No. 61, December, pp. 223-238.
- Tokgöz, S., Dündar, C., Tanrikulu, A.K., Çağatay, İ.H.**(2005). “Eğik Eğilme ve Eksenel Basınca Maruz Poligonal Kesitli Betonarme ve Kompozit Kolonların Davranışı” Eylül .
- Topçu,A.**(2008)”http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu/Betonarme1/Betonarme_1_2.pdf”,Der s Notları.
- Türkel, E.B.**(2002). “Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uğurlu, A.** (1994).“Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton”, TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü,Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Kasım 1994, Ankara.
- Vallenas, J., Bertero V.V., Popov, E.P.,** (1977).“Concrete Confined by Rectangular Hoops and Subjected to Axial Loads”, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, Universty of California, Report No. UCB/EERC-77/13, August, 114 pp.
- Wang, Y.C., Hsu, K.**(2008). “Design of FRP-Wrapped Reinforced Concrete Columns for Enhancing Axial Load Carrying Capacity”, Composite Structures, Vol. 82, Issue:1, p.p:132-139, January.
- Woods, J.M., Kiouisis P.D., Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H., Fritz, W.**(2007). “Bending Ductility of Rectangular High Strength Concrete Columns”, Engineering Structures, Sayı:29, Sayfa: 1783-1790.

- Yalduz, F.C.**(1997) “Uniaxially Loaded Normal Strength Concrete Spiral Columns”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Yılmaz, Ü.S.**(2001). “Ekenel Yük Etkisindeki Çelik Tel Fiber Takviyeli Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışı”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yuva, Y.** (1996).“Experimental and Analytical Study on the Seismic Behavior of Reinforced Concrete Frame Structures”, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi.
- Zhang, S., Liu, J.**(2007).“Seismic Behavior and Strength of Square Tube Confined Reinforced Concrete (STRC) Columns”, Journal of Constructional Steel Research, Sayı:63, Sayfa: 1194-1207.

EKLER

EK A: Numunelerin Göçme Modlarına Ait Resimler



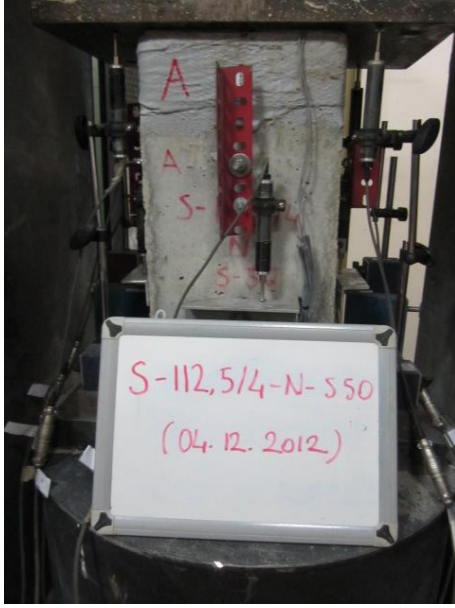
Şekil A.1: S-Ref numunesinin göçme modu resimleri



Şekil A.2: S-90-4-N-S50 numunesinin göçme modü resimleri



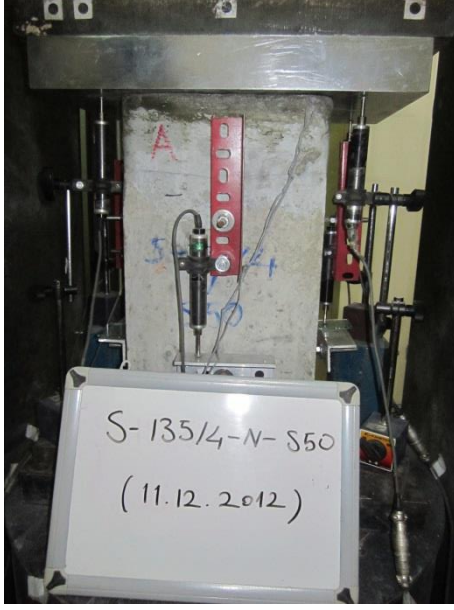
137



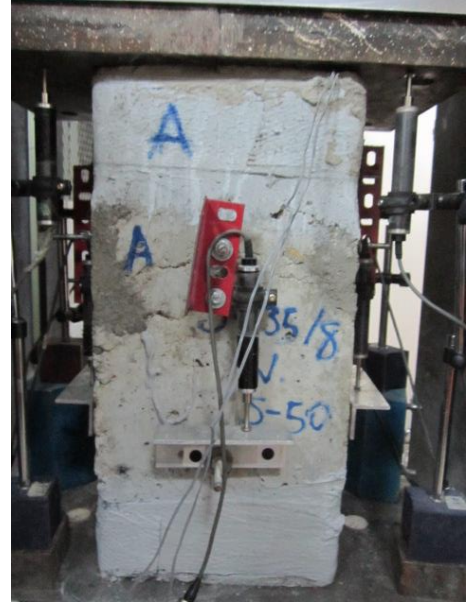
Şekil A.4: S-112.5-4-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri



