

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİFLİ POLİMERLE KUŞATILMIŞ KARE VE DİKDÖRTGEN KESİTLİ  
BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞI**

**İnşaat Mühendisi Ahmet Tuğrul TOY**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Orhun KÖKSAL**

**İSTANBUL, 2008**

## İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
2. KUŞATILMIŞ VE KUŞATILMAMIŞ BETON DAVRANIŞI.....	4
2.1 Genel.....	4
2.2 Beton Kuşatması.....	4
2.2.1 Kuşatılmamış Beton Davranışı.....	4
2.2.1.1 Beton Davranışı.....	6
2.2.2 Eksenel Yük Etkisindeki Beton Modeller.....	6
2.2.2.1 Hognestad Modeli.....	6
2.2.2.2 Sheikh ve Üzümeri Modeli.....	8
2.2.3 Kuşatılmış Beton Davranışı.....	9
2.2.3.1 Kuşatmayı Etkileyen Faktörler.....	11
2.2.3.2 Mander Modeli.....	12
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	15
3.1 Giriş.....	15
3.2 Gelişmiş Kompozit Malzemeler.....	15
3.2.1 Lifli Polimer Mekanizması.....	16
3.3 Lifli Polimerin'in Malzeme Özellikleri.....	17
3.3.1 Lif Özellikleri.....	17
3.3.2 Kompozit Malzemede Kullanılan Lifler.....	17
3.3.2.1 Karbon Lif.....	17
3.3.2.2 Cam Lif.....	19

3.3.2.3	Aramid Lif.....	19
3.4	Matris Özellikleri.....	21
3.5	Lifli Polimer Malzemesinin Avantajları.....	22
3.5.1	Lifli Polimer Aplikasyonları.....	23
3.5.2	Lifli Polimer Sistemi ve Etriye Sistemi Karşılaştırılması.....	24
3.5.3	İmalat Süresi.....	24
4	LİFLİ POLİMERLE KUŞATILMIŞ BETON DAVRANIŞI İÇİN MODELLER.....	25
4.1	LP Sargılı Modeller.....	25
4.1.1	Saadatmanesh Sargı Modeli.....	25
4.1.2	Fardis ve Khalili Sargı Modeli.....	26
4.1.3	Miyauchi Sargı Modeli.....	27
4.1.4	ACI 440 Sargı Modeli.....	29
4.1.5	Lam ve Teng Sargı Modeli .....	30
4.1.6	Youssef Sargı Modeli.....	33
4.1.7	Challal Sargı Modeli.....	34
4.1.8	Koksal Modeli.....	34
5.	DENEYSEL VERİ TABANI BAZINDA MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	38
5.1	Giriş.....	38
5.2	Tablolar ve Değerlendirme.....	38
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
	KAYNAKLAR.....	73
	ÖZGEÇMİŞ.....	77

## SİMGE LİSTESİ

- A : Kuşatılmış beton kesit alanı
- $A_e$  : Etkin kuşatılmış beton çekirdek alanı
- $A_c$  : Kuşatılmamış beton kesit alanı
- $A_g$  : Kolon kesitinin toplam alanı (yuvarlatılmış köşeler ile birlikte)
- $A_{sp}$  : Spiral donatı kesit alanı
- $A_j$  : FRP sargının birim kesit alanı
- b : Kesit genişliği
- d : Kesit boyutu
- D : Eşdeğer kolon çapı
- E : Elastisite modülü
- $E_c$  : Beton elastisite modülü
- $E_{frp}$  : Lifli polimerin elastisite modülü
- $E_{sec}$  : Sekant modülü
- $\epsilon_c$  : Betondaki birim şekil değiştirme
- $\epsilon_{co}$  : Kuşatılmamış beton birim şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{cc}$  : Kuşatılmış beton birim şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{s1}$  : Sheikh ve Üzümeri modeli (1982) eğrisinde sabit gerilmenin başladığı deplasman
- $\epsilon_{s2}$  : Sheikh ve Üzümeri modeli (1982) eğrisinde sabit gerilmenin bittiği deplasman
- $\epsilon_t$  : Lam ve Teng FRP ile kuşatılmış model eğrisinin eğiminde 2 eğri arası geçiş noktası
- $\epsilon_j$  : FRP'nin çevresel yırtılma birim deplasmanı
- $f_c$  : Beton aksenal basınç gerilmesi
- $f_{co}$  : Kuşatılmamış beton mukavemeti
- $f_{cc}$  : Kuşatılmış beton taşıma gücü
- $f'_l$  : Betondaki etkin kuşatma gerilmesi
- $f_l$  : Betondaki kuşatma gerilmesi
- $f_{cp}$  : Kuşatılmamış beton basınç mukavemetidir
- $f_{yh}$  : Kuşatılmış betonda çeliğin akma gerilimi

$f_{frp}$	: FRP sargı mukavemeti
$h$	: Kesit yüksekliği
$k$	: Etkin kuşatma katsayısı
$k_e$	: CFRP etkinlik katsayısı
$k_s$	: Biçim faktörü
$k_{s1}$	: Biçim faktörü
$k_1$	: Etkin kuşatma katsayısı
$k_2$	: Etkin kuşatma katsayısı
$\sigma_1$	: Kuşatılmış beton basınç dayanımı
$\sigma_2$	: 2 doğrultusundaki kuşatma gerilmesi
$\sigma_3$	: 3 doğrultusundaki kuşatma gerilmesi
$\alpha$	: Gerilme çarpan katsayısı
$\theta$	: Kuşatılmış beton alanı eğrisinin başlangıç eğim açısı
$\lambda$	: Etkin kuşatılmış beton alanının çekirdek alanına oranı
$\rho_{fe}$	: Kuşatma donatısının hacimsel oranı
$\rho_s$	: Çelik güçlendirme oranı kesite oranı
$r$	: beton kesit köşelerinin yuvarlama yarıçapı
$s$	: Kuşatma donatıları arasındaki adım mesafesi
$s'$	: Kuşatma donatıları arasındaki temiz mesafe
$t$	: FRP sargı kalınlığı
$x$	: Beton birim şekil değiştirmesine bağlı fonksiyon
$d_s$	: Boylamsal doğrultudaki spiral merkezlerin çapı
$\mu$	: Poisson oranı
$\xi$	: Hidrostatik uzunluk

## KISALTMA LİSTESİ

LP	: Lifli polimer
FRP	: Fiber Reinforced Polymer (Lifli Polimer)
CFRP	: Karbon katkılı FRP
GFRP	: Cam katkılı FRP
AFRP	: Aramid katkılı FRP

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Lifli Polimer malzeme ve tasarımı ile ilgili teknik yayın sayısı (ACI).....2
Şekil 2.1	Betonun ve bileşenlerinin $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği (Collins and Mitchell, 1997).....5
Şekil 2.2	Yüklemeye altındaki silindirik kolonların tipik gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi (Collins and Mitchell, 1997).....5
Şekil 2.3	Hognestad modeli (1951).....7
Şekil 2.4	Sheikh ve Üzümeri modeli (1982).....8
Şekil 2.5	Kuşatılmış beton kesiti (Park and Paulay,1975).....10
Şekil 2.6	Yanal kuşatma basıncının $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiğindeki etkisi (Richart et al 1928).....11
Şekil 2.7	Gerilme – birim şekil değiştirme modeli (Mander et al, 1988) .....14
Şekil 3.1	Tipik LP Gerilme – birim şekil değiştirme modeli grafiği .....17
Şekil 3.2	Karbon lifi kompozitlerin, diğer geleneksel malzemelerle karşılaştırılması .....18
Şekil 3.1	Değişik Lif Tiplerinin Gerilme – Birim Şekil Değiştirme Grafiği .....22
Şekil 4.1	LP ile kuşatılmış Model (Lam and Teng).....33
Şekil 5.1	Saadatmanesh Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....45
Şekil 5.2	Challal Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....46
Şekil 5.3	Concrete Society Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....47
Şekil 5.4	ACI Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....48
Şekil 5.5	Youssef Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....49
Şekil 5.6	Lam ve Teng Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....50
Şekil 5.7	CSA Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....51
Şekil 5.8	Miyauchi Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....52
Şekil 5.9	Koksal ( I ) Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....53
Şekil 5.10	Koksal ( II ) Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....54
Şekil 5.11	Koksal ( III) Sargı Modeli $f_{cc}$ (deneysel) – $f_{cc}$ (teorik) grafiği.....55
Şekil 5.12	Fardis ve Khalili Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....56
Şekil 5.13	Fardis ve Khalili Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....57
Şekil 5.14	Fardis ve Khalili Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....58

Şekil 5.15	Fardis ve Khalili Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	59
Şekil 5.16	Fardis ve Khalili Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	60
Şekil 5.17	Fardis ve Khalili Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	61
Şekil 5.18	Saadatmanesh Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	62
Şekil 5.19	Saadatmanesh Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	63
Şekil 5.20	Saadatmanesh Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	64
Şekil 5.21	Saadatmanesh Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	65
Şekil 5.22	Saadatmanesh Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	66
Şekil 5.23	Saadatmanesh Sargı Modeli $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği.....	67
Şekil 5.24	Koksal, Fardis&Khalili, Saadatmanesh Sargı Modelleri $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği..	68
Şekil 5.25	Koksal, Fardis&Khalili, Saadatmanesh Sargı Modelleri $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği..	69
Şekil 5.26	Koksal, Fardis&Khalili, Saadatmanesh Sargı Modelleri $\sigma_c - \varepsilon_c$ grafiği..	70



## TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Kompozitte kullanılan tipik liflerin mekanik özellikleri (ISIS Canada Design Manual No. 3,2001).....	22
Tablo 3.2	Tipik matris malzemelerinin özellikleri (ISIS Canada Design Manual 2001) .....	24
Tablo 4.1	LP modellerin $f'_{cc}$ ve $\epsilon_{cc}$ formül kıyaslamaları.....	39
Tablo 5.1	Harajlı Modelinde kullanılan numuneler ve özellikleri.....	40
Tablo 5.2	LP modellerin $f'_l$ ve $f'_t$ formül kıyaslamaları.....	41
Tablo 5.3	Geometrik Boyutlar ve Malzeme Özellikleri.....	44
Tablo 6.1	Sargı Modellerinin önermeleri ile elde edilen Ortalama ve Standart Sapma Değerleri.....	72

## ÖNSÖZ

Her yıl depremler sebebiyle ülkemizde ve dünyamızda yüksek oranda can kaybı ve ciddi maddi hasarlar meydana gelmektedir. Bu sebeple araştırmacılar, depremi her yönüyle daha iyi kavramaya ve analiz etmeye başlamışlardır. Deprem açısından riskli bölgelerde, yapılar uygun bir şekilde güçlendirilmek için çeşitli teknikler ve yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerin en etkili yolu kolonların kuşatma basıncında yapılan iyileştirme olmakla birlikte, bu tekniğin en etkili ve hızlı tekniği ise LP kuşatmasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, betonarme kolonların aksenal yük eksi altında LP sargılı kuşatma davranışları incelenmiştir.

Lisansüstü eğitimim boyunca bana her konuda yardımcı olan, beni yönlendiren, çalışmamın tamamlanmasında yardımını gördüğüm ve bana manevi desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Hasan Orhun KÖKSAL'A, her türlü yardım, öneri ve yönlendirmesini esirgemeyen değerli hocam sayın Yard. Doç. Dr. Bilge DORAN'A tüm içtenliğime teşekkür ederim.

Yaptığım çalışmalarımda tüm olanakları sağlayan ve her zaman yanımda olan çok değerli babam Yaşar TOY, çok değerli annem Aysel TOY, ablam Özlem BALCI ve kardeşim Merve TOY'A teşekkür ediyor ve sevgilerimi sunuyorum.

## ÖZET

Betonarme kolonlar için geleneksel çelik etriyeli kuşatma metodu yıllar boyunca tasarımcılar tarafından kullanılmıştır. Buna paralel olarak, betonarme kolon davranışı ile ilgili çok sayıda bilimsel araştırma yapılmıştır. Ayrıca; mevcut zayıf betonarme kolonlar için de mukavemeti ve sünekliği arttırmak için çeşitli güçlendirme yöntemleri de kullanılmaktadır. En yaygın uygulama olan mantolama, kolona ekstra çelik etriyeli kafes örülüp üzerine yeni beton malzeme eklenerek yapılır. LP kuşatma mekanizması ise günümüz teknolojisinde gelişmekte olan ve geleneksel yöntemlerin yerini almaya başlayan bir uygulamadır. LP; kompozit malzemesi epoksi reçine ile kolonun dış yüzeyine yapıştırılarak uygulanır ve pasif bir kuşatma etkisi yaratır. Artan yükler altında genişlemeye çalışan betona yanal bir kuşatma uygulayarak beton ve/veya betonarme elemanların aksel dayanımının ve özellikle sünekliğinin önemli ölçüde artmasını sağlar.

Bu araştırmanın başlıca amacı, literatürde sıklıkla incelenen dairesel kolonların yerine pratikte son derece yaygın olarak kullanılan kare ve dikdörtgen kesitli betonarme kolonlarda yanal kuşatmanın lifli polimer ile sağlanması durumunda meydana gelecek mukavemet artışını irdelemektir. Literatürde mevcut bulunan bünyesel modellerin başlıcaları incelenerek, son derece geniş bir deneysel veri tabanı kapsamında, önerilen bünyesel bağıntıların etkinliği araştırılmıştır. Bundan başka, gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi için önerilmiş bağıntılar da deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve modellerin performansları incelenmiştir. Bu karşılaştırmalar sonucunda: Saadatmanesh ve Miyauchi Sargı Modellerinin kolon taşıma gücü için genellikle deneysel sonuçlardan daha büyük değerler verdiği saptanmıştır. Youssef ve CSA Sargı Modellerinden ise daha güvenli tarafta kalan düşük tahminler elde edilmiştir. Lam ve Teng, Challal, ACI, Concrete Society ve Koksal Sargı modelleri, deneysel verilere ve birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Koksal ve ACI modellerinin en iyi performansı gösterdikleri görülmüştür.

## **ABSTRACT**

Conventionally reinforced concrete columns or typical externally confined concrete columns have been used for many years. Huge number of researches has been behaviour of RC columns. Moreover, several retrofitting methods have been used for insufficient existing RC columns to increase both the strength and ductility including adding an additional steel cage to the inner surface of the existing column. FRP wraps is a new form of technology to replace the traditional rebar retrofit system. FRP wraps are composite material that can be attached to the existing column and used with epoxy resin. FRP wraps can provide passive confinement to the concrete column applying lateral pressure to the laterally expanding concrete under increasing loads and increases axial strength and ductility.

This study primarily concentrates on FRP confined specimens with square and/or rectangular sections under axial loading that have been used mostly in engineering practice rather than circular columns. Although there are several analytical and experimental studies about circular columns, this study involves a wide range of experimental data of 203 test specimens with square and rectangular cross sections and the stress–strain behaviour of six specimens are plotted using Saadatmanesh, Fardis-Khalili and Koksai Model. The analytical models of Saadatmanesh and Miyauchi models overestimated the ultimate strength of columns. On the other hand stress strain models of Youssef and CSA models overestimated the axial behaviour of test specimens. The models of Lam and Teng, Challal, ACI, Concrete Society and Koksai models have approximately same mean values the ratio of theoretical strength to the experimental one. Koksai and ACI models show the best performance for the predictions of the strength

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

### 1.1 Genel Bilgiler

Günümüzde, betonarme kolonda oluşabilecek kısmi hasarların yapının tümüne zarar verebileceği hatta yapının göçmesine neden olabileceği bilinmektedir. Çoğunlukla kolonlar, dış yüklere özellikle; sismik yükler, patlamalar vb etkilerine maruz kalabilmektedir. Kolonlar; yük etkisi, kullanım, çevresel faktörler ve inşaat çeliğinin korozyonundan doğabilecek zararlara karşı daha farklı tasarlanabilir ancak bu tasarımdaki farklılıklardan dolayı yapıda düzensizlikler veya eksiklikler oluşabilir. Deprem yüküne karşı sadece yüksek mukavemet yeterli olmamakta aynı zamanda yapının yüksek bir süneklik seviyesine ihtiyacı bulunmaktadır. Beton için geliştirilen kuşatma mekanizmalarının etkili bir teknik olarak düktiliteyi önemli oranda arttırdığı ve mukavemeti de az da olsa yükselttiği ispatlanmıştır.

Kuşatılmış beton ile ilgili geçtiğimiz yüzyıldan beri sayısız çalışma yapılmıştır. İlk kez 1903'de Considere, yanal gerilmelerin beton mukavemeti ve deformasyonu üzerindeki etkilerinin farkına varmıştır. Betonlarda en sık kullanılan kuşatma mekanizmaları çelik spiral veya etriyeli sistem olmuştur. Burada da dairesel spiraller ile sağlanan kuşatmanın etriye ye göre daha uygun sonuçlar verdiği deneysel çalışmalarla saptanmıştır.

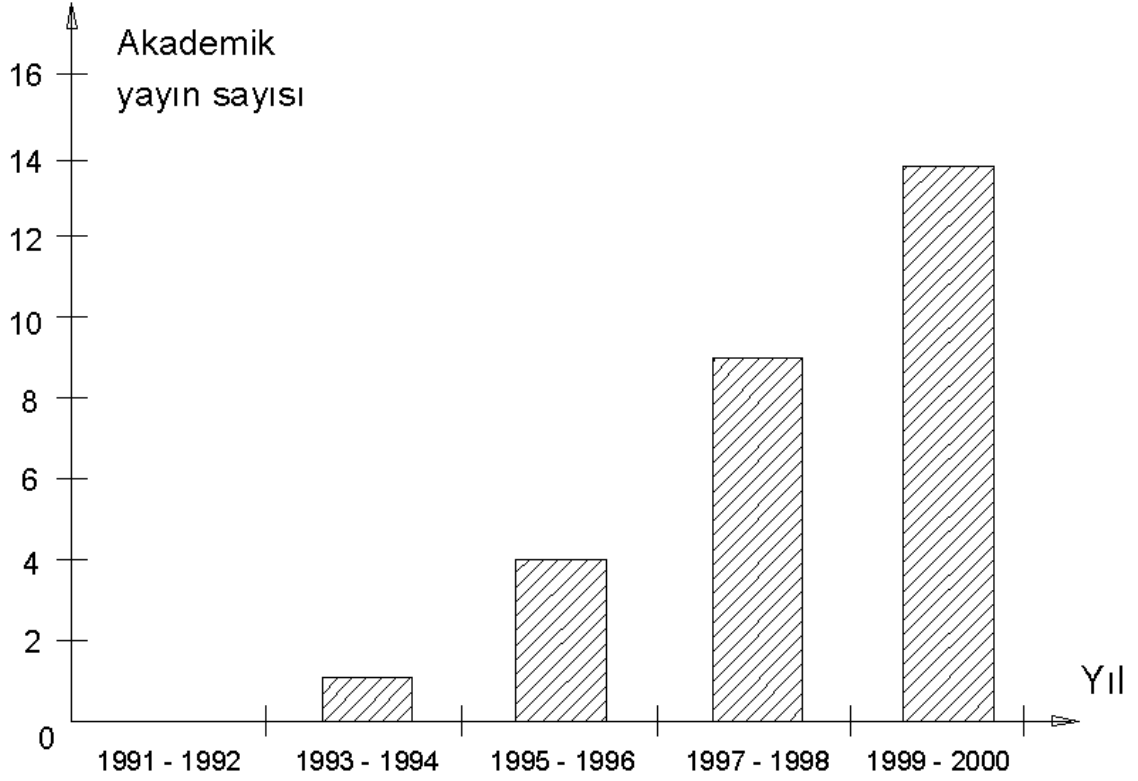
Çelik etriyeler betona etkili bir kuşatma verse de, zamanla korozyona uğrar; korozyon kolonun taşıma gücünü etkilemektedir, bu kolona ve ayrıca doğrudan bağlantılı olarak yapıya zarar vermek ve yapı güvenliğinin riski anlamına gelir.

Korozyon özellikle Kuzey Amerika gibi korozyon etkilerinin yoğun olduğu yerlerde, son derece zararlı olabilmektedir. Bu tip nem oranının yoğun olduğu bölgelerde köprü viyadük gibi yapılardan yaşlı olanların bir an önce onarım ve/veya güçlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. Özellikle artan servis yükleri, trafik yoğunluğu gibi etkiler düşünüldüğünde bu tip yapılarda yıpranma daha hızlı olmaktadır.

1990'ların ikinci yarısından itibaren Lifli Polimer Mekanizması (LP) inşaat mühendisliği alanında güçlendirme ve onarımı için kabul görmeye başlamıştır. Bu tip yüksek performanslı malzemeler (özellikle içerdiği yüksek mukavemetli sentetik lif içerikli polimer matris) kendine has özelliklere sahiptir. Yüksek mukavemet – ağırlık

orani, yüksek korozyon direnci ve elektromanyetik olarak nötr olması gibi özellikler inşaat mühendisliği alanında ilgi görmesinin başka nedenleridir.

Ayrıca günümüzde Lifli Polimerler ile ilgili bilimsel araştırmalar geçmiş yıllara göre gelişen teknolojinin ve alternatif malzeme ihtiyacının etkisiyle Şekil 1.1 grafiğinde görüldüğü gibi artış göstermektedir



Şekil 1.1: Son yıllarda Lifli Polimer malzeme ve tasarımı ile ilgili teknik yayın sayısı  
(American Concrete Institute, American Society of Civil Engineers)

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, lifli polimer ile kuşatılmış betona ait mekanik parametreler birçok araştırmacı tarafından önerilen bünyesel modeller yardımıyla ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar literatürde yer alan, kabul görmüş deneysel verilerle karşılaştırılarak irdelenmiştir. İlerleyen bölümlerde;

- Pratikte dairesel kolonlara nazaran çok daha fazla kullanılan kare ve dikdörtgen kesitli beton/betonarme kolonlarda uygulanan lifli polimerle sargı davranışını incelenmesidir. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda verilmiştir:
- Kuşatılmış ve kuşatılmamış (etriyeli kuşatma) beton elemanların davranışları incelenmiş, LP malzemesi; avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek kuşatma sistemi olarak kullanılmasının nedenleri vurgulanmıştır.
- Kare ve dikdörtgen betonda LP kuşatması konusunda literatür taraması yapılarak oldukça geniş bir deneysel veri tabanı literatürden derlenerek hazırlanmıştır.
- Kare ve dikdörtgen betonda LP kuşatması sonucu oluşacak eksenel gerilme-birim kısalma davranışı için verilen modeller incelenmiş ve karşılaştırma amacıyla özetlenmiştir.
- İncelenen modellerin kendi arasında karşılaştırılmıştır.
- Mevcut olan deneysel grafikler temel alınarak eksenel gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir.
- Deneysel numunelerin analizleri; ACI, CSA, Concrete Society, Saadatmanesh, Miyauchi, Lam and Teng, Youssef, Challal, Fardis and Khalili Sargı Modellerinin önerdiği bağıntılar kullanılmıştır. Ayrıca bu modeller doğrultusunda yapılan analizler Koksal Modelindeki yaklaşımla sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneysel numunelerin incelenmeleri; ACI, CSA, Concrete Society, Saadatmanesh, Miyauchi, Lam ve Teng, Youssef, Challal, Fardis ve Khalili Sargı Modellerinin önerdiği bağıntılar kullanılmış ayrıca Koksal modelindeki yaklaşımla da deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## **BÖLÜM 2**

### **KUŞATILMIŞ VE KUŞATILMAMIŞ BETON DAVRANIŞI**

#### **2.1 Genel**

Bu bölümde kuşatılmamış ve kuşatılmış beton davranışı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Betonun; çelik ve LP kuşatmasının mekanizması tanıtılmış ve kuşatma mekanizmasına etkiyen faktörler irdelenmiştir. LP'nin yapı mühendisliğindeki mekanik özellikleri, avantajları ve uygulamaları anlatılmıştır.

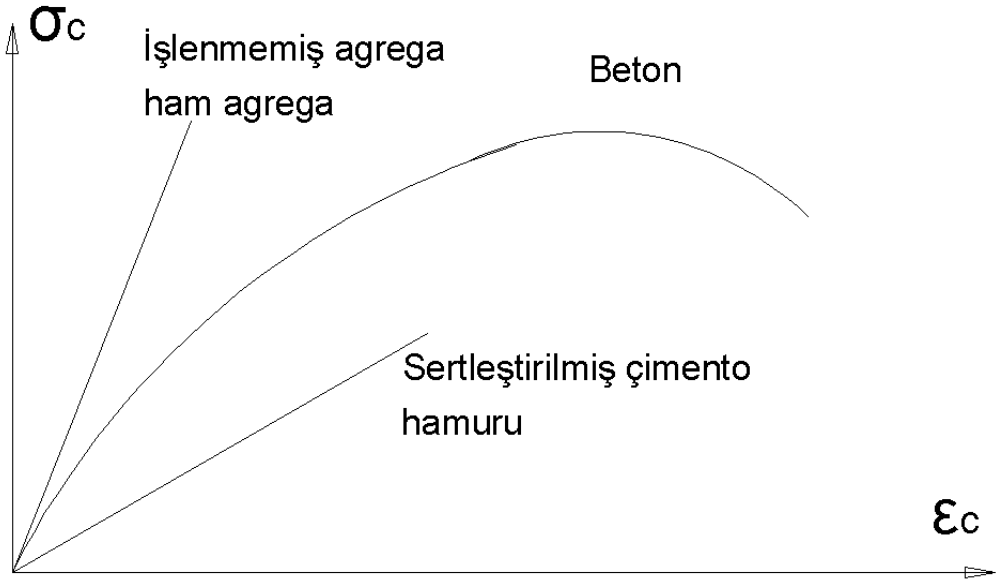
#### **2.2 Beton Kuşatması**

##### **2.2.1 Kuşatılmamış Beton Davranışı**

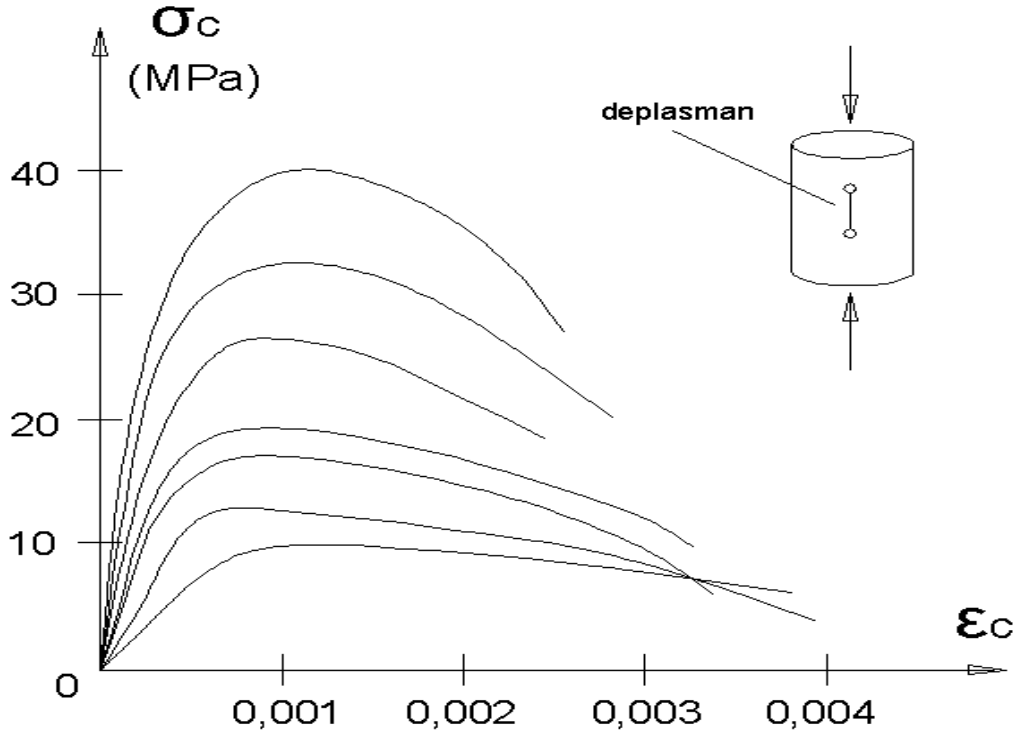
Önceki deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, betonu oluşturan agrega ve çimento hamurunun deneysel sonuçları grafik üzerinde incelendiğinde agrega ve betonun doğrusal eğri verdiği bununla birlikte beton elemanın deneysel sonuçlara göre; eğrinin Şekil 2.1'de doğrusal olmadığı görülmektedir. (Collins and Mitchell 1997)

Genel olarak agrega çimento hamuruna göre daha güçlü ve rijittir. Betonun “gerilme – birim şekil değiştirme” eğrisi, agrega ve çimento hamurunun arasındaki aderansın etkisine bağlı olarak gerilmelerde bir artış gösterir. Ardından önce agrega ve çimento hamuru arasında mikro çatlaklar başlamaktadır. Betonda ortaya çıkan doğrusal olmayan davranışın en önemli nedeni, çatlak oluşumu ve gelişimidir. Göçmeye yakın boylamsal doğrultuda büyük çatlaklar oluşur ve betonda yanal genleşmeler başlar.





Şekil 2.1: Betonun ve bileşenlerinin "gerilme – birim şekil değiştirme grafiği  
(Collins and Mitchell, 1997)



Şekil 2.2: Yükleme altındaki silindirik kolonların tipik gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi (Uğur Ersoy, 1975)

Beton basınç mukavemeti genellikle yükseklik – çap oranı 2 olan silindir numuneler yardımıyla hesaplanır. Şekilde gösterildiği gibi tipik  $\sigma_c - \varepsilon_c$  eğrileri görülmektedir. Beton mukavemeti arttıkça düktilite düşer, rijitlik artar ve eğrinin doğrusallığı artar.

### **2.2.1.1 Beton Davranışı**

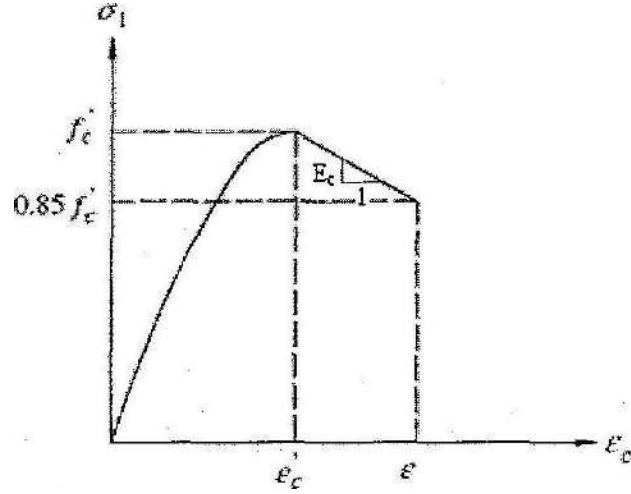
Beton davranışı son yüzyıllarda araştırmacılar tarafından yaygınca araştırıldı ve araştırmaların sonucunda, beton davranışını etkileyen bazı faktörlere ulaşılmıştır, bunlar; su – çimento oranı, kür mekanizması ve yaşı betonun davranışını etkilemektedir. Beton davranışı; beton harcından alınan silindir numunenin aksenal yük altındaki deneyleri ile saptanmaktadır. Beton, mukavemetinin büyük bir kısmını üretimden 28 gün sonra kazanır, bu aşamada ise numunenin alındığı harcın kür mekanizması genel mukavemeti etkiler. 28 günlük silindirler numunelerinin test sonuçlarından gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi belirlenir.

### **2.2.2 Aksenal Yük Etkisindeki Beton Modelleri**

#### **2.2.2.1 Hognestad Modeli**

Hognestad tarafından kuşatılmamış beton için önerilen model Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Modelde,  $\sigma - \varepsilon$  eğrisinin tepe noktasına kadar olan kısım ikinci dereceden bir parabol, eğimi azalan parça ise, bir doğru olarak kabul edilmiştir. Maksimum gerilme genelde kolonlardaki boyut etkisi nedeni ile beton silindir dayanımının %85'i olarak alınır ( $f_c = 0.85 f_{ck}$ ). Maksimum gerilmeye karşı gelen birim kısalma,  $\varepsilon_{co} = 0.002$  alınabilir. Modeldeki elastisite modülü  $E_c$  için Hognestad tarafından aşağıdaki (2.1) denklemi önerilmiştir.

$$E_c - \tan \alpha = 12680 + 460 f_c \text{ (MPa)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.3: Hognestad modeli (1951)

Eğrinin tepe noktasına kadar olan kısmı

$$f_c = f'_c \left[ \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

ile ifade edilmiştir.

Kuşatılmamış betonun en büyük gerilmesine karşılık gelen  $\varepsilon'_c$  birim şekil değiştirmesi

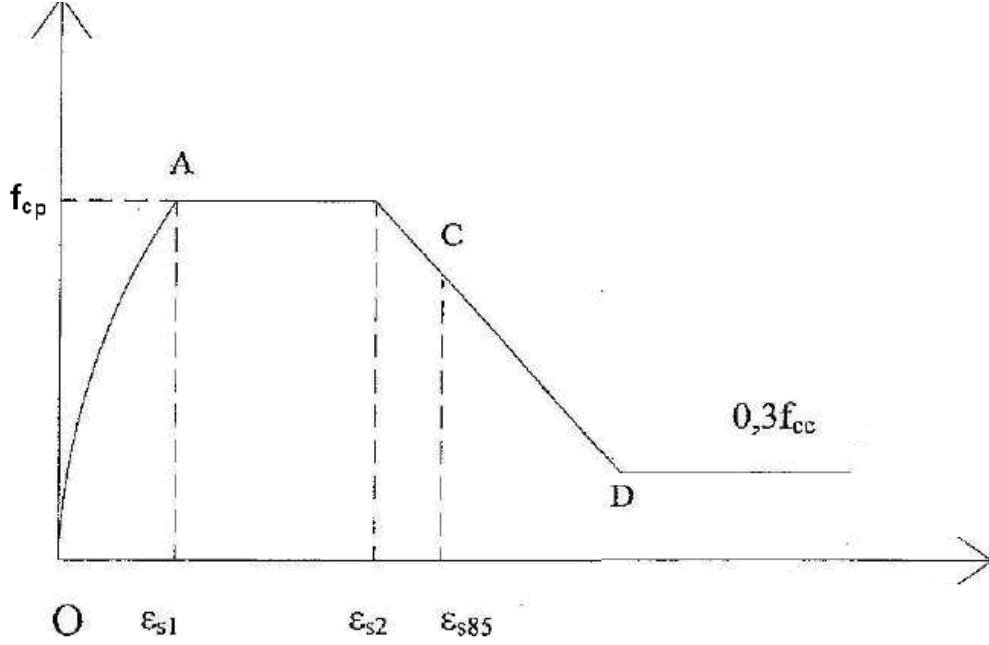
$$\varepsilon'_c = \frac{2f'_c}{E_c} \quad (2.3)$$

olarak tanımlanmıştır.

$f_c$  'den  $0.85.f_c$  'ye kadar olan ikinci kısım bir doğru ile ifade edilmiştir.

En büyük beton birim kısalması genellikle  $\varepsilon_{cu}$  değeri 0,0038 olarak alınmaktadır (Ersoy ve Özcebe 2001)

Bu model Sheikh – Üzümeri modelinin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 2.4: Sheikh ve Üzümeri modeli (1982)

### 2.2.2.2 Sheikh ve Üzümeri Modeli

Eğri dört kısımdan oluşmaktadır. Bu modelin en önemli özelliği AB olarak öngörülen çeliğe benzer bir akma bölgesinin varlığıdır. Araştırmacılar bu bölge ile kuşatma etkisi ile meydana gelecek olan sünek davranışı ifade etmeyi amaçlamış olmalıdır. OA bölümü ikinci derece parabol,  $f_{cc}$  ve  $\epsilon_{s1}$  noktalarını içerir.  $f_{cc}$  kuşatılmış betonun basınç mukavemetini göstermekte ve  $f_{cc}=K_s.f_{cp}$  formülüyle hesaplanır. Burada  $K_s$ : Kuşatmanın sağladığı mukavemet artım parametresi (Kuşatma katsayısı),  $f_{cp}$ : Kuşatılmamış beton basınç mukavemetidir.

$\epsilon_{s1}$  ve  $\epsilon_{s2}$  maksimum gerilmeye denk gelen sırasıyla minimum ve maksimum birim deformasyon değerleridir.

$\epsilon_{s85}$  maksimum gerilmenin geri yükleme bölümünde %85'e düştüğü anda oluşan birim deformasyon değeridir. AB ve BC bölümleri doğrusal bölgelerdir. C noktasından

itibaren doğru, aynı eğimle, gerilme değeri maksimum gerilmenin %30' una düştüğü ana kadar (D noktası) devam eder. D noktasından sonra betonun davranışı yatay bir doğruyla gösterilir ve C noktasından sonraki beton davranışının önerildiği gibi olduğu doğrulanmıştır. Anılan  $\sigma - \varepsilon$  eğrisini tam olarak tanımlamak için  $f_{cc}$ ,  $\varepsilon_{s1}$ ,  $\varepsilon_{s2}$ ,  $\varepsilon_{s85}$  değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

### 2.2.3 Kuşatılmış Beton Davranışı

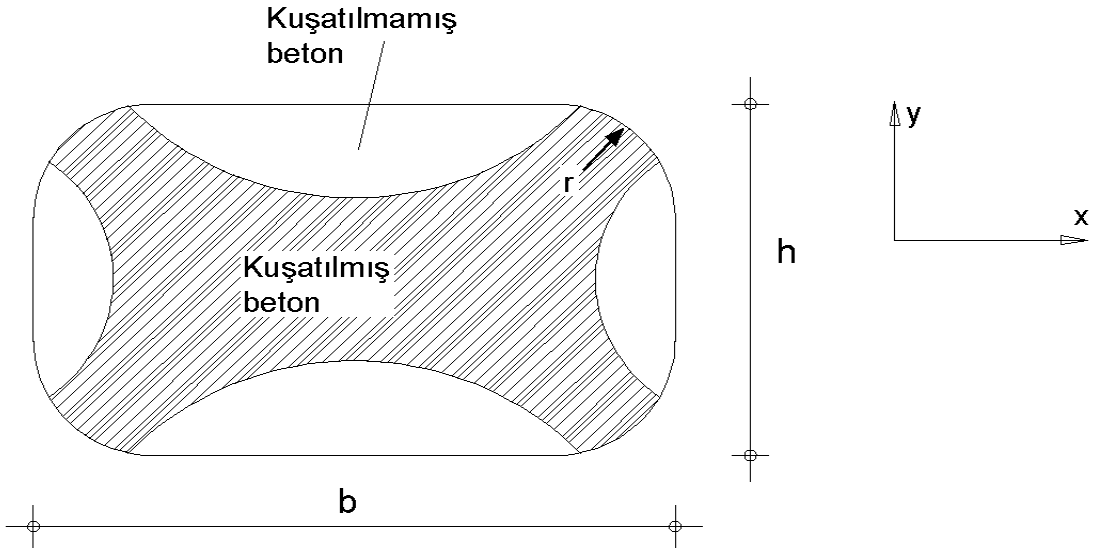
Beton, boylamsal doğrultuda, basınca çalışan yüklerin altında yanal doğrultuda genişir. Bu yanal genişmeler betonda hatalara sebebiyet verir. Buna karşın betonun yüzeyini kuşatabilecek yanal basınç, betonda oluşabilecek içsel kırılmaları ve göçmeleri önler; sonuçta betonun mukavemetini ve düktilitesini artırır. (Sheikh, 1978).

Kuşatmanın; betonun mukavemet ve deformasyon karakteristiği üzerindeki avantajları geçen yüzyılın başlarında fark edildi. 1903'de Considere, eksenel basınç altında, beton kolonların etkili yanal güçlenmesi üzerine çalışan ilk araştırmacılardan birisi olmuştur. Araştırmalarına göre yanal kuşatma, betonun mukavemetini ve düktilitesini arttırmaktadır.

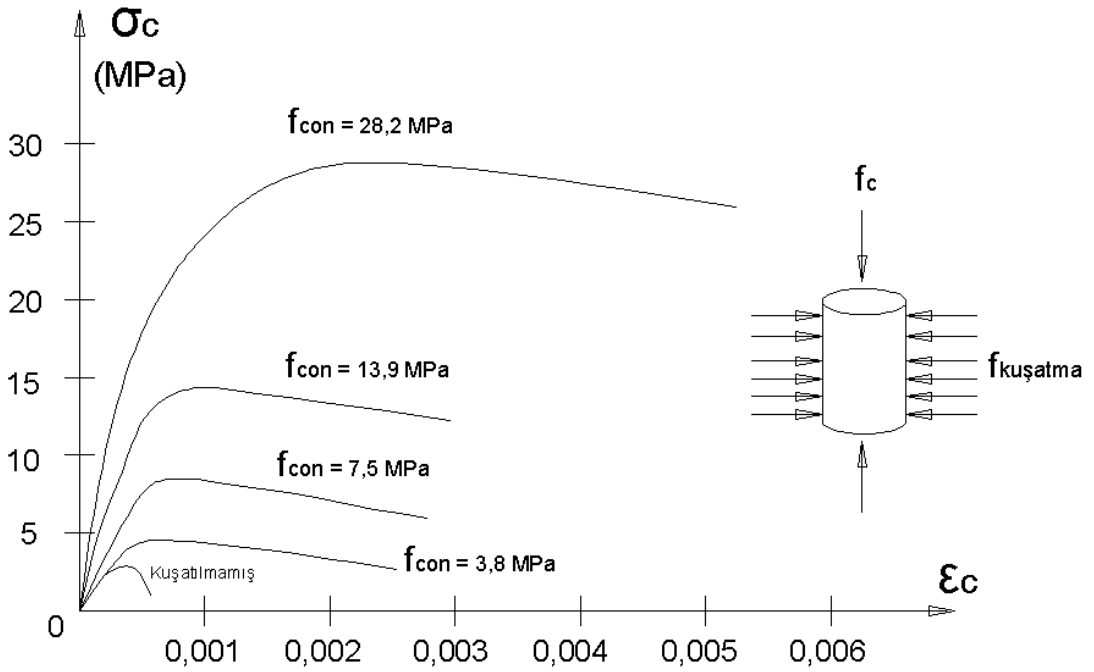
Richart et al (1928) beton davranışını geliştirmek amacıyla üç eksenli basınç altında deneysel sonuçlar elde etmiştir. Kullandığı numunelerde sabit sıvı basınçlı kuşatma kullanmış, aynı zamanda kırılma gerçekleşene kadar yükü arttırmıştır. Deneylein sonucunda 3,8 MPa ile 28,2 MPa arasında kuşatma basıncı değerleri elde etmiştir. (Şekil 2.6) hidrolik kuşatılmış betonun  $\sigma_c - \varepsilon_c$  eğrilerini göstermektedir. (Richart et al 1928)

Benzer deneyler Balmer (1949) tarafından yapılmış olup 170 MPa gibi yüksek kuşatma gerilme değerleri elde edilmiştir. Balmer (1949)'in kuşatma gerilmesi altındaki deney sonuçları irdelendiğinde, beton çok "sert – kırılğan" karakter, "yumuşak – plastik" ve "sert – plastik" davranış sergileyen malzeme olarak tanımlanmıştır.