Şekil A.5: S-112.5-8-N-S50 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.6: S-135-4-N-S50 numunesinin göçme modü resimleri



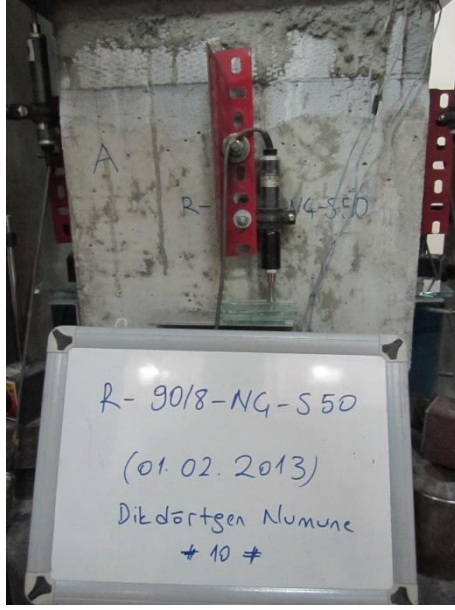
Şekil A.7: S-135-8-N-S50 numunesinin göçme modu resimleri



Şekil A.8: R-90-4-NC-S50 numunesinin göçme modu resimleri



Şekil A.9: R-90-4-NC-S100 numunesinin göçme modü resimleri



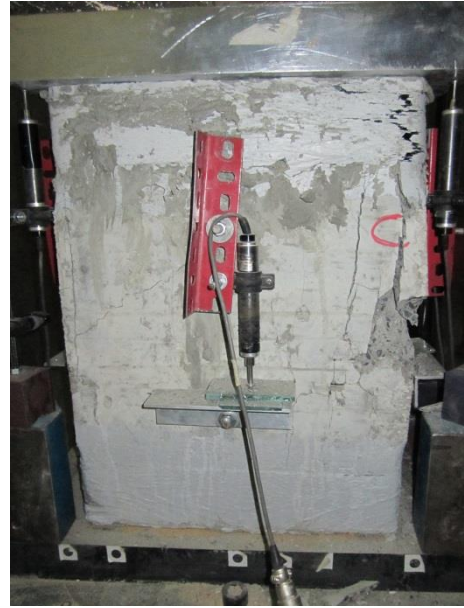
Şekil A.10: R-90-8-NC-S50 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.11: R-90-8-NC-S100 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.12: R-112.5-4-NC-S50 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.13: R-112.5-4-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri



Şekil A.14: R-112.5-8-NC-S50 numunesinin göçme modü resimleri



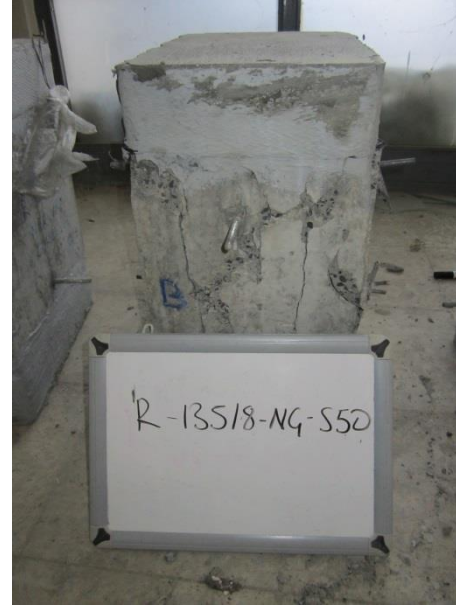
Şekil A.15: R-112.5-8-NC-S100 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.16: R-135-4-NC-S50 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.17: R-135-4-NC-S100 numunesinin göçme modu resimleri



Şekil A.18: R-135-8-NC-S50 numunesinin göçme modü resimleri



Şekil A.19: R-135-8-NC-S100 numunesinin göçme modü resimleri

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İlyas SARIBAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kilis-1987

Adres:Hunca Cad. Yeni Mah. No:3/1/1, Bahçeköy/Sarıyer/İstanbul

E-Posta:saribasilyas@itu.edu.tr

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Vatan Yapı (Kontrol Müh.) ,

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi&İstanbul

Teknik Üniversitesi (Araştırma Görevlisi)