Bu araştırmaların ardından beton ve beton kuşatması ile ilgili yapılan çalışmalara bu deneyler temel oluşturmuştur.



Şekil 2.5: Kuşatılmış beton kesiti  
(Park and Paulay, 1975)



Şekil 2.6: Yanal kuşatma basıncının gerilme – birim şekil değiştirme grafiğindeki etkisi  
(Richart et al 1928)

Betonun mukavemetini ve düktilitesini arttırmak için çok fazla efektif kuşatma yöntemi vardır. Mukavemet ve düktilitenin ile birlikte; imalat aşaması, çevresel etkilere dayanıklılık, durabilite ve mimari tasarım gibi faktörlere, kuşatmanın hesaplanması için ihtiyaç duyulmaktadır.

Beton kolonlarda kuşatma; dairesel çemberler, spiraller veya dikdörtgen bağlayıcı formunda etriyeler ile sağlanabilir. Çelik etriye betona efektif kuşatma vermesinin yanında zamanla korozyona uğramakla birlikte uzun ömürlü olamamaktadır. Bu durumda LP kuşatma mekanizması, betonarme kolonlarda etkili kuşatmanın sağlanması ve sağladığı avantajlar ile son yıllarda yaygınca kabul görmektedir.

### **2.2.3.1 Kuşatmayı Etkileyen Faktörler**

Betonarme kolonların etkili kuşatma tasarımını (ayrıca gerilme – birim şekil değiştirme eğrisini) etkileyen faktörler vardır. (Sheikh, 1978)

Bunlar;

- Enine donatının miktarı; etriye hacminin, beton çekirdek hacmine oranıdır,
- Etriyelerin karakteristiği, güçlendiren malzemenin akma mukavemeti ile ( $\sigma - \varepsilon$ ) arasındaki ilişkidir,
- Etriye / spirallerin arasındaki bırakılan mesafe,
- Etriyenin çapı / şekli,
- Boyuna donatının yapılandırması
- Beton mukavemeti
- Yüklemenin şekli, biçimi, türü

### **2.2.3.2 Mander Beton Modeli (1988)**

Bu modelde beton, çelik etriye ile kuşatılmıştır ve kuşatılmış betonarme kolonlar için en yaygın kullanılan modeldir. Model, Mander tarafından 1988 de önerilmiştir.

Bu model: “Statik veya dinamik yükler altında, monotonik veya periyodik yüklemeli, dairesel veya dikdörtgen kesitli kuşatılmış beton için birleştirilmiş bir  $\sigma - \varepsilon$  modeli”

Mander Modeline (1988) göre;

- $f_c$  : beton aksenal basınç gerilmesi  
 $f_{cc}$  : kuşatılmış betonun basınç mukavemeti  
 $x$  : birim şekil değiştirme oranı “ $x = \varepsilon_c / \varepsilon_{cc}$ ”  
 $r$  : elastisite modül oranları

Olarak tanımlanır.

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (2.4)$$

$$f_{cc} = f_{co} \left( -1,254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (2.5)$$

$f'_l$  ve  $f'_{cc}$  bu konu içinde ileride tanımlanacaktır.

$x$  parametresindeki  $\varepsilon_c$ ; betonun boylamsal basınç birim şekil değiştirme ve  $\varepsilon_{cc}$ ; kuşatılmış betonun birim şekil değiştirmedir.  $\varepsilon_{co}$  kuşatılmamış betonun birim şekil değiştirme parametresi ve  $f'_{co}$  kuşatılmamış betonun basınç mukavemetidir.

$\varepsilon_{co}$ : 0,002 ve  $f'_{co}$  : 4149 psi olarak kabul edilmiştir.

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.6)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.7)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_{co}} \quad (2.8)$$



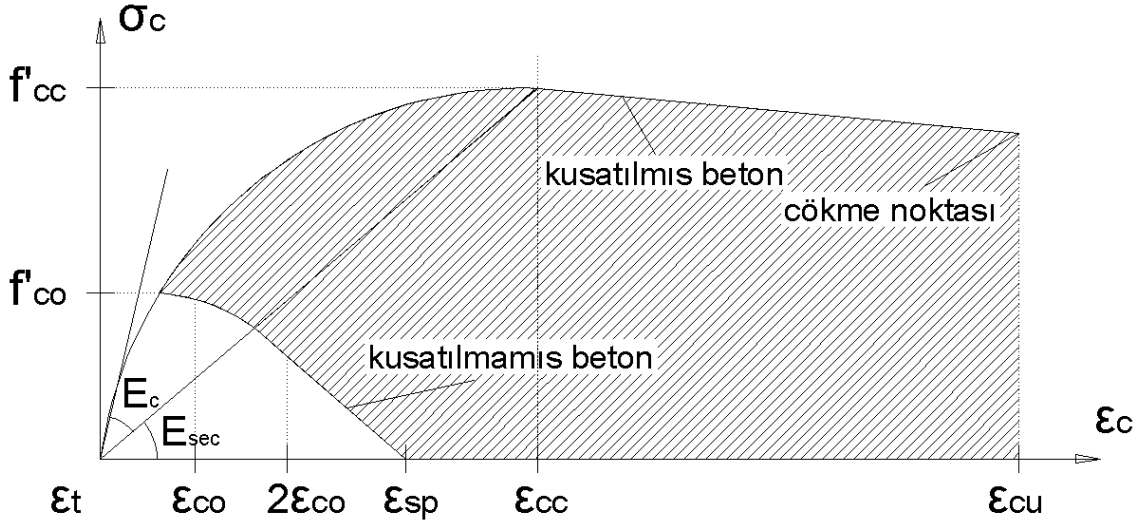
$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (2.9)$$

Denklemlerde;

$E_c$  : betonun elastisite modülü

$E_{sec}$  : betonun sekant modülüdür

Bu parametreler kuşatılmış veya kuşatılmamış betonun şekildeki  $\sigma_c - \epsilon_c$  (gerilme – birim şekil değiştirme) eğrisindeki ( $\epsilon_{sp}$  noktasındaki 0'a inen eğrideki kuşatılmış – kuşatılmamış beton ilişkisini gösterir.)



Şekil 2.7: Gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi

(Mander et al, 1988)

Mander et al (1988) modelinde etkin kuşatma sayısını bulmak için bir denklem kullanılır:  $k_e$ ; daha önce Richart et al (1928) tarafından dairesel spiral güçlendirme için kullanılmıştı. Bununla birlikte, Mander (1988)  $\rho_s$  denklemini hazırlamıştır, bu denklem çelik kuşatma hacminin, kuşatılmış çekirdek hacmine oranı olarak ifade etti,  $k_e$  parametresindeki  $\rho_{cc}$  parametresi çelik kuşatma alanının, çekirdek alanına oranı olarak ifade edilir, Mander (1988).

$$k_e = \frac{1 - \frac{s'}{2d_s}}{1 - \rho_{cc}} \quad (2.10)$$

$$\rho_s = \frac{4A_{sp}}{d_s s} \quad (2.11)$$

$$f'_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh} \quad (2.12)$$

Denklemdaki;

$s$  : spirallerin arasındaki mesafe

$A_{sp}$  : spirallerin alanı

$d_s$  : boylamsal doğrultudaki spiral merkezlerin çapıdır.

Denklemi beton silindirin etkili kuşatma gerilmesini tanımlar. Bu denklemden  $f_{yh}$  kuşatmanın aksel doğrultusundaki akma gerilmesini tanımlar.

## **BÖLÜM 3**

### **KOMPOZİT MALZEMELER**

#### **3.1 Giriş**

FRP (fiber reinforced polimer) – Lifli Polimer; LP, polimer matris içinde lifli kompozit malzeme ihtiva eden kompozit malzeme olarak tanımlanır. LP uygulanmasında tipik olarak epoksi reçinesi ile birlikte tatbik edilir. Epoksi reçinesi lifleri bir arada tutar ve yapısal malzemelerin kuşatılmasında bağlayıcı rol oynar. Güçlendirilen sistem bileşik yapı gibi bir arada çalışır ve eğer liflerin bir bölümü zayıflarsa sistem başarısızlıkla sonlanır.

Lifli polimerler, reçine içerisinde yerleşik olan ve yüksek mukavemetli sentetik lif içeren kompozit malzemelerdir. Tipik birleşimleri; karbon (grafit), cam, aramid (kevlar) ile polyester, vinil ester ( $\text{CH}_2\text{CH}$ ), veya epoksi matrisi ile olur. Lifli polimerin mekanik özellikleri genel olarak: lifin hacmine, lifin yönüne, bileşenlerinin özelliklerine ve üretiminde kullanılan yöntemlere bağlıdır.

LP kuşatmasının avantajları oldukça fazladır; bunların başında: betonun kuşatma dayanımının yükselmesi, korozyona karşı kazanılan dayanıklılık, yüksek mukavemet ve dayanıklılık gelmektedir.

LP birçok yapısal malzeme de kullanılmaktadır ancak bu tezde LP kolonlar üzerinde çalışılmıştır.

#### **3.2 Gelişmiş Kompozit Malzemeler**

Günümüzde gelişmiş kompozit malzemeler inşaat mühendisliğinin alanında kullanılabilir: bu malzemeler; güçlendirme fazı ve matris fazı olmak üzere iki parçaya incelenebilir.

Güçlendirme fazı lifleri içermektedir ve bu lifler; karbon, cam ve aramid olmak üzere 3 çeşittir.

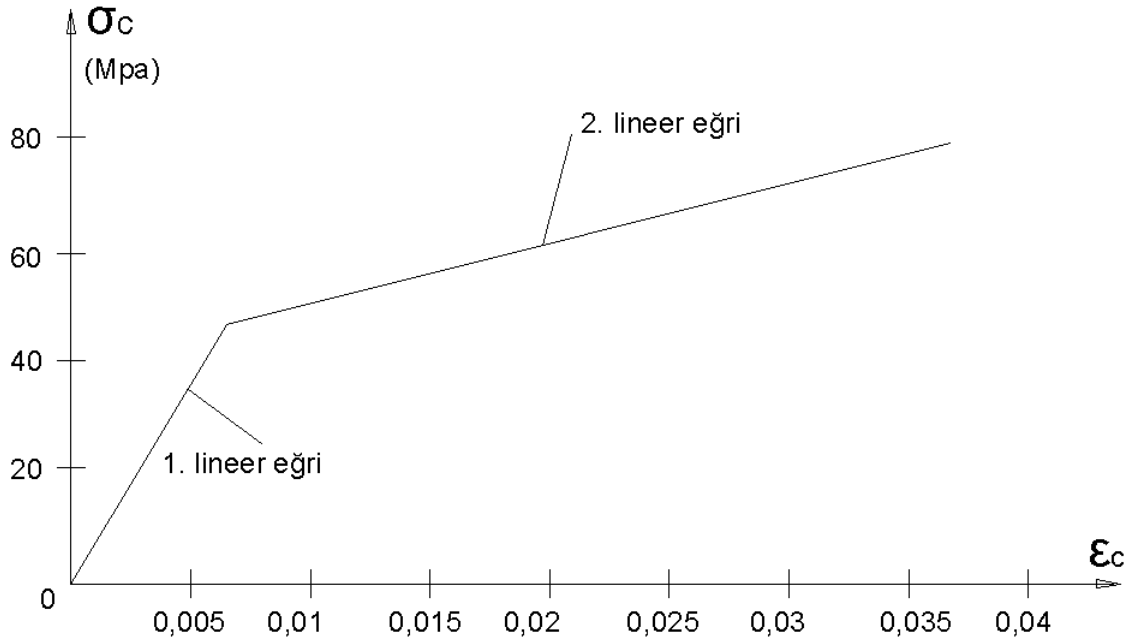
Matris fazı ise; polyester, vinil ester veya epoksi gibi polimerik reçine sistemleridir, bu faz liflerle güçlendirilerek gelişmiş ve karmaşık bir malzeme oluşturabilir. Bu malzemenin adı LP (Lifli Polimer) olarak adlandırılmaktadır.

### 3.2.1 LP Mekanizması

LP, polimer matris içinde lifli kompozit malzeme ihtiva eden malzemedir. Aramid, cam ve karbon lifler epoksi reçinesiyle birlikte en çok kullanılan malzemelerdir. Epoksi reçinesi malzeme beton elemanın dış yüzeyinde yer alır ardından lifler kolon veya kirişin çevresine sarılır, epoksi reçinesi liflerin kuşatma için bir arada bulunmasına yardımcı olur, epoksi reçinesi lifler ve betona arasında güçlü bir bağ kurarak betonun kuşatılmasını sağlar.

Kolonun çevresine sarılan LP kolona pasif güçlendirme sağlar; beton eleman eksenel yüke maruz kaldığında ilk etki olarak, LP sargısı, beton mukavemeti üzerinde ihmal edilebilecek düzeyde küçük bir katkıda bulunur. Asıl etki, betonda eksenel yükten dolayı yanal genişlemeler başladığında ve malzeme zayıflamaya başladığı anda FRP sargısı çalışmaya başlar ve betona etkili bir kuşatma sağlar. Grafikte (Şekil 3.1) görüldüğü gibi FRP mekanizmasının en büyük avantajı sağlayabildiği kuşatmadır.

Bu tip sargı kuşatmalar ve tüp kuşatmaları, spiral olarak sarılmış çelik kuşatmalardan daha yüksek kuşatma sağlar.



Şekil 3.1: LP'nin tipik gerilme – girim şekil değiştirme grafiği

### 3.3 LP'nin Malzeme Özellikleri

#### 3.3.1 Lif Özellikleri

Lifler; yüksek boy – çap oranı, yüksek rijitlik, sert, dayanıklı ve düşük maliyetli olarak karakteristik özellikleri sıralanabilir. Malzeme genel olarak yüksek gerilme mukavemetine sahiptir fakat gevrek bir davranış sergiler. Liflerin yapısındaki mükemmel yakın kristallerin bir araya gelmesi lifte yüksek gerilme mukavemeti sağlar (Neale and Labossiere 1991). Lifler, kompozite kendi karakteristik özelliklerini de verebilmektedir (mukavemet, rijitlik, durabilite ve tatbik edilen yükün büyük kısmını taşıyabilme). Bu sebeple kompozitteki liflerin yönü kompozitin mukavemetini önemli derecede etkiler. Lifler değişik boy ve büyüklükte olabilir ve en yaygın bulunan modelleri cam, karbon ve aramid dir. Liflerin en belirgin özellikleri (Tablo: 3.1) belirtilmiştir.

#### 3.3.2 Kompozit Malzemelerde Kullanılan Lifler

Günümüzde LP mekanizmasında en sık kullanılan liflerdir:

- Karbon
- Cam
- Aramid

##### 3.3.2.1 Karbon Lifi

Karbon lifinin karakteristiği; yüksek mukavemet, yüksek modül ve tipik doğal etkilere karşı yüksek rezistans olarak tanımlanabilir. Karbon lifi kendi içerisinde gerilme modülüne göre 4 grupta tanımlanabilir. Bu gruplar; standart modüllü, orta modüllü, yüksek modüllü ve çok yüksek modüllü olarak değerlendirilebilir.

Mevcut diğer malzemeler gibi karbon lifi donatılı kompozitlerin avantajları ve dezavantajları bulunur.

##### Avantajları:

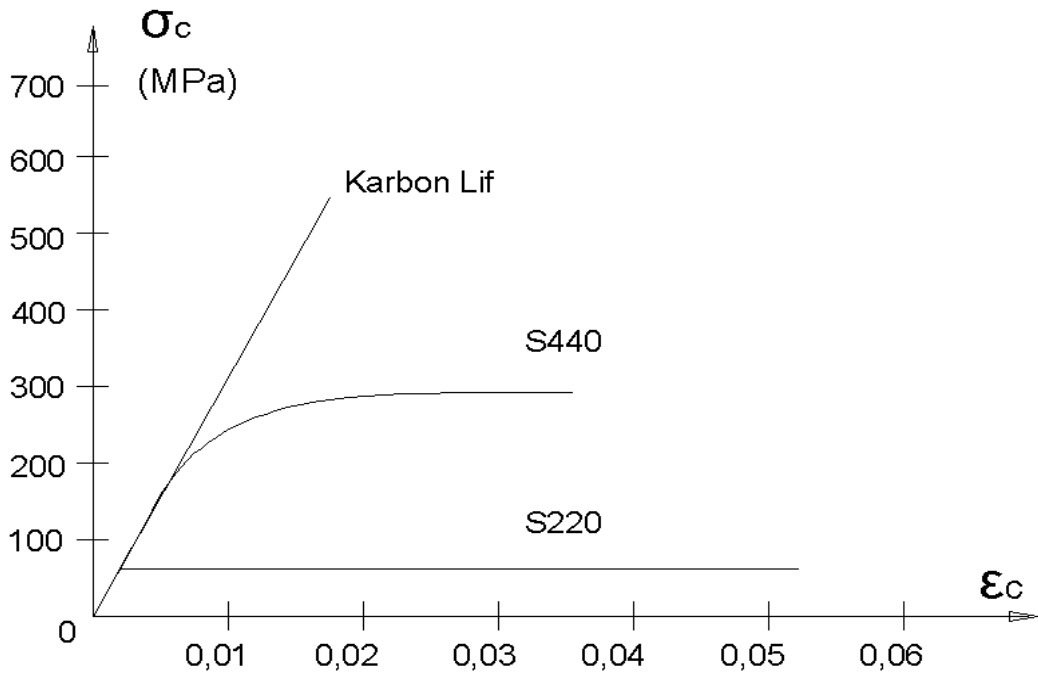
- Sünme direnci mükemmel seviyededir,

- Termal genişleme katsayısı düşüktür,
- Düşük yoğunluğa sahiptir,
- Gerilme modülü yüksektir,
- Yüksek mukavemet,
- Kimyasal etkilere dayanıklılık,
- Düşük elektrik direnci (düşük iletkenlik)

Dezavantajları:

- Yüksek maliyet,
- Yırtılma anında düşük  $\epsilon$  değeri sergiler
- Gerilme mukavemetine göre düşük basınç davranışı sergiler
- Anizotrop malzemedir
- Nemli ortamlarda kullanılması bağ kuvvetini zayıflatabilir.

(Şekil 3.2)'deki grafikte “gerilme – birim şekil değiştirme” eğrisinde CFRP ve geleneksel malzemeler karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2: Karbon lifi kompozitlerin, diğer geleneksel malzemelerle karşılaştırılması

### **3.3.2.2 Cam Lifi**

Cam lifi günümüzde kullanılan en eski ve en yaygın malzemelerden biridir. Yüksek mukavemet ve düşük maliyet ile bu malzeme; denizcilik, spor endüstrisi ve havacılık sektörü olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu lifin boyutları genellikle 3 ~ 5 mikron çaplarında olmaktadır. Diğer malzemeler gibi avantajları ve dezavantajları bulunur.

#### Avantajları:

- Düşük maliyet,
- Darbelere ve gerilmeye karşı yüksek mukavemet,
- Yırtılma anında yüksek  $\epsilon$  değeri,
- Kimyasal etkilere karşı yüksek rezistans,

#### Dezavantajları:

- Düşük elastisite modülü,
- Düşük nem rezistans,
- Düşük yorulma direnci,
- Liflerin aşınmaya karşı zaafı

Cam lifi donatılı kompozitler doğal yükleme durumlarına karşı idealdir (sismik yükleme, patlama şiddetli rüzgâr). Ancak ani yüklemelere karşı yetersizliğinden dolayı aşınma, ani yırtılma gibi dezavantajları bulunmaktadır.

### **3.3.2.3 Aramid Lifi**

Aramid lifi yüksek elastisite modülüne sahiptir, bu sahip olduğu yüksek elastisite modülü, bu malzemeyi, geleneksel poliamid liflerden (nylon gibi) 20 kat güçlü kılar.

#### Avantajları:

- Yüksek elastisite modülü,
- Yüksek mekanik özellikler,
- Termal direnci gelişmiştir,
- Mukavemet – ağırlık oranı yüksektir.

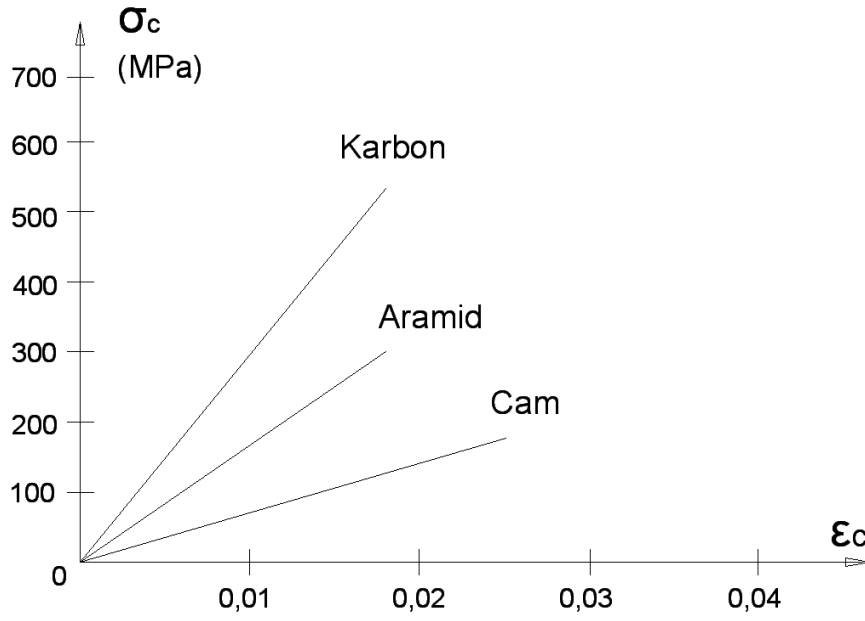
Dezavantajları:

- Yüksek derecede anizotrop tur,
- $x$  doğrultusundaki özellikleri zayıftır,
- epoksi reçinesi ile kuvvetli bağ yapamaz,
- Nemli ortamlarda önerilmez.

Malzeme	Gerilme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Uzama (mm/m)	Termal genleşme ( $\times 10^{-6}$ )	Poisson Oranı	
<b>Cam</b>						
E - Cam	3500–3600	74 – 75	48	5	0,2	
S - Cam	4900	87	56	2,9	0,22	
Alkali Rezistans Cam	1800–3500	70 – 76	20 – 30	N/A	N/A	
<b>Karbon</b>						
PAN	Yüksek Mukavemet	3500	200 – 240	13 – 18	(-1,2)-(-0,1)	-0,2
	Yüksek Modül	2500 - 4000	350 - 650	4 - 8		
Pitch	Sıradan	780 -1000	38 - 40	21 - 25	(-1,6)-(-0,9)	N/A
	Yüksek Modül	3000-3500	400 - 800	4 - 15		
<b>Aramid</b>						
Kevler 29	3620	82,7	44	N/A	0,35	
Kevler 49	2800	130	23	-2		
Kevler 129	4210	110	-	N/A		
Kevler 149	3450	172 - 179	19	N/A		
Twaron	2800	130	23	-2		
Technora	3500	74	46	N/A		

Tablo 3.1: Kompozitte kullanılan liflerin mekanik özellikleri  
(ISIS Canada Design Manual 2001)





Şekil 3.1: Değişik Lif Tiplerinin Gerilme – Birim Şekil değiştirme Grafiği

### 3.4 Matris Özellikleri

Kompozitte, matrisin görevi; lifleri bir arada tutmak, mekanik ve evresel hasarlardan korumak ve tatbik edilen yükleri lifler doğrultusunda iletmektir. Matris tek başına gerilme mukavemetine ciddi bir etkide bulunmaz, liflerin bir arada tutulması ve bağlayıcılığında etkilidir. Değişik türlerde üretilebilir; polyester, epoksi ve vinil ester. Tabloda özellikleri belirtilmiştir;

Reçine	Spesifik Ağırlık	Gerilme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Kür Büzülmesi (%)
Polyester	1,1 - 1,4	34,5 - 103,5	2,1 - 3,45	5 - 12
Epoksi	1,2 - 1,3	55 - 130	2,75 - 4,1	1 - 5
Vinil Ester	1,12-1,32	73 - 81	3 - 3,35	5,4 - 10,3

Tablo 3.2: Matrislerin özellikleri  
(ISIS Canada Design Manual, 2001)

### 3.5 LP Malzemesinin Avantajları

LP'nin en ayırt edici özelliği güçlendirme ve onarımda kullanılabilmesidir özellikle depreme karşı dayanıksız olan betonarme yapıların onarımında çok başarılı bir şekilde kullanılabilir. LP'nin yapılarda kullanılmasının yararları şu şekilde sıralanabilir (Ghosh, 2002):

- LP kompozitlerin dayanım / ağırlık oranı çeliğe göre daha yüksektir. LP kompozitin çekme dayanımı, eşit kesit alanına sahip çelik plakaların taşıma gücünden üç kat daha yüksektir ve bununla birlikte yoğunluğu çeliğin 1/5'i kadardır. Böylece LP kompozit, çeliğin 1/5'i ağırlıkla aynı işi yapabilmektedir.
- Yüksek dayanım / ağırlık oranına sahip LP; yük iletimini kolaylaştırır, performansı artırır, ihtiyaç duyulan enerjiyi düşürür, kontrolü basitleştirir ve imalatı hızlandırır, böylece işçilik ve zaman gibi parametreleri düşürür, özellikle genel maliyet düşer. Bununla birlikte malzemelerden kaynaklanan ek yüklerden etkilenmez ve yapıya daha fazla hareketli yük taşıma yeteneği verir
- LP kompozitler; çelik gibi korozyona uğramaz, ahşap gibi çürümez veya beton gibi parçalanmaz. LP, doğadaki en zararlı ortamlarda bile yüksek korozyon rezistanslıdır ayrıca asitler, alkaliler, eriticiler ve hidrokarbonlara karşı yüksek direncinden dolayı yapılarda kullanılabilir. LP'nin korozyona karşı yüksek dayanımı, yükseltilmiş durabilitesi, yapıya verimli bir ömür sunar ve bakım masraflarını düşürür.
- Değişik yöntemleriyle birlikte farklı seçeneklerde mümkündür, düşük ağırlık ve rijitliğinden dolayı LP kompozitler değişik boy ve büyüklüklerde olabilir. LP levhalarının esnek olması dairesel kesitli ve dikdörtgen kesitli malzemelerin daha kolay kuşatılmasına imkân verir.
- Tüm bu özelliklerinin yanında LP levhalarının çeliğe göre işçiliği daha kolaydır ve ekstra detaylı bir çalışma gerektirmez.
- Tüm faktörler göz önüne alındığında bir yapının LP kompozit ile desteklenmesi ekonomik olarak daha ucuzdur.

### 3.5.1 LP Uygulamaları

Yıllardır yapı mühendisleri; ağır kullanım ve korozyondan dolayı yapılarda oluşan zararın sonucunda ihtiyaç duyulan yüksek onarım ve bakım masrafları için, çelik ve alaşımlı malzemelerin alternatiflerini araştırdılar. 1970'den beri LP malzemeler inşaat mühendisliği alanında, yükselen bir popülerite içerisindedir. LP yeni yapılarda ve zarar görmüş yapıların onarımında, etkinliğini ve ekonomisini ispatlamıştır. Ender görülen mekanik özelliklerine sahip olan LP dünya üzerinde yapılarda uygulaması için yaygın hale gelmiştir.

LP kompozit malzemeler; uzun mesafeli köprüler, iskeleler, korozyon rezistanslı kazıklar, düşük yükseklikli köprü iskeleleri ve durabilitesi yüksek direklerde kullanılmıştır. Bugün dünya üzerinde çok sayıda köprüde güçlendirilme yapılmıştır. Ve bugüne kadar yapılan LP uygulamaları göstermiştir ki, LP kompozit; şiddetli uzun ömürlü yükler, donma – çözülme etkileri, kimyasallar karşısında başarılı olmuştur. LP kompozit etkili bir güçlendirme, destekleme vb elemanıdır.

İnşaat mühendisliği alanında LP uygulamaları 3 bölümde incelenebilir;

- Yeni yapılardaki uygulamalar,
- Onarım ve güçlendirme uygulamaları,
- Mimari uygulamalar

İnşaat mühendisliği alanında LP, sıklıkla yeni yapılarda kullanılmaktadır. Köprüler ve kolonlar tamamıyla LP kompozit ile kaplanarak dayanım ve sünekliği artırılır ayrıca durabilitesi ve doğal etkilere karşı efektif direnci artar. Bir diğer kullanım yeri ise hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirme ile mukavemetinin artırılmasıdır. Dünya üzerinde birkaç firma, hasar görmüş çelik kuşatmalı betonarme kolonların dış yüzeylerinin LP kompozit ile sararak yapının bütünlüğünü koruyarak çökmelerin önüne geçer ve betonarme kolonun göçmesini engeller. Yapılardaki mimari kullanım ise; dış mevcut yapı sistemine daha az hasar vererek güçlendirme ve onarım imalatı sağlar, çatı yalıtım, döşeme kaplama ve bölmelendirme şeklinde olur.

### **3.5.2 LP Mekanizması ve Etriye Kuşatmasının Karşılaştırılması**

Geleneksel inşaat demiri'nin (çelik) seri üretilme sebebi; geniş, yaygın ve yüksek kullanım olarak planlandı. Sıkça kullanılan ebatları, tasarım ve üretimde sıkça kullanılması geleneksel inşaat demirinin satışında çok etkili oldu.

LP malzemesinin üretimi geleneksel inşaat demiri kadar fazla değildir, oysaki LP mekanizmasının kullanımı yapılarda geçerli bir seçenektir ve ayrıca imalat süresini büyük ölçüde düşürür. LP sarmalları uygulama açısından seri üretimde değişik boyutlarda üretilmelidir, uygulama açısından büyük boyutlu olanlarının seçilmesi, daha az birleşim noktası ve bunun sonucu olarak daha az hata olacağından, kullanılması daha avantajlıdır.

Hazır LP tüplerinin üretilmesi uzun zaman alabilir fakat LP'nin sık kullanılmaya başlandığı göz önüne alınırsa en genel boyutlarda üretilir.

LP mekanizmasının en büyük dezavantajı lifin ve epoksi reçinesinin yüksek fiyatıdır.

### **3.5.3 İmalat Süresi**

2 mekanizmanın yapım süresi karşılaştırıldığında proje için hangi sistem daha uygunsa (imalat süresi, ekonomi) o uygulanmalıdır. Genel intiba olarak imalat için ne kadar çok zaman harcanırsa proje maliyeti o kadar çok artar.

Geleneksel inşaat demiri malzemede aktif güçlendirme sağlar yani güçlenmesine yardımcı olur, güçlendirme malzemesi olarak kullanılamaz.

Bu uygulama tüm yapıyla ilişkilidir, kolon mekanizmasının içeriden sarılmasıyla oluşturulur, bu sistemde imalat aşamasında tüm elemanlar birbirine bağlanmalıdır. Çok büyük ebatlı kolonlarda bu ciddi bir zaman kaybıdır ve LP'nin avantajı burada ortaya çıkar, büyük ebatlı kolonlarda daha az zaman kaybıyla sargı imalatı tamamlanır. Ancak çok kısa sürede sargı imalatının tamamlanması sargıda hatalara neden olabilir. İmalat sıkça kullanılacaksa tüpler seri üretimde olmalıdır ki bu sargı süresi kısaltabilir. Sargılama ekip eşliğinde yapılabilir, sargılamada lifler epoksi reçinesi ile birlikte sargılanır diğer seçenek ise seri üretilen tüpler kolonun çevresine yerleştirilerek epoksi reçinesi ile uygulanır.

## BÖLÜM 4

### LİFLİ POLİMERLE KUŞATILMIŞ BETON DAVRANIŞI İÇİN MODELLER

#### 4.1 LP Sargılı Modeller

##### 4.1.1 Saadatmanesh Sargı Modeli, (1994)

Saadatmanesh Sargı Modeli, Mander (1988) tarafından önerilen kuşatma modelini LP mekanizmasına uygun hale getirerek genişletilmiştir. Mander modelinde eksenel taşıma gücü, ve  $\rho$  parametresi bulunmaktadır:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \left( \frac{\rho}{f'_{co}} \right)} - 2 \frac{\rho}{f'_{co}} - 1,254 \right) \quad (4.1)$$
$$\rho = \frac{2f_{fu}nt}{D}$$

Maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme ise;

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (4.2)$$

Şeklinde ifade edilir.

Popovics (1973)'e göre genel formülasyon;

$$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r}$$
$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}$$
$$r = \frac{E_{co}}{E_{co} - E_{sec}} \quad (4.3)$$
$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}}$$

dir.

Burada  $f_c$ ;

$f_c$  ve  $\varepsilon_{cc}$  mevcut olan gerilme ve şekil değiştirmeler,  
 $\varepsilon_{cu}$  enerji dengesinin yaklaşımı için elde edilmiştir.

Saadatmanesh (4.1) ve (4.3) formüllerini  $\rho$  nun (4.7)'deki formülü doğrultusunda birleştirmiştir:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \left( \frac{2 f_{fu} n t}{f'_{co} D} \right)} - 4 \frac{f_{fu} n t}{f'_{co} D} - 1,254 \right) \quad (4.4)$$

Mander beton modelinde (1988) ise  $\varepsilon_{cc}$  ve gerilme şekil değiştirme eğrisi (4.9) ve (4.13) de verilen son limit şekil değiştirme  $\varepsilon_{cu}$ ; enerji değerlerinin yaklaşımı yöntemiyle hesaplanmıştı.

#### 4.1.2 Fardis ve Khalili Sargı Modeli, (1981)

Richart et al (1981) tarafından önerilen formüle göre, sabit üç eksenli basınç altında beton kuşatmasındaki yükselme değeri ampirik olarak (4.5) formülünde ifade edilmiştir;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 4,1 \frac{\rho}{f'_{co}} \right) \quad (4.5)$$

Newman (1972) tarafından, kuşatılmış beton mukavemeti için doğrusal olmayan bir formül geliştirilmiştir;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 3,7 \left( \frac{\rho}{f'_{co}} \right)^{0,86} \right) \quad (4.6)$$

Fardis ve Khalili (1981) tarafından; (4.5) ve (4.6) ile önerilen formülleri, LP kuşatması için kullanarak,  $\rho_u$  ifadesi (4.7) elde etmiştir;

$$\rho_u = \frac{2f_{fu}nt}{D} \quad (4.7)$$

Fardis ve Khalalili (1981) modeline ilişkin oluşan formül ise;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 4,1 \frac{\rho}{f'_{co}} \right) \quad (4.8)$$

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 3,7 \left( \frac{\rho}{f'_{co}} \right)^{0,86} \right) \quad (4.9)$$

olarak tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak  $\varepsilon_{cc}$  ve  $\sigma_c$  ifadeleri;

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} + 0,001 \frac{E_f nt}{f'_{co} D} \quad (4.10)$$

$$\sigma_c = \frac{E_{co} \varepsilon_c}{1 + \varepsilon_c \left( \frac{E_{co}}{f_{cc}} - \frac{1}{\varepsilon_{cc}} \right)} \quad (4.11)$$

Şeklinde tanımlamıştır.

Deneysel sonuçlarda (75 x 150 ve 100 x 200)'lük düzenli veya düzensiz örülmüş fiberglas malzeme ile kuşatılmış silindir kullanılmış ve numunelerin çoğundaki  $\rho_u / f_{co}$  oranı 0,1 ve 0,6 arasında değişiklik gösterir.  $E_{co}$  oranı ise empirik olup değeri 0,002 dir.

#### 4.1.3 Miyauchi Sargı Modeli, (1997)

Miyauchi LP kuşatmasının, güçlendirme etkisini tahmin etmek için aşağıdaki bağıntı önerilmektedir;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 4,1k_e \frac{2f_{fu}nt}{f'_{co} D} \right) \quad (4.12)$$

Bu formül Richart'ın bağıntısından biraz daha farklıdır, Richart'a göre bu formülde “ $k_e$ ” etkinlik katsayısı eklenmiştir. Bu tip katsayılar araştırmacılar tarafından deneysel sonuçlara bakılarak ayarlanmaktadır ve  $\sim 0,85$ 'e eşit alınmıştır. Deneyler ise numunelerde “ $\rho_u/f_c$ ” oranı 0,1 – 0,5 arasında ayarlanmıştır,  $\varepsilon_{cc}$  nin hesaplanması için de iki ampirik formül önerilmiştir:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1,0 + 10,6 \left( \frac{\rho_u}{f'_{co}} \right)^{0,373} \right]$$

$$\Leftrightarrow f'_{co} = 30MPa \quad (4.13)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1,0 + 10,5 \left( \frac{\rho_u}{f'_{co}} \right)^{0,525} \right]$$

$$\Leftrightarrow f'_{co} = 50MPa \quad (4.14)$$

Bu bağıntılarda deneysel değer  $\varepsilon_{co}$  kullanılmaktadır. Yanal şekil değiştirmeler ölçülmemiştir, bu yüzden LP çepelerinde yırtılma anında oluşan şekil değiştirme ölçmek mümkün olmamıştır.

Sonuç olarak kuşatılmış betonun aksenal gerilme ve  $\varepsilon$  ilişkisi önerilmektedir. (kuşatılmamış betonla aynı şekilde modellenmiştir)

$$f_c = f'_{co} \left[ 2 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \Rightarrow 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{tan} \quad (4.15)$$

$$f_c = f'_{cc} - \lambda \left( \varepsilon_{cc} - \varepsilon_c \right) \Rightarrow \varepsilon_{tan} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \quad (4.16)$$



$$\varepsilon_{\tan} = \varepsilon_{co} - \frac{\lambda \varepsilon_{co}^2}{2f'_{co}} \quad (4.17)$$

$$\lambda = \frac{1}{\varepsilon_{co}} \left[ 2f'_{co} (\varepsilon_{cc} - \varepsilon_{co}) + \sqrt{4f'_{co} (f'_{co} \varepsilon_{cc}^2 - 2f'_{co} \varepsilon_{cc} \varepsilon_{co} + f'_{cc} \varepsilon_{co}^2)} \right] \quad (4.18)$$

#### 4.1.4 ACI 440 Sargı Modeli

Beton elemanda sadece beton kısımda 4 parabol olduğu farz edilirse ve bu parabollerin birbirlerini 45° ile kesmesi durumunda bir katsayı tanımlanacaktır, bu katsayı biçim faktörü olarak adlandırılır. Biçim faktörü, etkin kuşatma alanının toplam alana oranı olarak tanımlanabilir;

$$k_s = \frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{4 - 2r + 4 - 2r}{3A_g (1 - \rho_s)} \quad (4.19)$$

$$A_g = bh - 4 - \pi r^2 \quad (4.20)$$

olarak tanımlanır.

$A_g$ , kolon kesitinin toplam alanı (yuvarlatılmış köşeler ile birlikte)

$\rho_s$ , çelik güçlendirmenin kesite oranı

Dikdörtgen / Kare kesitli köşelerin yuvarlatılmasından dolayı hesaplar dairesel kesitli kolonlar ile benzer olarak hesaplanabilir, bu durumda;

$$D = \frac{2bh}{(b+h)} \quad (4.21)$$

Olarak hesaplanır.

Bu durumda,

$h$ , uzun kenar

$b$ , kısa kenar olarak tanımlanmıştır.

LP'nin çevresel yırtılma birim şekil değiştirme  $\varepsilon_j$ ,  $\varepsilon_{fe}$  ye eşit alınabilir ve değeri,

$$\varepsilon_{fe} = 0,004(0,75\varepsilon_{frp}) \quad (4.22)$$

#### 4.1.5 Lam ve Teng Sargı Modeli, (2003)

LP malzeme ile kuşatılmış modellere ilişkin yeni bir gerilme – birim şekil değiştirme modeli Lam ve Teng tarafından önerilmiştir.

Bu modelin dayandığı esaslar şunlardır;

- Gerilme birim şekil değiştirme eğrisinin 1. kısmı parabolikdir, ancak şekil itibariyle lineer kabul edilebilir. (Şekil 4.1)
- Gerilme – birim şekil değiştirme eğrisinin 2. kısmı lineerdir,
- 1. parçadan 2. parçaya geçiş yumuşaktır (keskin değil), geçiş noktasında 1. eğrinin eğimi ile 2. eğrinin eğimi eşittir,
- Gerilme eğrisi lineer 2. eğri tarafından kuşatılmamış beton basınç mukavemetinde kesişir,
- Lineer 2. parça, basınç mukavemetinin ve eksenel uç noktanın ulaştığı noktada biter.

Bu maddeler Lam ve Teng tarafından test sonuçları esas alınarak oluşturulmuş olup formülasyon aşağıdaki bağıntı ile önerilmiştir.

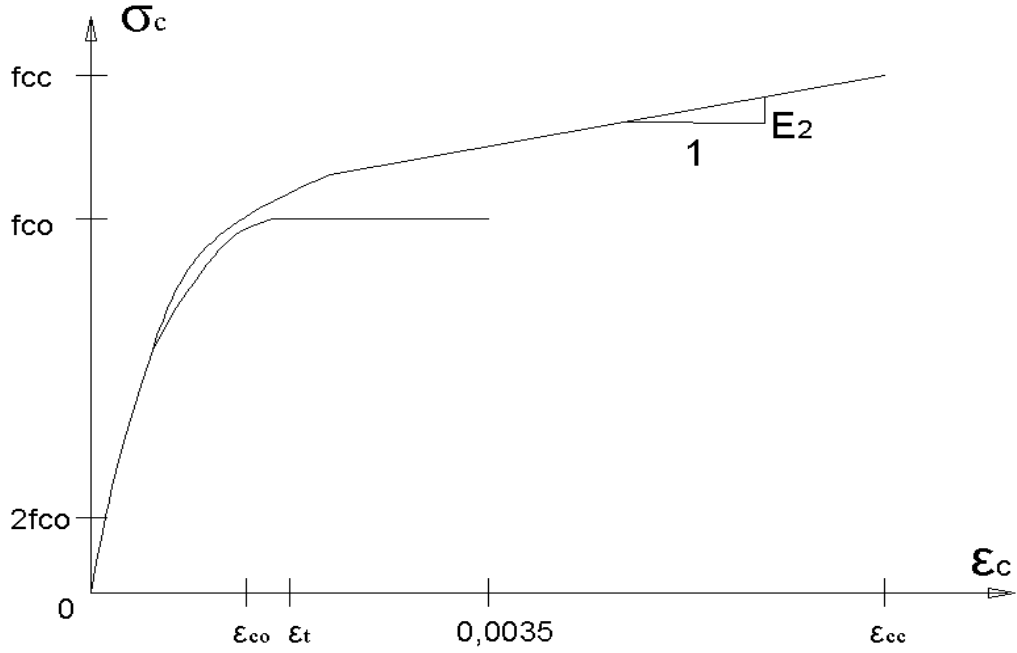
$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c - \frac{E_c E_2}{4 f_{co}} \varepsilon_c^2$$

(4.23)

$$\Rightarrow$$
$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_t$$

$$\begin{aligned}\sigma_c &= f'_{co} + E_2 \varepsilon_c \\ \Rightarrow \\ \varepsilon_t &\leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc}\end{aligned}\tag{4.24}$$

Denklemler Gerilme – birim şekil değıştirme eğrisini tanımlar



Şekil 4.1: LP ile kuşatılmış Model  
(Lam ve Teng, 2003)

2 eğri arası geçiş noktası  $\varepsilon_t$  ise;

$$\varepsilon_t = \left( \frac{2f'_{co}}{E_c - E_2} \right)\tag{4.25}$$

$E_2$ , 2. lineer eğrinin eğimidir;

$$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_{co}}{\varepsilon_{cc}}\tag{4.26}$$

Bu denklem basitleştirilirse;

$$E_2 = \frac{2f_l}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.27)$$

Şekil 4.1 eğrisindeki  $E_c$  ve  $\varepsilon_t$  değeri;

$$\begin{aligned} E_c &= 1000 f'_{co} \\ \varepsilon_t &= \varepsilon_o = 0,002 \end{aligned} \quad (4.28)$$

ve

$$f_l = 0 \text{ için } E_2 = 0$$

Kuşatılmış beton basınç mukavemeti  $f'_{cc}$  değeri;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + k_1 k_{s1} \frac{f_l}{f'_{co}} \right) \quad (4.29)$$

Kuşatılmış betonun basınç mukavemeti  $k_{s1}$  biçim faktörü ile hesaplanmıştır;

Burada  $k_1$  etkin kuşatma katsayısı,  $k_{s1}$  biçim faktörüdür ve şu şekilde hesaplanır;

$$\begin{aligned} k_1 &= 3,3 \\ k_{s1} &= \left( \frac{h}{b} \right)^2 \frac{A_e}{A_c} \end{aligned} \quad (4.30)$$

$$\frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{(h/b)(b-2r)^2 + (b/h)(h-2r)^2}{3A_g(1-\rho_s)} \quad (4.31)$$

ve kuşatma basıncı  $f_i$ ;

$$f_l = \frac{2tE_{frp}\varepsilon_j}{D} \quad (4.32)$$

Bağıntılarda;

$t$ , LP kalınlığı

$D$ , eşdeğer kolon çapı;  $D = (b^2 + h^2)^{0,5}$

$E_{frp}$ , LP malzemesinin elastisite modülü

$\varepsilon_j$ , değeri ise

$$\varepsilon_j = k_\varepsilon \varepsilon_{FRP} \quad (4.33)$$

Olarak tanımlanır.

$k_\varepsilon$  değeri yaklaşık olarak CFRP için 0,586 alınmıştır.

LP'nin son birim şekil değiştirme değeri ise;

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left( 2 + 15 \frac{f_l}{f'_{co}} \right) \quad (4.34)$$

Olarak tanımlanır.

#### 4.1.6 Youssef Sargı Modeli

Bu modelde kuşatılmış betonun basınç mukavemeti aşağıdaki bağıntı ile bulunmaktadır;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 0,5 + 1,225 \left( \frac{f'_l}{f'_{co}} \right)^{0,6} \right) \quad (4.35)$$

burada  $f'_l$ , etkin LP kuşatma gerilmesi;

$$f'_l = k_s (0,5 \rho_{FRP} f_{FRP}) \quad (4.36)$$

$k_s$ , biçim faktörü,

$$k_s = \frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{2r^2 + 2r^2}{3A_g(1 - \rho_s)} \quad (4.37)$$

Olarak hesaplanır.

#### 4.1.7 Challal Sargı Modeli

Challal Sargı Modeline göre; aksel ve enine yönlerde çalışan, üç eksenli  $\sigma - \varepsilon$  deneysel tabanlı bir model önermiştir. Bu önerilen modelin diğer modellerden ayrılan yönü basit ve sade olmasıdır. Kuşatılmış betonun en büyük mukavemeti;

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 72 \frac{k}{f'_{co}} \right) \quad (4.38)$$

$$f'_l = \frac{2tE_{FRP}\varepsilon_{FRP}}{D} \quad (4.39)$$

Etkin kuşatma katsayısı  $k$ 'nın değeri ise,

$$k = \frac{E_{FRP}A_j}{E_{co}A_{co}} \quad (4.40)$$

$$A_j = t \cdot l_m \quad (4.41)$$

$E_{co}$  ; kuşatılmamış betonun elastisite modülü

$A_{co}$  ; kuşatılmamış betonun aksel alanı

#### 4.1.8 Koksall Modeli

Koksall; LP sargılı dikdörtgen betonarme kolonun gerilme birim şekil değiştirme davranışı ile ilgili önermede bulunmuştur, bunlarla ilgili genel formül bağıntısı aşağıda verildiği gibidir;

$$f = \sqrt{6\alpha} \xi + \rho - \sqrt{2k} \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 = 0 \quad (4.42)$$

Burada  $\rho$  ve  $\xi$  değerleri sırasıyla sapma ve hidrostatik uzunluklar;  $k$ , yanal kuşatma basıncının fonksiyonu,  $f_l$  ve silindirik betonun basınç mukavemeti  $f'_{co}$ ;

$$k = k(f_l, f'_{co}) \quad (4.43)$$

LP, kompozitin sağladığı max kuşatma basıncı, silindir numuneler için her yönde aynıdır.

$$\begin{aligned} f_l &= \sigma_2 = \sigma_3 \\ \text{eger;} \\ \sigma_1 &> \sigma_2 = \sigma_3 \end{aligned} \quad (4.44)$$

Richart et al tarafından yapılan test sonuçları kullanılarak “ $k$ ” için önerilen fonksiyon;

$$k = \left( 4,07 \frac{f_l}{f'_{co}} - 0,89 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^2 + 0,807 \right) f'_{co} \quad (4.45)$$

Teorik kuşatma basıncı  $f_l$ ;

$$f_l = \frac{2ntE_{frp}\epsilon_{rup}}{D} \quad (4.46)$$

Bu bağıntıda  $E_{frp}$  ve  $t$  sırasıyla kullanılan LP malzemesinin elastisite modülü ve kalınlığıdır;  $\varepsilon_{rup}$ , LP malzemesinin yırtılma anına ulaştığında sahip olduğu birim şekil değiştirme; D dairesel kesitin çapı veya kare kesitin bir kenar, dikdörtgen kesitlerde ise D parametresi ACI 440'a göre;

$$D = \frac{2bh}{\phi + h} \quad (4.47)$$

olarak hesaplanabilir.

$$\sigma_1 = \frac{\varepsilon_1 E_0}{1 + \left( \frac{E_0}{E_s} - 2 \right) \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{co}} \right) + \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{co}} \right)^2} \quad (4.48)$$

Saenz tarafından önerilen denklemde (4.48)  $\sigma_1$  ve  $\varepsilon_1$  parametreleri sırasıyla aksenal basınç gerilmesi ve beton birim şekil değiştirme değeridir.  $E_0$ , elastisite modülü;  $E_s$  maksimum basınç gerilmesi  $f'_{cc}$ 'nin ulaştığı değerde ölçülen sekant modülüdür.  $\varepsilon_{cc}$ , de  $f'_{cc}$  nin maksimum noktaya ulaştığı andaki birim şekil değiştirme değeridir.

Bu denklemde Richart vd'a göre şu şekilde hesaplanabilir;

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon'_c \left( 1 + k_2 \frac{f_l}{f'_c} \right) \quad (4.49)$$

Burada  $\varepsilon'_c$  silindirik betonun mukavemetinde malzemenin ulaştığı uç birim şekil değiştirme değeridir. Richart et al a göre  $5k_1 = k_2$  şeklinde hesaplanabilir

$$E_0 = 4750 \sqrt{f'_{co}} \quad (4.50)$$

$$\varepsilon_{ccu} = 2\varepsilon_{cc} \quad (4.51)$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0,004 \quad (4.52)$$



Model	Teorik $f'_{cc}$ (MPa)	Teorik $\varepsilon'_{cc}$ (MPa)
Fardis & Khalili Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 4,1 \frac{\rho}{f'_{co}} \right)$ $f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 3,7 \left( \frac{\rho}{f'_{co}} \right)^{0,86} \right)$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} + 0,001 \frac{E_f n t}{f'_{co} D}$
Saadatmanesh Sargı Modeli	$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = \left( 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \left( \frac{2f_{fu} n t}{f'_{co} D} \right)} - 4 \frac{f_{fu} n t}{f'_{co} D} - 1,254 \right)$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right]$
Miyauchi Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 4,1 k_e \frac{2f_{fu} n t}{f'_{co} D} \right)$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1,0 + 10,6 \left( \frac{\rho_u}{f'_{co}} \right)^{0,373} \right]$ <p style="text-align: center;"><math>\Leftrightarrow</math></p> $f'_{co} = 30 \text{ mpa}$ $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1,0 + 10,5 \left( \frac{\rho_u}{f'_{co}} \right)^{0,525} \right]$ <p style="text-align: center;"><math>\Leftrightarrow</math></p> $f'_{co} = 50 \text{ mpa}$
ACI Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} \left[ 2,25 \sqrt{1 + 7,9 \frac{f_l}{f'_c}} - 2 \frac{f_l}{f'_c} - 1,25 \right]$	-
CSA Sargı Modeli	$f'_{cc} = 0,85 f'_{co} + k_1 k_s f_1$	-
Concrete Society Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} + 2k_s f_1$	-
Lam ve Teng Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + k_1 k_{s1} \frac{f_1}{f'_{co}} \right)$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left( 2 + 15 \frac{f_l}{f'_{co}} \right)$
Youssef Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} \left( 0,5 + 1,225 \left( \frac{f'_1}{f'_{co}} \right)^{0,6} \right)$	-
Challal Sargı Modeli	$f'_{cc} = f'_{co} \left( 1 + 72 \frac{k}{f'_{co}} \right)$	-
Koksal Sargı Modeli	$f = \sqrt{6\alpha} \left( \xi + \rho - \sqrt{2k} \left( \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \right) \right) = 0$ $\sigma_1 = \frac{\varepsilon_1 E_0}{1 + \left( \frac{E_0}{E_s} - 2 \right) \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{co}} \right) + \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{co}} \right)^2}$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon'_c \left( 1 + k_2 \frac{f_l}{f'_c} \right)$

Tablo 4.1: LP modellerin  $f'_{cc}$  ve  $\varepsilon_{cc}$  formül kıyaslamaları

## 5. BÖLÜM

### DENEYSEL VERİ TABANI BAZINDA MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 5.1 Giriş

Bu bölümde değişik araştırmacıların deneysel sonuçlarından elde edilen değerler; ACI, CSI, Concrete Society, Saadatmanesh, Miyauchi, Lam ve Teng, Youssef, Challal ve Köksal tarafından önerilen formülasyonlar ile analiz edilip sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Grafik analizde ise tüm yapılan analizler sonucunda elde edilen teorik  $f'_{cc}$  değerleri, deneysel  $f'_{cc}$  değerleri ile grafik üzerinde karşılaştırılmıştır

Ayrıca Fardis ve Khalili, Saadatmanesh ve Köksal in önerdiği  $\sigma_c$  ve  $\varepsilon_c$  eğrisi çizilerek dağılımlar irdelenmiştir.

#### 5.2 Tablolar ve Analizler

Modeller bölümünde anlatılan ACI, CSI, Concrete Society, Saadatmanesh, Miyauchi, Lam ve Teng, Youssef, Challal'ın önerdiği formülasyonlar kullanılmıştır. Tablolardaki, her araştırmacının elde ettiği değerler; ACI, CSI, Concrete Society, Saadatmanesh, Miyauchi, Lam ve Teng, Youssef, Challal Sargı Modelleri tarafından önerilen  $f'_{cc}$ ,  $f'_t$ ,  $f_i$  formülasyonu ile tek tek hesaplanarak tablo halinde sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca Köksal tarafından önerilen formülasyon ile deneysel veriler hesaplanarak; Concrete Society, Lam ve Teng ve Youssef Sargı Modelleri önermeleriyle bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Köksal önermesinde  $\sigma_2 = \sigma_3$  ifadesinde  $f'_l$  değerine eşit alınmış ve Concrete Society, Lam ve Teng ve Youssef Sargı Modelinden elde edilen  $f'_l$  değerleri kullanılarak Köksal önermesindeki sonuçlar arttırılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Grafikler için;

Fardis ve Khalili Sargı Modeli (1981);

$$f_c = \frac{E_{co} \varepsilon_c}{1 + \varepsilon_c \left( \frac{E_{co}}{f_{cc}} - \frac{1}{\varepsilon_{cc}} \right)} \quad (5.1)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} + 0,001 \frac{E_f n t}{f'_{co} D} \quad (5.2)$$

Saadatmanesh Sargı Modeli;

$$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r}$$

$$x = \frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}} \quad (5.3)$$

$$r = \frac{E_{co}}{E_{co} - E_{sec}}$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (5.4)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (5.5)$$

$\varepsilon_{co}$  kuşatılmamış beton birim şekil değiştirme değeri 0,002 alınmıştır,  $f_c$  parametresinde yer alan  $\varepsilon_c$  değeri grafik üzerinde 0,0005 arttırılarak kullanılmıştır

Kullanılan  $f'_l$  parametresi;

Modeller	$f'_l$
ACI Sargı Modeli	$f'_l = \frac{k_s \rho_f \varepsilon_{fe} E_f}{2} . k_s$
Lam ve Teng Sargı Modeli	$f'_l = \frac{2t E_{frp} \varepsilon_j}{D} . k_s$
Youssef Sargı Modeli	$f'_l = k_s (0,5 \rho_{FRP} f_{FRP})$
Challal Sargı Modeli	$f'_l = \frac{2t E_{FRP} \varepsilon_{FRP}}{D}$

Tablo 5.1: LP modellerin  $f_l$  ve  $f'_l$  formül kıyaslamaları

Tablolar 2 bölüm halinde hazırlanmıştır:

### 1. Bölüm

Bu bölümde numunelere ait temel geometrik, karakteristik ve ortak malzeme özellikleri listelenmiştir

### 2. Bölüm

Bu bölümde ise yapılan analiz sonuçlarından elde edilen LP kuşatma değerleri ( $f_{cc}, f'_l, f_l$ ) bir arada gösterilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tablo 5.2: Geometrik Boyutlar ve Malzeme Özellikleri

Beton No	Numune Sınıflandırması		Geometri					FRP Özellikleri				Beton Özellikleri		
	Reference	Numune adı	b (mm)	d (mm)	r (mm)	t (mm)	D (mm)	EfRP (mpa)	ε <sub>frp</sub>	F <sub>frp</sub> (MPa)	ρ <sub>f</sub>	E <sub>c</sub> (mpa)	f <sub>co</sub> (exp)	f <sub>cc</sub> (exp)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	Anselin	3S1R19	125	125	19	0,33	125	373000	0,004	1492	0,0106	31274,99	39,125	60,54
2		4S1R20	125	125	19	0,33	125	373000	0,0018	671,4	0,0106	31274,99	39,125	64,69
3		5S1R21	125	125	19	0,66	125	373000	0,004	1492	0,0211	31274,99	39,125	79,94
4		6S1R22	125	125	19	0,66	125	373000	0,004	1492	0,0211	31274,99	39,125	81,73
5		8S1R38	125	125	38	0,33	125	373000	0,00284	1059,32	0,0106	30590,03	37,43	75,196
6		9S1R38	125	125	38	0,66	125	373000	0,004	1492	0,0211	30590,03	37,43	99,05
7		12S2R19	125	175	19	0,33	145,8	373000	0,003	1119	0,0091	29974,99	35,94	38,42
8		13S2R19	125	175	19	0,33	145,8	373000	0,004	1492	0,0091	29974,99	35,94	48,12
9		14S2R20	125	175	19	0,66	145,8	373000	0,004	1492	0,0181	29974,99	35,94	62,52
10		16S2R38	125	175	38	0,33	145,8	373000	0,0039	1454,7	0,0091	29774,15	35,46	65,86
11		19S3R19	125	200	19	0,33	153,8	373000	0,0033	1230,9	0,0086	27294,69	29,8	46,26
12		20S3R19	125	200	19	0,66	153,8	373000	0,004	1492	0,0172	27294,69	29,8	51,41
13		22S3R38	125	200	38	0,33	153,8	373000	0,004	1492	0,0086	28133,61	31,66	52,04
14	Rochette	S5-C3	152	152	5	0,9	152	82700	0,0023	190,21	0,0237	32403,7	42	39,48
15		S25-C3	152	152	25	0,9	152	82700	0,004	330,8	0,0237	32403,7	42	41,58
16		(S25-C3)'	152	152	25	0,9	152	82700	0,004	330,8	0,0237	32403,7	42	43,26
17		S38-C3	152	152	38	0,9	152	82700	0,004	330,8	0,0237	32403,7	42	47,46
18		(S38-C3)'	152	152	38	0,9	152	82700	0,004	330,8	0,0237	32403,7	42	50,4
19		S5-C5	152	152	5	1,5	152	82700	0,0033	272,91	0,0395	33128,54	43,9	43,9
20		S25-C4	152	152	25	1,2	152	82700	0,004	330,8	0,0316	33128,54	43,9	50,93
21		(S25-C4)'	152	152	25	1,2	152	82700	0,004	330,8	0,0316	29916,55	35,8	52,27
22		S25-C5	152	152	25	1,5	152	82700	0,004	330,8	0,0395	29916,55	35,8	57,64
23		S38-C4	152	152	38	1,2	152	82700	0,004	330,8	0,0316	29916,55	35,8	59,43
24		S38-C5	152	152	38	1,5	152	82700	0,004	330,8	0,0395	29916,55	35,8	68,74
25	Lam and Teng	S1R15	150	150	15	0,165	150	257000	0,008	2056	0,0044	29025,85	33,7	41,79
26		S1R25	150	150	25	0,165	150	257000	0,008	2056	0,0044	29025,85	33,7	47,58
27		S2R15	150	150	15	0,33	150	257000	0,008	2056	0,0088	29025,85	33,7	60,26
28		S2R25	150	150	25	0,33	150	257000	0,008	2056	0,0088	29025,85	33,7	73,97
29		S3R15	150	150	15	0,495	150	257000	0,008	2056	0,0132	24494,9	24	73,608
30		S3R25	150	150	25	0,495	150	257000	0,008	2056	0,0132	24494,9	24	78,84
31		S4R15	150	150	15	0,66	150	257000	0,008	2056	0,0176	24494,9	24	76,008
32		S4R25	150	150	25	0,66	150	257000	0,008	2056	0,0176	24494,9	24	96,504
33		S5R15	150	150	15	0,825	150	257000	0,008	2056	0,022	32210,25	41,5	98,98
34		S5R25	150	150	25	0,825	150	257000	0,008	2056	0,022	32210,25	41,5	113,59
35		R4R15	150	225	15	0,66	180	257000	0,008	2056	0,0147	32210,25	41,5	60,47
36		R4R25	150	225	25	0,66	180	257000	0,008	2056	0,0147	32210,25	41,5	67,89
37	Harajiti	C1FP1	132	132	15	0,13	132	230000	0,008	1840	0,0039	21389,25	18,3	28,18
38		C1FP2	132	132	15	0,26	132	230000	0,008	1840	0,0079	21389,25	18,3	38,98
39		C1FP3	132	132	15	0,39	132	230000	0,008	1840	0,0118	21389,25	18,3	42,09
40		C2FP1	102	176	15	0,13	129,2	230000	0,008	1840	0,004	21389,25	18,3	22,51
41		C2FP2	102	176	15	0,26	129,2	230000	0,008	1840	0,0081	21389,25	18,3	29,65
42		C2FP3	102	176	15	0,39	129,2	230000	0,008	1840	0,0121	21389,25	18,3	34,95
43		C3FP1	79	214	15	0,13	115,4	230000	0,008	1840	0,0045	21389,25	18,3	24,33
44		C3FP2	79	214	15	0,26	115,4	230000	0,008	1840	0,009	21389,25	18,3	24,33
45		C3FP3	79	214	15	0,39	115,4	230000	0,008	1840	0,0135	21389,25	18,3	26,17
46		C1SFP1	132	132	15	0,13	132	230000	0,008	1840	0,0039	19493,59	15,2	28,58
47		C1SFP2	132	132	15	0,26	132	230000	0,008	1840	0,0079	19493,59	15,2	38,61
48		C1SFP3	132	132	15	0,39	132	230000	0,008	1840	0,0118	19493,59	15,2	47,73
49		C2SFP1	102	176	15	0,13	129,2	230000	0,008	1840	0,004	19493,59	15,2	25,08
50		C2SFP2	102	176	15	0,26	129,2	230000	0,008	1840	0,0081	19493,59	15,2	30,7
51		C2SFP3	102	176	15	0,39	129,2	230000	0,008	1840	0,0121	19493,59	15,2	38,3
52		C3SFP1	79	214	15	0,13	115,4	230000	0,008	1840	0,0045	19493,59	15,2	20,67
53		C3SFP2	79	214	15	0,26	115,4	230000	0,008	1840	0,009	19493,59	15,2	23,56
54		C3SFP3	79	214	15	0,39	115,4	230000	0,008	1840	0,0135	19493,59	15,2	29,03

Tablo 5.2: Devami

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
55	Shehata et al.	S1-25	150	150	10	0,165	150	235000	0,008	1880	0,0044	24341,32	23,7	27,49
56		(S1-25)'	150	150	10	0,33	150	235000	0,008	1880	0,0088	24341,32	23,7	36,5
57		S2-30	150	150	10	0,165	150	235000	0,008	1880	0,0044	27156,95	29,5	40,42
58		(S2-30)'	150	150	10	0,33	150	235000	0,008	1880	0,0088	27156,95	29,5	43,66
59		R1-25	94	188	10	0,165	125,3	235000	0,008	1880	0,0053	24341,32	23,7	25,83
60		(R1-25)'	94	188	10	0,33	125,3	235000	0,008	1880	0,0105	24341,32	23,7	33,2
61		R2-30	94	188	10	0,165	125,3	235000	0,008	1880	0,0053	26832,82	28,8	31,97
62	(R2-30)'	94	188	10	0,33	125,3	235000	0,008	1880	0,0105	26832,82	28,8	38,59	
63	Turgay	C3L4S8	200	200	20	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	22000	19,36	28,59
64		C3L4S12	200	200	20	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	22000	19,36	29,15
65		C3L8S8	200	200	20	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	22000	19,36	31,7
66		C3L8S12	200	200	20	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	22000	19,36	33,88
67		C5L4S8	200	200	20	0,33	200	230000	0,008	1840	0,0066	22000	19,36	29,32
68		C5L4S12	200	200	20	0,33	200	230000	0,008	1840	0,0066	22000	19,36	30,12
69		C5L8S8	200	200	20	0,33	200	230000	0,008	1840	0,0066	22000	19,36	32,35
70	C5L8S12	200	200	20	0,33	200	230000	0,008	1840	0,0066	22000	19,36	35,4	
71	İlki	LSR-R-1-1-40A-A	250	250	40	0,165	250	230000	0,008	1840	0,0026	16454,48	10,83	18,953
72		LSR-R-1-1-40B-A	250	250	40	0,165	250	230000	0,008	1840	0,0026	16454,48	10,83	20,577
73		LSR-R-1-1-40A	250	250	40	0,165	250	230000	0,008	1840	0,0026	16454,48	10,83	20,577
74		LSR-R-1-1-40B	250	250	40	0,165	250	230000	0,008	1840	0,0026	16454,48	10,83	20,36
75		LSR-R-1-3-40A	250	250	40	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	16454,48	10,83	37,58
76		LSR-R-1-3-40B	250	250	40	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	16454,48	10,83	41,154
77		LSR-R-1-3-10A	250	250	10	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	16454,48	10,83	24,909
78		LSR-R-1-3-10B	250	250	10	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	16454,48	10,83	26,642
79		LSR-R-1-3-20A	250	250	20	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	16454,48	10,83	29,458
80		LSR-R-1-3-20B	250	250	20	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	16454,48	10,83	31,082
81		LSR-R-1-5-40A	250	250	40	0,825	250	230000	0,008	1840	0,0132	16454,48	10,83	51,876
82		LSR-R-1-5-40B	250	250	40	0,825	250	230000	0,008	1840	0,0132	16454,48	10,83	48,085
83		LSR-R-2-1-40A-A	300	150	40	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	16703,29	11,16	20,646
84		LSR-R-2-1-40B-B	300	150	40	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	16703,29	11,16	20,869
85		LSR-R-2-1-40Ab	300	150	40	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	16703,29	11,16	18,414
86		LSR-R-2-1-40B	300	150	40	0,165	200	230000	0,008	1840	0,0033	16703,29	11,16	11,718
87		LSR-R-2-3-40A-PD	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	16703,29	11,16	32,029
88		LSR-R-2-3-40B-PD	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	16703,29	11,16	40,511
89		LSR-R-2-3-40Ab	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	16703,29	11,16	35,154
90		LSR-R-2-3-40B	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	16703,29	11,16	26,784
91		LSR-R-2-3-40A-H	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	16703,29	11,16	20,088
92		LSR-R-2-3-40B-S	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	16703,29	11,16	18,86
93		LSR-R-2-5-40A	300	150	40	0,825	200	230000	0,008	1840	0,0165	16703,29	11,16	50,666
94		LSR-R-2-5-40B	300	150	40	0,825	200	230000	0,008	1840	0,0165	16703,29	11,16	36,27
95		NSR-R-1-050-3-40	250	250	40	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	24207,44	23,44	44,77
96		NSR-R-1-100-3-40	250	250	40	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	24207,44	23,44	45,708
97		NSR-R-1-200-3-40	250	250	40	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	24207,44	23,44	41,958
98		NSR-R-1-050-5-40	250	250	40	0,825	250	230000	0,008	1840	0,0132	24207,44	23,44	57,428
99		NSR-R-1-100-5-40	250	250	40	0,825	250	230000	0,008	1840	0,0132	24207,44	23,44	57,662
100		NSR-R-1-200-5-40	250	250	40	0,825	250	230000	0,008	1840	0,0132	24207,44	23,44	58,834
101		NSR-R-1-000-3-40	250	250	40	0,495	250	230000	0,008	1840	0,0079	24207,44	23,44	41,02
102	NSR-R-2-050-3-40	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	24207,44	23,44	40,317	
103	NSR-R-2-100-3-40	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	24207,44	23,44	43,13	
104	NSR-R-2-175-3-40	300	150	40	0,495	200	230000	0,008	1840	0,0099	24207,44	23,44	40,786	
105	NSR-R-2-050-5-40	300	150	40	0,825	200	230000	0,008	1840	0,0165	24207,44	23,44	60,241	
106	NSR-R-2-100-5-40	300	150	40	0,825	200	230000	0,008	1840	0,0165	24207,44	23,44	53,209	
107	NSR-R-2-175-5-40-A	300	150	40	0,825	200	230000	0,008	1840	0,0165	24207,44	23,44	48,052	

Tablo 5.2: Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
108	Challal et al.	1-SC-1L3-1.0	133	133	25	0,120	133	230000	0,008	1840	0,004	23151,67	21,44	26,16
109		1-SC-2L3-1.0	133	133	25	0,240	133	230000	0,008	1840	0,007	23151,67	21,44	30,66
110		1-SC-3L3-1.0	133	133	25	0,360	133	230000	0,008	1840	0,011	23151,67	21,44	36,45
111		1-SC-4L3-1.0	133	133	25	0,480	133	230000	0,008	1840	0,014	23151,67	21,44	42,23
112		4-SC-1L3-1.0	133	133	25	0,120	133	230000	0,008	1840	0,004	36972,96	54,68	59,05
113		4-SC-2L3-1.0	133	133	25	0,240	133	230000	0,008	1840	0,007	36972,96	54,68	59,87
114		4-SC-3L3-1.0	133	133	25	0,360	133	230000	0,008	1840	0,011	36972,96	54,68	64,52
115		4-SC-4L3-1.0	133	133	25	0,480	133	230000	0,008	1840	0,014	36972,96	54,68	68,9
116		2-SC-1L3-0.65	108	165	25	0,120	130,5	230000	0,008	1840	0,004	25049,95	25,1	29,12
117		2-SC-2L3-0.65	108	165	25	0,240	130,5	230000	0,008	1840	0,007	25049,95	25,1	34,39
118		2-SC-3L3-0.65	108	165	25	0,360	130,5	230000	0,008	1840	0,011	25049,95	25,1	41,16
119		2-SC-4L3-0.65	108	165	25	0,480	130,5	230000	0,008	1840	0,015	25049,95	25,1	47,69
120		5-SC-1L3-0.65	108	165	25	0,120	130,5	230000	0,008	1840	0,004	37202,15	55,36	59,24
121		5-SC-2L3-0.65	108	165	25	0,240	130,5	230000	0,008	1840	0,007	37202,15	55,36	66,43
122		5-SC-3L3-0.65	108	165	25	0,360	130,5	230000	0,008	1840	0,011	37202,15	55,36	69,2
123		5-SC-4L3-0.65	108	165	25	0,480	130,5	230000	0,008	1840	0,015	37202,15	55,36	73,63
124		3-SC-1L3-0.5	95	190,5	25	0,120	126,8	230000	0,008	1840	0,004	23632,6	22,34	28,37
125		3-SC-2L3-0.5	95	190,5	25	0,240	126,8	230000	0,008	1840	0,008	23632,6	22,34	32,84
126		3-SC-3L3-0.5	95	190,5	25	0,360	126,8	230000	0,008	1840	0,011	23632,6	22,34	37,98
127	3-SC-4L3-0.5	95	190,5	25	0,480	126,8	230000	0,008	1840	0,015	23632,6	22,34	42,22	
128	6-SC-1L3-0.5	95	190,5	25	0,120	126,8	230000	0,008	1840	0,004	34662,66	48,06	53,35	
129	6-SC-2L3-0.5	95	190,5	25	0,240	126,8	230000	0,008	1840	0,008	34662,66	48,06	57,19	
130	6-SC-3L3-0.5	95	190,5	25	0,360	126,8	230000	0,008	1840	0,011	34662,66	48,06	59,59	
131	6-SC-4L3-0.5	95	190,5	25	0,480	126,8	230000	0,008	1840	0,015	34662,66	48,06	60,56	
132	Demers and Neate	1	152	152	5	1,05	152	10500	0,008	84	0,028	28416,54	32,3	31,82
133		2	152	152	5	1,05	152	10500	0,008	84	0,028	28416,54	32,3	33,01
134		3	152	152	5	0,9	152	25000	0,008	200	0,024	28416,54	32,3	34,11
135		4	152	152	5	0,9	152	25000	0,008	200	0,024	32480,76	42,2	46
136		5	152	152	5	0,9	152	25000	0,008	200	0,024	32480,76	42,2	45,7
137	Pessiki	Square-1	152	152	38	1	152	38100	0,008	304,8	0,026	25690,47	26,4	41,4
138		Square-2	152	152	38	2	152	38100	0,008	304,8	0,053	25690,47	26,4	55,1
139		S3	457	457	38	3	457	21600	0,008	172,8	0,026	28635,64	32,8	35,5
140		S4	457	457	38	2	457	38100	0,008	304,8	0,018	28635,64	32,8	37,4
141	Hosotani et al.	96-15	200	200	20	0,056	200	248000	0,008	1984	0,001	30822,07	38	39,48
142		98S-12	200	200	20	0,670	200	252000	0,008	2016	0,013	30822,07	38	58
143		98H+7	200	200	20	0,337	200	439000	0,008	3512	0,007	30822,07	38	44
144	Feng et al.	CM1	200	200	20	0,304	200	65000	0,008	520	0,006	22759,61	20,72	26,93
145		CM2	200	200	20	0,608	200	65000	0,008	520	0,012	22759,61	20,72	26,93
146		CM3	200	200	20	0,912	200	65000	0,008	520	0,018	22759,61	20,72	28,99
147		CM4	200	200	20	0,111	200	235000	0,008	1880	0,002	22759,61	20,72	26,26
148	Parvin and Wan Suter and Pinzelli	1	108	108	8,26	0,180	108	188900	0,008	1511,2	0,007	23769,73	22,6	34,8
149		2	108	108	8,26	0,360	108	188900	0,008	1511,2	0,013	23769,73	22,6	45,2
150		1	152	152	5	0,29	152	125000	0,004	500	0,008	29111,85	33,9	32,54
151		2	152	152	5	0,58	152	125000	0,004	500	0,015	29111,85	33,9	37,29
152		3	152	152	5	0,87	152	125000	0,004	500	0,023	29538,11	34,9	37
153		4	152	152	5	1,16	152	125000	0,004	500	0,031	29958,3	35,9	38,41
154		5	152	152	25	0,29	152	125000	0,004	500	0,008	30248,97	36,6	39,53
155		6	152	152	25	0,58	152	125000	0,004	500	0,015	30248,97	36,6	43,55
156		7	152	152	25	0,87	152	125000	0,004	500	0,023	30248,97	36,6	56,73
157		8	152	152	25	1,16	152	125000	0,004	500	0,031	30248,97	36,6	64,78
158		9	152	152	5	0,23	152	240000	0,004	960	0,006	29111,85	33,9	35,93
159		10	152	152	25	0,23	152	240000	0,004	960	0,006	30248,97	36,6	41,36
160		11	152	152	5	0,38	152	640000	0,004	2560	0,010	29111,85	33,9	40
161		12	152	152	25	0,38	152	640000	0,004	2560	0,010	30248,97	36,6	46,48
162		13	152	152	5	0,62	152	73000	0,004	292	0,016	29111,85	33,9	36,95
163		14	152	152	5	1,23	152	73000	0,004	292	0,032	29111,85	33,9	37,97
164	15	152	152	25	0,62	152	73000	0,004	292	0,016	30248,97	36,6	39,89	
165	16	152	152	25	1,23	152	73000	0,004	292	0,032	30248,97	36,6	42,09	

Tablo 5.2: Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
166	Al-Salloum	S-r5-1	150	150	5	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	26776,86	28,68	41,18
167		S-r5-2	150	150	5	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	27811,87	30,94	42,49
168		S-r25-1	150	150	25	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	28204,61	31,82	48,25
169		S-r25-2	150	150	25	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	26692,7	28,5	45,59
170		S-r38-1	150	150	38	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	26315,39	27,7	56,96
171		S-r38-2	150	150	38	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	27518,18	30,29	54,96
172		S-r50-1	150	150	50	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	25845,7	26,72	61,67
173	S-r50-2	150	150	50	1,2	150	75100	0,008	600,8	0,032	26580,07	28,26	63,68	
174	Rousakis	ACL1M	200	200	30	0,117	200	240000	0,008	1920	0,002	28722,81	33	38,44
175		ACL1C	200	200	30	0,117	200	240000	0,008	1920	0,002	28722,81	33	38,78
176		ACL3M	200	200	30	0,351	200	240000	0,008	1920	0,007	28722,81	33	45,9
177		ACL3C	200	200	30	0,351	200	240000	0,008	1920	0,007	28722,81	33	42,36
178		ACL5M	200	200	30	0,585	200	240000	0,008	1920	0,012	28722,81	33	55,64
179		ACL5C	200	200	30	0,585	200	240000	0,008	1920	0,012	28722,81	33	59,45
180		AGL3M	200	200	30	0,414	200	65000	0,008	520	0,008	28722,81	33	42,55
181		AGL3C	200	200	30	0,414	200	65000	0,008	520	0,008	28722,81	33	41,82
182		AGL6M	200	200	30	0,828	200	65000	0,008	520	0,017	28722,81	33	44,41
183		AGL6C	200	200	30	0,828	200	65000	0,008	520	0,017	28722,81	33	47,27
184		AGL9M	200	200	30	1,242	200	65000	0,008	520	0,025	28722,81	33	51,9
185		AGL9C	200	200	30	1,242	200	65000	0,008	520	0,025	28722,81	33	55,49
186		BCL1M	200	200	30	0,117	200	240000	0,008	1920	0,002	29154,76	34	42,19
187		BCL1C	200	200	30	0,117	200	240000	0,008	1920	0,002	29154,76	34	41,91
188		BCL3M	200	200	30	0,351	200	240000	0,008	1920	0,007	29154,76	34	45,21
189		BCL3C	200	200	30	0,351	200	240000	0,008	1920	0,007	29154,76	34	45,67
190		BCL5M	200	200	30	0,585	200	240000	0,008	1920	0,012	29154,76	34	54,57
191		BCL5C	200	200	30	0,585	200	240000	0,008	1920	0,012	29154,76	34	54,94
192		CGL3M	200	200	30	0,414	200	65000	0,008	520	0,008	30822,07	38	40,36
193		CGL3C	200	200	30	0,414	200	65000	0,008	520	0,008	30822,07	38	39,06
194		CGL6M	200	200	30	0,828	200	65000	0,008	520	0,017	30822,07	38	52,83
195		CGL6C	200	200	30	0,828	200	65000	0,008	520	0,017	30822,07	38	52,41
196		CGL9M	200	200	30	1,242	200	65000	0,008	520	0,025	30822,07	38	59,76
197	CGL9C	200	200	30	1,242	200	65000	0,008	520	0,025	30822,07	38	60,16	
198	DGL3M	200	200	30	0,414	200	65000	0,008	520	0,008	31622,78	40	43,14	
199	DGL3C	200	200	30	0,414	200	65000	0,008	520	0,008	31622,78	40	37,7	
200	DGL6M	200	200	30	0,828	200	65000	0,008	520	0,017	31622,78	40	54,17	
201	DGL6C	200	200	30	0,828	200	65000	0,008	520	0,017	31622,78	40	47,14	
202	DGL9M	200	200	30	1,242	200	65000	0,008	520	0,025	31622,78	40	59,5	
203	DGL9C	200	200	30	1,242	200	65000	0,008	520	0,025	31622,78	40	61,5	



Tablo 5.3: Modellerin Kıyaslanması

Beton No	Numune Sınıflandırması		KÜŞATMA ÖZELLİKLERİ																								
	Referans	Numune Adı	ACI				CSA				Concrete Society			Lam and teng				Miyauchi		Youssef		Challal		saadat manesh	Koksal (I)	Koksal (II)	Koksal (III)
			K <sub>s</sub>	f <sub>i</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>cc</sub>	K <sub>s</sub>	f <sub>i</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>cc</sub>	f <sub>i</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>cc</sub>	k <sub>s1</sub>	f <sub>i</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>cc</sub>	k <sub>e</sub>	f <sub>cc</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>cc</sub>	K	f <sub>cc</sub>	f <sub>cc</sub>	f <sub>cc</sub> (Con.Soci)	f <sub>cc</sub> (Youssef)	f <sub>cc</sub> (Lam&Teng)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
1	Anselm	3S1R19	0,671	5,282	3,542	67,079	0,25	7,8778	1,969	45,02	7,87776	5,2547	49,689	0,667	4,6164	3,0793	49,287	0,85	66,579	5,2821	33,9771	0,2519	57,261	77,345	59	59	60,54
2		4S1R20	0,671	5,282	3,542	67,079	0,25	7,8778	1,969	45,02	3,54499	2,3646	43,879	0,667	2,0774	1,3857	43,698	0,85	51,4793	2,3769	28,49	0,2519	57,261	59,485	45	45	64,69
3		5S1R21	0,671	10,56	7,083	85,785	0,25	15,756	3,939	54,16	15,7555	10,453	60,253	0,6634	9,2327	6,1254	59,339	0,85	94,033	10,564	41,4109	0,5038	75,397	100,1	84	84	79,94
4		6S1R22	0,671	10,56	7,083	85,785	0,25	15,756	3,939	54,16	15,7555	10,453	60,253	0,6634	9,2327	6,1254	59,339	0,85	94,033	10,564	41,4109	0,5038	75,397	100,1	84	84	81,73
5		8S1R38	0,889	7,001	6,222	71,773	0,25	7,8778	1,969	43,57	5,59321	4,9644	47,372	0,8876	3,2776	2,9092	47,03	0,85	56,9223	4,9708	32,3696	0,2575	55,972	66,628	56	56	75,196
6		9S1R38	0,889	14	12,44	92,699	0,25	15,756	3,939	52,72	15,7555	13,965	65,434	0,8864	9,2327	8,1836	64,436	0,85	92,338	14,002	44,1329	0,5151	74,514	97,356	99	99	99,05
7		12S2R19	0,593	4,003	2,374	57,944	0,25	7,8778	1,969	42,31	5,06427	2,1313	40,229	1,1548	2,9677	3,4271	47,25	0,85	53,589	3,0025	27,8979	0,1877	49,456	62,72	42	42	38,42
8		13S2R19	0,593	4,003	2,374	57,944	0,25	7,8778	1,969	42,31	6,75237	2,8418	41,659	1,1548	3,9569	4,5695	51,019	0,85	59,472	4,0033	29,7684	0,1877	49,456	69,301	45	50	48,12
9		14S2R20	0,593	8,007	4,747	73,404	0,25	15,756	3,939	51,45	13,5047	5,647	47,378	1,1474	7,9138	9,0803	65,905	0,85	83,004	8,0067	35,853	0,3754	62,972	89,605	58	69	62,52
10		16S2R38	0,803	5,421	4,353	63,382	0,25	7,8778	1,969	41,9	6,58356	3,7674	43,011	1,5702	3,858	6,0579	55,451	0,85	58,4037	5,2858	31,5942	0,189	49,067	68,086	50	55	65,86
11		19S3R19	0,543	3,479	1,891	48,753	0,25	7,8778	1,969	37,09	5,28056	1,7808	33,387	1,3813	3,0944	4,2743	43,905	0,85	48,2028	2,8699	23,8649	0,1804	42,788	56,279	34	38	46,26
12		20S3R19	0,543	6,957	3,781	61,918	0,25	15,756	3,939	46,23	12,8014	4,2849	38,497	1,371	7,5016	10,285	63,74	0,85	74,4127	6,9574	30,1508	0,3608	55,776	78,097	46	59	51,41
13		22S3R38	0,751	4,804	3,606	56,446	0,25	7,8778	1,969	38,67	6,40068	2,9943	37,665	1,9162	3,7508	7,1871	55,378	0,85	53,9664	4,8042	28,3417	0,175	44,261	62,68	40	50	52,04
14	Rochette	S5-C3	0,418	1,636	0,683	52,294	0,25	3,9174	0,979	42,28	2,25249	0,9089	43,881	0,4035	1,32	0,5326	43,758	0,85	49,8499	0,9407	26,2663	0,0994	49,158	55,868	40	40	39,48
15		S25-C3	0,693	2,713	1,879	58,211	0,25	3,9174	0,979	42,28	3,91737	2,6843	47,427	0,6852	2,2956	1,573	47,191	0,85	55,652	2,7133	30,9435	0,0994	49,158	64,393	48	48	41,58
16		(S25-C3)'	0,693	2,713	1,879	58,211	0,25	3,9174	0,979	42,28	3,91737	2,6843	47,427	0,6852	2,2956	1,573	47,191	0,85	55,652	2,7133	30,9435	0,0994	49,158	64,393	49	49	43,26
17		S38-C3	0,824	3,227	2,659	60,843	0,25	3,9174	0,979	42,28	3,91737	3,2109	48,455	0,8197	2,2956	1,8816	48,209	0,85	55,652	3,2274	32,0343	0,0994	49,158	64,393	51	51	47,46
18		(S38-C3)'	0,824	3,227	2,659	60,843	0,25	3,9174	0,979	42,28	3,91737	3,2109	48,455	0,8197	2,2956	1,8816	48,209	0,85	55,652	3,2274	32,0343	0,0994	49,158	64,393	51	51	50,4
19		S5-C5	0,418	2,727	1,139	60,269	0,25	6,5289	1,632	47,38	5,38638	2,1206	48,399	0,3937	3,1564	1,2427	48,001	0,85	62,6715	2,2495	30,9942	0,1621	55,569	73,209	47	50	43,9
20		S25-C4	0,693	3,618	2,506	64,808	0,25	5,2232	1,306	45,68	5,22316	3,5657	51,136	0,6827	3,0608	2,0895	50,795	0,85	62,1027	3,6178	33,9778	0,1297	53,235	72,492	54	55	50,93
21		(S25-C4)'	0,693	3,618	2,506	64,808	0,25	5,2232	1,306	38,79	5,22316	3,5657	43,036	0,6827	3,0608	2,0895	42,695	0,85	54,0027	3,6178	28,9855	0,1436	46,138	63,212	48	48	52,27
22		S25-C5	0,693	4,522	3,132	60,061	0,25	6,5289	1,632	40,49	6,52895	4,44	44,844	0,6801	3,826	2,6019	44,386	0,85	58,5534	4,5222	30,5736	0,1795	48,722	68,303	52	52	57,64
23		S38-C4	0,824	4,303	3,545	59,114	0,25	5,2232	1,306	38,79	5,22316	4,2735	44,406	0,8182	3,0608	2,5043	44,064	0,85	54,0027	4,3032	30,2016	0,1436	46,138	63,212	52	52	59,43
24		S38-C5	0,824	5,379	4,432	63,613	0,25	6,5289	1,632	40,49	6,52895	5,3321	46,558	0,8167	3,826	3,1246	46,111	0,85	58,5534	5,379	31,964	0,1795	48,722	68,303	57	57	68,74
25	Lam and Teng	S1R15	0,57	1,288	0,734	41,819	0,25	2,2616	0,565	32,82	4,5232	2,5681	38,853	0,5678	2,6506	1,5049	38,666	0,85	49,4634	2,5766	25,677	0,0649	38,375	57,867	41	41	41,79
26		S1R25	0,696	1,575	1,097	43,451	0,25	2,2616	0,565	32,82	4,5232	3,1443	40	0,6952	2,6506	1,8426	39,78	0,85	49,4634	3,1502	26,8084	0,0649	38,375	57,867	44	44	47,58
27		S2R15	0,57	2,577	1,468	48,754	0,25	4,5232	1,131	36,06	9,0464	5,1188	44,006	0,5658	5,3012	2,9996	43,599	0,85	65,2267	5,1531	30,2292	0,1299	43,05	74,064	54	54	60,26
28		S2R25	0,696	3,15	2,194	51,551	0,25	4,5232	1,131	36,06	9,0464	6,2764	46,301	0,6938	5,3012	3,678	45,837	0,85	65,2267	6,3004	31,9441	0,1299	43,05	74,064	60	60	73,97
29		S3R15	0,57	3,865	2,202	43,669	0,25	6,7848	1,696	30,79	13,5696	7,6519	39,459	0,5639	7,9518	4,484	38,797	0,85	71,2901	7,7297	26,8976	0,2308	40,619	69,507	56	56	73,608
30		S3R25	0,696	4,725	3,291	46,872	0,25	6,7848	1,696	30,79	13,5696	9,3961	42,901	0,6924	7,9518	5,5061	42,17	0,85	71,2901	9,4506	28,8072	0,2308	40,619	69,507	64	64	78,84
31		S4R15	0,57	5,153	2,935	48,363	0,25	9,0464	2,262	33,59	18,0928	10,167	44,612	0,5619	10,602	5,9579	43,661	0,85	87,0534	10,306	29,7044	0,3078	46,159	76,697	67	67	76,008
32		S4R25	0,696	6,3	4,388	52,075	0,25	9,0464	2,262	33,59	18,0928	12,503	49,202	0,6911	10,602	7,3269	48,179	0,85	87,0534	12,601	31,9737	0,3078	46,159	76,697	77	77	96,504
33		SSR15	0,57	6,441	3,669	74,562	0,25	11,308	2,827	51,15	22,616	12,664	67,266	0,56	13,253	7,4213	65,99	0,85	120,317	12,883	45,9477	0,2926	62,564	118,62	98	98	98,98
34		SSR25	0,696	7,875	5,485	79,989	0,25	11,308	2,827	51,15	22,616	15,598	73,002	0,6897	13,253	9,1402	71,663	0,85	120,317	15,751	49,1776	0,2926	62,564	118,62	111	111	113,59
35		R4R15	0,479	3,613	1,731	62,206	0,25	9,0464	2,262	48,46	15,0773	4,7393	51,134	1,0609	8,8353	9,3732	72,432	0,85	94,0445	7,2256	38,5607	0,156	52,734	102,17	60	70	60,47
36		R4R25	0,592	4,465	2,644	66,197	0,25	9,0464	2,262	48,46	15,0773	5,8926	53,407	1,319	8,8353	11,654	79,959	0,85	94,0445	8,9299	40,9738	0,156	52,734	102,17	65	80	67,89

Tablo 5.3: Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
37	Harajli	C1FP1	0,597	1,083	0,647	24,837	0,25	1,8121	0,453	19,03	3,62424	2,1597	22,631	0,5959	2,1238	1,2656	22,476	0,85	30,9305	2,1653	15,3792	0,0802	24,076	35,961	25	25	28,18
38		C1FP2	0,597	2,165	1,294	30,067	0,25	3,6242	0,906	21,73	7,24848	4,3077	26,961	0,5943	4,2476	2,5243	26,63	0,85	43,561	4,3307	18,5917	0,1605	29,853	46,533	35	35	38,98
39		C1FP3	0,597	3,248	1,941	34,445	0,25	5,4364	1,359	24,2	10,8727	6,4439	31,292	0,5927	6,3714	3,7762	30,761	0,85	56,1915	6,496	21,1922	0,2407	35,629	53,936	43	43	42,09
40		C2FP1	0,503	0,931	0,468	24,014	0,25	2,3451	0,586	19,86	3,70419	1,0747	20,458	1,4905	2,1707	3,2353	28,976	0,85	31,2091	1,8617	14,8393	0,0779	23,907	36,246	20	22	22,51
41		C2FP2	0,503	1,862	0,936	28,7	0,25	4,6902	1,173	23,2	7,40838	2,1406	22,616	1,4844	4,3413	6,4444	39,566	0,85	44,1182	3,7233	17,7734	0,1557	29,513	46,913	25	31	29,65
42		C2FP3	0,503	2,793	1,403	32,689	0,25	7,0353	1,759	26,26	11,1126	3,1978	24,774	1,4783	6,512	9,6269	50,069	0,85	57,0273	5,585	20,1484	0,2336	35,12	54,35	30	39	34,95
43		C3FP1	0,277	0,574	0,159	21,971	0,25	3,0278	0,757	20,87	4,14561	0,4188	19,147	2,0078	2,4293	4,8777	34,396	0,85	32,7474	1,1477	13,4061	0,0827	24,253	37,766	17	21	24,33
44		C3FP2	0,277	1,148	0,318	25,182	0,25	6,0557	1,514	25,01	8,29121	0,8274	19,995	1,9836	4,8586	9,6376	50,104	0,85	47,1949	2,2954	15,6011	0,1654	30,207	48,912	19	24	24,33
45		C3FP3	0,277	1,722	0,477	28,045	0,25	9,0835	2,271	28,79	12,4368	1,2258	20,842	1,9591	7,288	14,278	65,418	0,85	61,6423	3,4431	17,3779	0,2481	36,16	56,497	21	30	26,17
46		C1SFP1	0,597	1,083	0,647	21,587	0,25	1,8121	0,453	16,39	3,62424	2,1597	19,531	0,5959	2,1238	1,2656	19,376	0,85	27,8305	2,1653	13,3835	0,088	21,538	31,966	22	22	28,58
47		C1SFP2	0,597	2,165	1,294	26,529	0,25	3,6242	0,906	19,09	7,24848	4,3077	23,861	0,5943	4,2476	2,5243	23,53	0,85	40,461	4,3307	16,3661	0,1761	27,876	41,397	32	32	38,61
48		C1SFP3	0,597	3,248	1,941	30,576	0,25	5,4364	1,359	21,56	10,8727	6,4439	28,192	0,5927	6,3714	3,7762	27,661	0,85	53,0915	6,496	18,7805	0,2641	34,215	47,74	41	41	47,73
49		C2SFP1	0,503	0,931	0,468	20,798	0,25	2,3451	0,586	17,22	3,70419	1,0747	17,358	1,4905	2,1707	3,2353	25,876	0,85	28,1091	1,8617	12,8822	0,0854	21,352	32,225	17	21	25,08
50		C2SFP2	0,503	1,862	0,936	25,249	0,25	4,6902	1,173	20,57	7,40838	2,1406	19,516	1,4844	4,3413	6,4444	36,466	0,85	41,0182	3,7233	15,6063	0,1709	27,504	41,729	22	30	30,7
51	C2SFP3	0,503	2,793	1,403	28,961	0,25	7,0353	1,759	23,63	11,1126	3,1978	21,674	1,4783	6,512	9,6269	46,969	0,85	53,9273	5,585	17,8115	0,2563	33,655	48,087	27	38	38,3	
52	C3SFP1	0,277	0,574	0,159	18,82	0,25	3,0278	0,757	18,24	4,14561	0,4188	16,047	2,0078	2,4293	4,8777	31,296	0,85	29,6474	1,1477	11,5516	0,0907	21,732	33,605	15	18	20,67	
53	C3SFP2	0,277	1,148	0,318	21,917	0,25	6,0557	1,514	22,37	8,29121	0,8274	16,895	1,9836	4,8586	9,6376	47,004	0,85	44,0949	2,2954	13,5895	0,1815	28,265	43,462	16	23	23,56	
54	C3SFP3	0,277	1,722	0,477	24,633	0,25	9,0835	2,271	26,15	12,4368	1,2258	17,742	1,9591	7,288	14,278	62,318	0,85	58,5423	3,4431	15,2391	0,2722	34,797	49,871	19	28	29,03	
55	Shehata et al.	S1-25	0,497	1,028	0,512	30,111	0,25	2,068	0,517	24,02	4,136	2,0478	27,814	0,4951	2,4237	1,2	27,66	0,85	38,114	2,057	18,5485	0,0708	28,798	44,518	28	28	27,49
56		(S1-25)'	0,497	2,057	1,023	35,495	0,25	4,136	1,034	27,03	8,272	4,0772	31,928	0,4929	4,8474	2,3892	31,584	0,85	52,5279	4,114	22,003	0,1416	33,895	57,476	38	38	36,5
57		S2-30	0,497	1,028	0,512	36,028	0,25	2,068	0,517	28,95	4,136	2,0478	33,614	0,4951	2,4237	1,2	33,46	0,85	43,914	2,057	22,0615	0,0635	34,069	51,395	35	35	40,42
58		(S2-30)'	0,497	2,057	1,023	41,67	0,25	4,136	1,034	31,96	8,272	4,0772	37,728	0,4929	4,8474	2,3892	37,384	0,85	58,3279	4,114	25,8321	0,1269	38,638	65,899	43	43	43,66
59		R1-25	0,361	0,894	0,323	29,34	0,25	3,3	0,825	25,86	4,95	0,8857	25,488	1,4315	2,9007	4,1523	37,403	0,85	40,9508	1,7881	18,0085	0,0901	30,19	47,478	24	27	25,83
60		(R1-25)'	0,361	1,788	0,646	34,167	0,25	6,6	1,65	30,3	9,9	1,7545	27,276	1,4178	5,8014	8,2253	50,844	0,85	58,2015	3,5762	21,1845	0,1803	36,68	61,469	29	35	33,2
61		R2-30	0,361	0,894	0,323	34,523	0,25	3,3	0,825	30,19	4,95	0,8857	30,588	1,4315	2,9007	4,1523	42,503	0,85	46,0508	1,7881	21,0578	0,0818	34,688	53,808	29	32	31,97
62	(R2-30)'	0,361	1,788	0,646	39,535	0,25	6,6	1,65	34,63	9,9	1,7545	32,376	1,4178	5,8014	8,2253	55,944	0,85	63,3015	3,5762	24,4913	0,1635	40,575	69,446	33	42	38,59	
63	Turgay	C3L4S8	0,57	0,865	0,493	24,736	0,25	1,518	0,38	19,45	3,036	1,7251	22,819	0,5682	1,7791	1,0109	22,696	0,85	29,9405	1,7294	15,2472	0,0431	22,465	35,036	24	24	28,59
64		C3L4S12	0,57	0,865	0,493	24,736	0,25	1,518	0,38	19,45	3,036	1,7251	22,819	0,5682	1,7791	1,0109	22,696	0,85	29,9405	1,7294	15,2472	0,0431	22,465	35,036	24	24	29,15
65		C3L8S8	0,57	0,865	0,493	24,736	0,25	1,518	0,38	19,45	3,036	1,7251	22,819	0,5682	1,7791	1,0109	22,696	0,85	29,9405	1,7294	15,2472	0,0431	22,465	35,036	24	24	31,7
66		C3L8S12	0,57	0,865	0,493	24,736	0,25	1,518	0,38	19,45	3,036	1,7251	22,819	0,5682	1,7791	1,0109	22,696	0,85	29,9405	1,7294	15,2472	0,0431	22,465	35,036	24	24	33,88
67		C5L4S8	0,57	1,729	0,985	29,232	0,25	3,036	0,759	21,79	6,072	3,4416	26,278	0,5668	3,5582	2,0168	26,015	0,85	40,5209	3,4588	18,1183	0,0863	25,57	45,103	31	31	29,32
68		C5L4S12	0,57	1,729	0,985	29,232	0,25	3,036	0,759	21,79	6,072	3,4416	26,278	0,5668	3,5582	2,0168	26,015	0,85	40,5209	3,4588	18,1183	0,0863	25,57	45,103	31	31	30,12
69		C5L8S8	0,57	1,729	0,985	29,232	0,25	3,036	0,759	21,79	6,072	3,4416	26,278	0,5668	3,5582	2,0168	26,015	0,85	40,5209	3,4588	18,1183	0,0863	25,57	45,103	32	32	32,35
70	C5L8S12	0,57	1,729	0,985	29,232	0,25	3,036	0,759	21,79	6,072	3,4416	26,278	0,5668	3,5582	2,0168	26,015	0,85	40,5209	3,4588	18,1183	0,0863	25,57	45,103	32	32	35,4	
71	Ilki	R-R-1-1-40A	0,685	0,832	0,569	15,686	0,25	1,2144	0,304	11,7	2,4288	1,6613	14,156	0,684	1,4233	0,9735	14,043	0,85	19,2944	1,6632	9,72581	0,0369	13,487	22,267	16	16	18,9525
72		R-R-1-1-40E	0,685	0,832	0,569	15,686	0,25	1,2144	0,304	11,7	2,4288	1,6613	14,156	0,684	1,4233	0,9735	14,043	0,85	19,2944	1,6632	9,72581	0,0369	13,487	22,267	16	16	20,577
73		SR-R-1-1-40	0,685	0,832	0,569	15,686	0,25	1,2144	0,304	11,7	2,4288	1,6613	14,156	0,684	1,4233	0,9735	14,043	0,85	19,2944	1,6632	9,72581	0,0369	13,487	22,267	16	16	20,577
74		SR-R-1-1-40	0,685	0,832	0,569	15,686	0,25	1,2144	0,304	11,7	2,4288	1,6613	14,156	0,684	1,4233	0,9735	14,043	0,85	19,2944	1,6632	9,72581	0,0369	13,487	22,267	16	16	20,3604
75		SR-R-1-3-40	0,685	2,495	1,708	22,392	0,25	3,6432	0,911	15,41	7,2864	4,9716	20,809	0,6823	4,2698	2,9134	20,444	0,85	36,2231	4,9897	13,7486	0,1107	18,801	33,321	30	30	37,5801
76		SR-R-1-3-40	0,685	2,495	1,708	22,392	0,25	3,6432	0,911	15,41	7,2864	4,9716	20,809	0,6823	4,2698	2,9134	20,444	0,85	36,2231	4,9897	13,7486	0,1107	18,801	33,321	30	30	41,154
77		SR-R-1-3-10	0,435	1,585	0,689	19,072	0,25	3,6432	0,911	15,41	7,2864	3,1364	17,169	0,4304	4,2698	1,8379	16,895	0,85	36,2231	3,1693	11,7619	0,1107	18,801	33,321	23	23	24,909
78		SR-R-1-3-10	0,435	1,585	0,689	19,072	0,25	3,6432	0,911	15,41	7,2864	3,1364	17,169	0,4304	4,2698	1,8379	16,895	0,85	36,2231	3,1693	11,7619	0,1107	18,801	33,321	23	23	26,6418
79		SR-R-1-3-20	0,527	1,92	1,012	20,377	0,25	3,6432	0,911	15,41	7,2864	3,8125	18,51	0,5232	4,2698	2,2341	18,203	0,85	36,2231	3,8399	12,5366	0,1107	18,801	33,321	26	26	29,4576
80		SR-R-1																									

Tablo 5.3: Devami

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
81	İlki	SR-R-1-5-40	0,685	4,158	2,847	27,083	0,25	6,072	1,518	18,68	12,144	8,2654	27,462	0,6806	7,1164	4,8435	26,814	0,85	53,1518	8,3161	16,7374	0,1845	24,115	38,951	43	43	51,8757
82		SR-R-1-5-40	0,685	4,158	2,847	27,083	0,25	6,072	1,518	18,68	12,144	8,2654	27,462	0,6806	7,1164	4,8435	26,814	0,85	53,1518	8,3161	16,7374	0,1845	24,115	38,951	43	43	48,0852
83		R-R-2-1-40A	0,593	0,9	0,533	16,377	0,25	1,012	0,253	11,63	3,036	3,5913	18,358	0,1479	1,7791	0,2631	12,028	0,85	21,7405	1,7995	10,154	0,0505	14,795	24,649	23	17	20,646
84		R-R-2-1-40B	0,593	0,9	0,533	16,377	0,25	1,012	0,253	11,63	3,036	3,5913	18,358	0,1479	1,7791	0,2631	12,028	0,85	21,7405	1,7995	10,154	0,0505	14,795	24,649	24	17	20,8692
85		R-R-2-1-40	0,593	0,9	0,533	16,377	0,25	1,012	0,253	11,63	3,036	3,5913	18,358	0,1479	1,7791	0,2631	12,028	0,85	21,7405	1,7995	10,154	0,0505	14,795	24,649	23	17	18,414
86		SR-R-2-1-40	0,593	0,9	0,533	16,377	0,25	1,012	0,253	11,63	3,036	3,5913	18,358	0,1479	1,7791	0,2631	12,028	0,85	21,7405	1,7995	10,154	0,0505	14,795	24,649	23	16	11,718
87		R-R-2-3-40A	0,593	2,699	1,6	23,492	0,25	3,036	0,759	14,82	9,108	10,724	32,754	0,1472	5,3373	0,7856	13,752	0,85	42,9014	5,3986	14,4224	0,1515	22,066	36,587	50	32	32,0292
88		R-R-2-3-40B	0,593	2,699	1,6	23,492	0,25	3,036	0,759	14,82	9,108	10,724	32,754	0,1472	5,3373	0,7856	13,752	0,85	42,9014	5,3986	14,4224	0,1515	22,066	36,587	50	32	40,5108
89		R-R-2-3-40	0,593	2,699	1,6	23,492	0,25	3,036	0,759	14,82	9,108	10,724	32,754	0,1472	5,3373	0,7856	13,752	0,85	42,9014	5,3986	14,4224	0,1515	22,066	36,587	50	32	35,154
90		SR-R-2-3-40	0,593	2,699	1,6	23,492	0,25	3,036	0,759	14,82	9,108	10,724	32,754	0,1472	5,3373	0,7856	13,752	0,85	42,9014	5,3986	14,4224	0,1515	22,066	36,587	50	32	26,784
91		R-R-2-3-40A	0,593	2,699	1,6	23,492	0,25	3,036	0,759	14,82	9,108	10,724	32,754	0,1472	5,3373	0,7856	13,752	0,85	42,9014	5,3986	14,4224	0,1515	22,066	36,587	50	32	20,088
92		R-R-2-3-40B	0,593	2,699	1,6	23,492	0,25	3,036	0,759	14,82	9,108	10,724	32,754	0,1472	5,3373	0,7856	13,752	0,85	42,9014	5,3986	14,4224	0,1515	22,066	36,587	50	32	18,8604
93		SR-R-2-5-40	0,593	4,499	2,667	28,418	0,25	5,06	1,265	17,63	15,18	17,79	47,151	0,1465	8,8955	1,3031	15,46	0,85	64,0623	8,9977	17,5938	0,2524	29,336	42,055	70	46	50,6664
94		SR-R-2-5-40	0,593	4,499	2,667	28,418	0,25	5,06	1,265	17,63	15,18	17,79	47,151	0,1465	8,8955	1,3031	15,46	0,85	64,0623	8,9977	17,5938	0,2524	29,336	42,055	70	46	36,27
95		R-R-1-050-3	0,685	2,495	1,708	37,267	0,25	3,6432	0,911	26,12	7,2864	4,9716	33,419	0,6823	4,2698	2,9134	33,054	0,85	48,8331	4,9897	23,0691	0,0752	28,858	54,426	43	43	44,7704
96		R-R-1-100-3	0,685	2,495	1,708	37,267	0,25	3,6432	0,911	26,12	7,2864	4,9716	33,419	0,6823	4,2698	2,9134	33,054	0,85	48,8331	4,9897	23,0691	0,0752	28,858	54,426	43	43	45,708
97		R-R-1-200-3	0,685	2,495	1,708	37,267	0,25	3,6432	0,911	26,12	7,2864	4,9716	33,419	0,6823	4,2698	2,9134	33,054	0,85	48,8331	4,9897	23,0691	0,0752	28,858	54,426	43	43	41,9576
98		R-R-1-050-5	0,685	4,158	2,847	44,112	0,25	6,072	1,518	29,4	12,144	8,2654	40,072	0,6806	7,1164	4,8435	39,424	0,85	65,7618	8,3161	27,1396	0,1254	32,47	65,793	57	57	57,428
99		R-R-1-100-5	0,685	4,158	2,847	44,112	0,25	6,072	1,518	29,4	12,144	8,2654	40,072	0,6806	7,1164	4,8435	39,424	0,85	65,7618	8,3161	27,1396	0,1254	32,47	65,793	57	57	57,6624
100		R-R-1-200-5	0,685	4,158	2,847	44,112	0,25	6,072	1,518	29,4	12,144	8,2654	40,072	0,6806	7,1164	4,8435	39,424	0,85	65,7618	8,3161	27,1396	0,1254	32,47	65,793	57	57	58,8344
101		R-R-1-000-3	0,685	2,495	1,708	37,267	0,25	3,6432	0,911	26,12	7,2864	4,9716	33,419	0,6823	4,2698	2,9134	33,054	0,85	48,8331	4,9897	23,0691	0,0752	28,858	54,426	42	42	41,02
102		R-R-2-050-3	0,593	2,699	1,6	38,185	0,25	3,036	0,759	25,25	9,108	10,724	45,034	0,1472	5,3373	0,7856	26,032	0,85	55,1814	5,3986	23,6184	0,1045	30,965	59,177	67	45	40,3168
103		R-R-2-100-3	0,593	2,699	1,6	38,185	0,25	3,036	0,759	25,25	9,108	10,724	45,034	0,1472	5,3373	0,7856	26,032	0,85	55,1814	5,3986	23,6184	0,1045	30,965	59,177	67	45	43,1296
104		R-R-2-175-3	0,593	2,699	1,6	38,185	0,25	3,036	0,759	25,25	9,108	10,724	45,034	0,1472	5,3373	0,7856	26,032	0,85	55,1814	5,3986	23,6184	0,1045	30,965	59,177	67	45	40,7856
105		R-R-2-050-5	0,593	4,499	2,667	45,362	0,25	5,06	1,265	28,07	15,18	17,79	59,431	0,1465	8,8955	1,3031	27,74	0,85	76,3423	8,9977	27,8858	0,1742	35,982	71,185	96	60	60,2408
106		R-R-2-100-5	0,593	4,499	2,667	45,362	0,25	5,06	1,265	28,07	15,18	17,79	59,431	0,1465	8,8955	1,3031	27,74	0,85	76,3423	8,9977	27,8858	0,1742	35,982	71,185	96	60	53,2088
107		R-R-2-175-5	0,593	4,499	2,667	45,362	0,25	5,06	1,265	28,07	15,18	17,79	59,431	0,1465	8,8955	1,3031	27,74	0,85	76,3423	8,9977	27,8858	0,1742	35,982	71,185	96	60	48,052
108		Challal et al.	-SC-1L3-1-0	0,732	1,216	0,89	28,816	0,25	1,6602	0,415	21,45	3,3203	2,4282	26,302	0,7313	1,9457	1,4229	26,136	0,85	33,0112	2,4312	17,8341	0,0674	26,292	38,633	28	29
109	-SC-2L3-1-0		0,732	2,431	1,78	34,759	0,25	3,3203	0,83	23,96	6,6406	4,8498	31,165	0,7303	3,8914	2,842	30,819	0,85	44,5825	4,8624	21,503	0,1348	31,145	49,714	40	40	30,66
110	-SC-3L3-1-0		0,732	3,647	2,67	39,758	0,25	4,9805	1,245	26,26	9,9609	7,265	36,027	0,7293	5,8371	4,2573	35,489	0,85	56,1537	7,2937	24,4729	0,2022	35,997	57,836	50	50	36,45
111	-SC-4L3-1-0		0,732	4,862	3,56	44,076	0,25	6,6406	1,66	28,43	13,2812	9,6735	40,89	0,7284	7,7828	5,6686	40,147	0,85	67,725	9,7249	27,0639	0,2696	40,85	64,119	60	61	42,23
112	-SC-1L3-1-0		0,732	1,216	0,89	62,616	0,25	1,6602	0,415	49,71	3,3203	2,4282	59,542	0,7313	1,9457	1,4229	59,376	0,85	66,2512	2,4312	37,6858	0,0422	57,718	74,837	59	59	59,05
113	-SC-2L3-1-0		0,732	2,431	1,78	69,802	0,25	3,3203	0,83	52,22	6,6406	4,8498	64,405	0,7303	3,8914	2,842	64,059	0,85	77,8225	4,8624	43,0212	0,0844	60,757	90,886	71	71	59,87
114	-SC-3L3-1-0		0,732	3,647	2,67	76,381	0,25	4,9805	1,245	54,52	9,9609	7,265	69,267	0,7293	5,8371	4,2573	68,729	0,85	89,3937	7,2937	47,3402	0,1266	63,795	104,28	83	83	64,52
115	-SC-4L3-1-0		0,732	4,862	3,56	82,455	0,25	6,6406	1,66	56,68	13,2812	9,6735	74,13	0,7284	7,7828	5,6686	73,387	0,85	100,965	9,7249	51,1083	0,1688	66,834	115,78	96	96	68,9
116	-SC-1L3-0-6		0,68	1,15	0,782	32,234	0,25	2,0444	0,511	25,17	3,38263	1,5032	28,111	1,5847	1,9822	3,1412	35,466	0,85	36,8885	2,3003	19,8796	0,0618	29,552	43,158	29	31	29,12
117	-SC-2L3-0-6		0,68	2,3	1,564	38,177	0,25	4,0889	1,022	28,16	6,76525	3,0011	31,123	1,5819	3,9644	6,2713	45,795	0,85	48,6769	4,6007	23,6596	0,1237	34,003	55,247	34	42	34,39
118	-SC-3L3-0-6		0,68	3,45	2,346	43,291	0,25	6,1333	1,533	30,89	10,1479	4,4937	34,134	1,5791	5,9467	9,3904	56,088	0,85	60,4654	6,901	26,7194	0,1855	38,455	64,314	41	52	41,16
119	-SC-4L3-0-6		0,68	4,601	3,129	47,785	0,25	8,1778	2,044	33,46	13,5305	5,9809	37,145	1,5763	7,9289	12,498	66,344	0,85	72,2538	9,2013	29,389	0,2473	42,907	71,466	48	62	47,69
120	-SC-1L3-0-6		0,68	1,15	0,782	62,894	0,25	2,0444	0,511	50,89	3,38263	1,5032	58,371	1,5847	1,9822	3,1412	65,726	0,85	67,1485	2,3003	37,7375	0,0416	58,358	75,881	56	59	59,24
121	-SC-2L3-0-6		0,68	2,3	1,564	69,755	0,25	4,0889	1,022	53,88	6,76525	3,0011	61,383	1,5819	3,9644	6,2713	76,055	0,85	78,9369	4,6007	42,9243	0,0833	61,355	92,201	64	70	66,43
122	-SC-3L3-0-6		0,68	3,45	2,346	76,066	0,25	6,1333	1,533	56,61	10,1479	4,4937	64,394	1,5791	5,9467	9,3904	86,348	0,85	90,7254	6,901	47,1229	0,1249	64,353	105,81	70	84	69,2
123	-SC-4L3-0-6		0,68	4,601	3,129	81,915	0,25	8,1778	2,044	59,19	13,5305	5,9809	67,405														

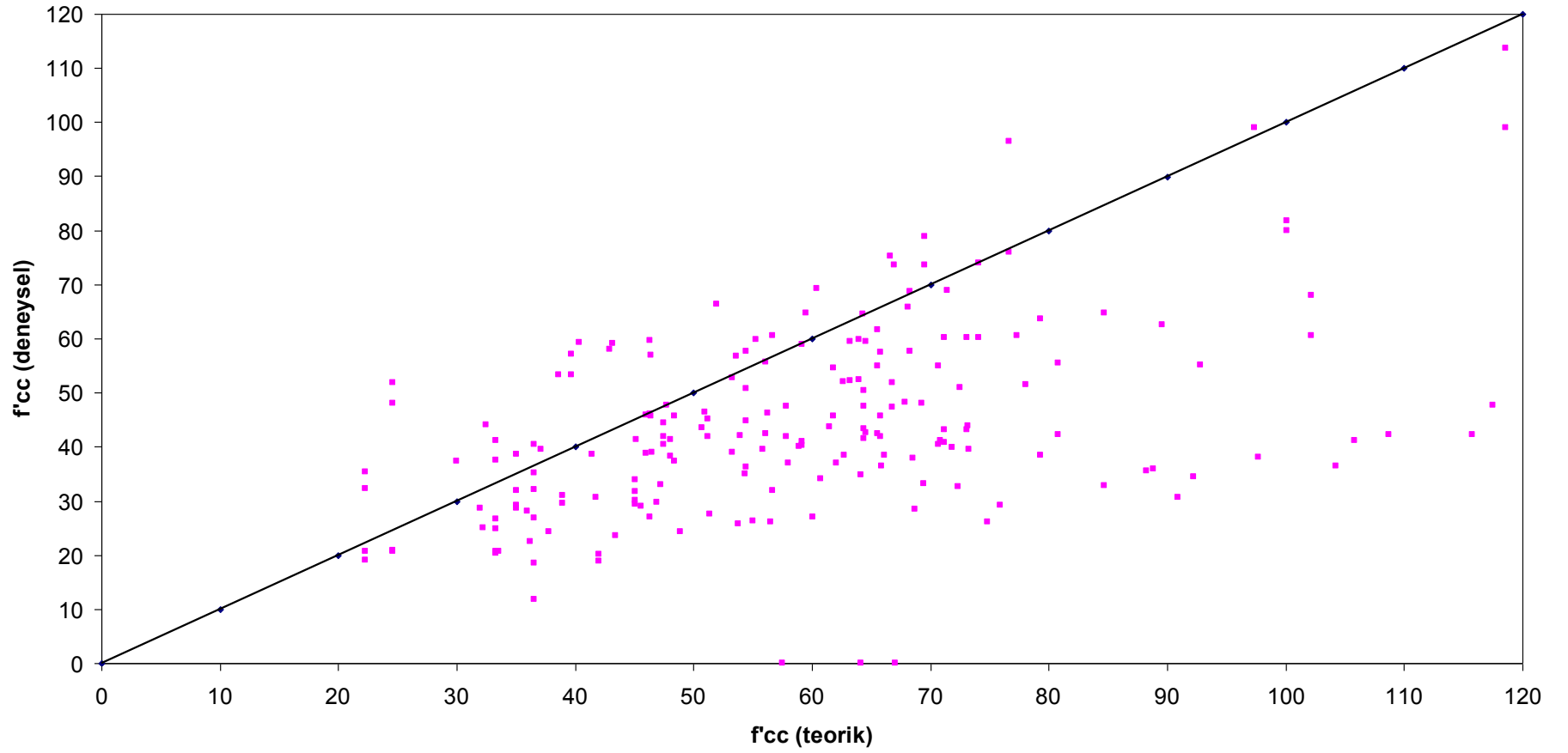
Tablo 5.3: Devami

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
126		S-SC-3L3-0.	0,587	3,066	1,799	38,51	0,25	6,9726	1,743	29,62	10,4498	3,0338	28,456	2,3409	6,1236	14,335	69,645	0,85	58,7575	6,1324	23,7693	0,1936	36,279	60,414	33	46	37,98
127		S-SC-4L3-0.	0,587	4,088	2,399	42,507	0,25	9,2968	2,324	32,48	13,9331	4,0339	30,495	2,3345	8,1648	19,061	85,24	0,85	70,8967	8,1765	26,143	0,2581	40,925	66,968	38	55	42,22
128		S-SC-1L3-0.	0,587	1,022	0,6	54,747	0,25	2,3242	0,581	45,12	3,48327	1,0168	50,099	2,3537	2,0412	4,8044	63,914	0,85	60,1992	2,0441	32,8843	0,044	51,228	68,736	47	52	53,35
129		S-SC-2L3-0.	0,587	2,044	1,2	60,825	0,25	4,6484	1,162	48,44	6,96653	2,0281	52,138	2,3474	4,0824	9,5828	79,683	0,85	72,3384	4,0882	37,4506	0,088	54,396	84,673	52	61	57,19
130		S-SC-3L3-0.	0,587	3,066	1,799	66,407	0,25	6,9726	1,743	51,48	10,4498	3,0338	54,176	2,3409	6,1236	14,335	95,365	0,85	84,4775	6,1324	41,1469	0,132	57,563	97,702	57	71	59,59
131		S-SC-4L3-0.	0,587	4,088	2,399	71,574	0,25	9,2968	2,324	54,34	13,9331	4,0339	56,215	2,3345	8,1648	19,061	110,96	0,85	96,6167	8,1765	44,3718	0,176	60,731	108,71	61	81	60,56
132	Demers and Neale	1	0,418	0,242	0,101	33,938	0,25	0,5803	0,145	28,8	1,16053	0,4655	33,269	0,4011	0,6801	0,2728	33,2	0,85	36,3444	0,4847	19,3348	0,0168	33,509	39,713	30	30	31,82
133		2	0,418	0,242	0,101	33,938	0,25	0,5803	0,145	28,8	1,16053	0,4655	33,269	0,4011	0,6801	0,2728	33,2	0,85	36,3444	0,4847	19,3348	0,0168	33,509	39,713	30	30	33,01
134		3	0,418	0,495	0,207	35,581	0,25	1,1842	0,296	29,89	2,36842	0,9557	34,278	0,4035	1,3879	0,56	34,148	0,85	40,5539	0,9891	21,0361	0,0343	34,767	46,336	32	32	34,11
135		4	0,418	0,495	0,207	45,509	0,25	1,1842	0,296	38,31	2,36842	0,9557	44,178	0,4035	1,3879	0,56	44,048	0,85	50,4539	0,9891	26,5376	0,03	44,359	56,71	42	42	46
136		5	0,418	0,495	0,207	45,509	0,25	1,1842	0,296	38,31	2,36842	0,9557	44,178	0,4035	1,3879	0,56	44,048	0,85	50,4539	0,9891	26,5376	0,03	44,359	56,71	42	42	45,7
137	Pessiki	Square-1	0,824	1,652	1,361	36,309	0,25	2,0053	0,501	26,22	4,01053	3,2853	33,008	0,8192	2,3502	1,9252	32,753	0,85	40,3767	3,3041	22,4942	0,0642	31,022	47,259	38	38	41,4
138		Square-2	0,824	3,304	2,722	44,159	0,25	4,0105	1,003	29,15	8,02105	6,5303	39,617	0,8141	4,7003	3,8267	39,028	0,85	54,3534	6,6083	27,2874	0,1284	35,643	60,775	53	53	55,1
139		S3	0,534	0,606	0,323	36,788	0,25	1,1344	0,284	30,23	2,26871	1,1827	35,222	0,5213	1,3295	0,6931	35,087	0,85	40,7065	1,2112	21,9515	0,0108	33,58	46,351	34	34	35,5
140		S4	0,534	0,712	0,38	37,454	0,25	1,3339	0,333	30,57	2,66783	1,4021	35,648	0,5256	1,5634	0,8217	35,511	0,85	42,0974	1,4242	22,5184	0,0127	33,717	48,379	35	35	37,4
141	Hosotami et al.	96-15	0,57	0,314	0,179	40,116	0,25	0,5506	0,138	33,59	1,10112	0,6267	39,254	0,5692	0,6453	0,3673	39,212	0,85	41,8374	0,6272	22,9674	0,0112	38,804	45,141	36	36	39,48
142		98S-12	0,57	3,836	2,185	59,456	0,25	6,7536	1,688	42,65	13,5072	7,6157	53,388	0,5638	7,9152	4,4628	52,727	0,85	85,0726	7,6712	36,8224	0,1369	47,86	92,789	68	70	58
143		98H+7	0,57	3,381	1,926	57,311	0,25	5,9177	1,479	41,57	11,8354	6,7074	51,484	0,5667	6,9356	3,9306	50,971	0,85	79,2465	6,7619	35,523	0,12	46,64	88,298	65	65	44
144	Feng et al.	CM1	0,57	0,45	0,256	23,663	0,25	0,7904	0,198	19,36	1,5808	0,8963	22,521	0,567	0,9263	0,5253	22,453	0,85	26,2291	0,9005	14,227	0,0217	22,283	30,037	22	22	26,93
145		CM2	0,57	0,9	0,513	26,333	0,25	1,5808	0,395	20,71	3,1616	1,7843	24,322	0,5644	1,8527	1,0456	24,17	0,85	31,7382	1,8009	16,2213	0,0434	23,846	37,147	26	26	26,93
146		CM3	0,57	1,351	0,769	28,781	0,25	2,3712	0,593	21,95	4,7424	2,6636	26,123	0,5617	2,779	1,5609	25,871	0,85	37,2473	2,7014	17,8356	0,0651	25,408	42,922	29	29	28,99
147		CM4	0,57	0,594	0,339	24,544	0,25	1,0434	0,261	19,81	2,0868	1,1868	23,097	0,5687	1,2229	0,6954	23,015	0,85	27,9925	1,1887	14,9281	0,0287	22,783	32,496	23	23	26,26
148	Parvin and Wang	1	0,519	1,308	0,679	30,517	0,25	2,5187	0,63	23,77	5,03733	2,5995	27,831	0,5161	2,9519	1,5233	27,627	0,85	40,1551	2,6157	18,8916	0,1226	31,43	46,363	31	31	34,8
149		2	0,519	2,616	1,358	36,875	0,25	5,0373	1,259	27,32	10,0747	5,1661	33,063	0,5128	5,9038	3,0274	32,59	0,85	57,7102	5,2314	22,8067	0,2453	40,26	60,044	43	43	45,2
150	Suter and Pmzelli	1	0,418	0,797	0,333	39,087	0,25	1,9079	0,477	32,44	1,90789	0,7882	35,494	0,4131	1,118	0,4619	35,424	0,85	40,549	0,7968	21,3254	0,0539	37,78	45,585	32	32	32,54
151		2	0,418	1,594	0,666	43,76	0,25	3,8158	0,954	35,26	3,81579	1,5591	37,087	0,4086	2,2361	0,9137	36,915	0,85	47,198	1,5936	23,5819	0,1078	41,661	55,009	37	37	37,29
152		3	0,418	2,39	0,998	49,076	0,25	5,7237	1,431	38,69	5,72368	2,3123	39,681	0,404	3,3541	1,355	39,371	0,85	54,847	2,3904	26,0074	0,1594	46,373	64,145	40	40	37
153		4	0,418	3,187	1,331	54,11	0,25	7,6316	1,908	41,97	7,63158	3,0472	42,274	0,3993	4,4721	1,7857	41,793	0,85	62,4961	3,1871	28,2352	0,2095	50,983	72,382	44	45	38,41
154		5	0,693	1,321	0,915	44,966	0,25	1,9079	0,477	34,73	1,90789	1,3171	39,243	0,6903	1,118	0,7718	39,147	0,85	43,249	1,3215	24,4118	0,0519	40,335	48,382	38	38	39,53
155		6	0,693	2,643	1,831	52,164	0,25	3,8158	0,954	37,55	3,81579	2,625	41,886	0,6879	2,2361	1,5382	41,676	0,85	49,898	2,643	27,5637	0,1037	44,069	58,004	43	43	43,55
156		7	0,693	3,964	2,746	58,502	0,25	5,7237	1,431	40,13	5,72368	3,9235	44,529	0,6855	3,3541	2,2992	44,187	0,85	56,547	3,9645	30,1151	0,1556	47,804	66,172	51	51	56,73
157		8	0,693	5,286	3,661	64,173	0,25	7,6316	1,908	42,56	7,63158	5,2124	47,172	0,683	4,4721	3,0545	46,68	0,85	63,1961	5,286	32,3411	0,2075	51,538	73,277	57	57	64,78
158		9	0,418	1,213	0,507	41,586	0,25	2,9053	0,726	33,95	2,90526	1,203	36,327	0,4141	1,7025	0,705	36,226	0,85	44,0248	1,2133	22,5812	0,0821	39,809	50,732	35	35	35,93
159		10	0,693	2,012	1,394	48,851	0,25	2,9053	0,726	36,25	2,90526	2,007	40,625	0,6908	1,7025	1,1761	40,481	0,85	46,7248	2,0123	26,1658	0,079	42,287	53,626	41	41	41,36
160		11	0,418	5,346	2,232	61,238	0,25	12,8	3,2	46,41	12,8	5,2703	44,591	0,4117	7,5008	3,0884	44,092	0,85	78,508	5,3456	30,6593	0,3616	59,934	84,672	55	55	40
161		12	0,693	8,866	6,141	77,085	0,25	12,8	3,2	48,7	12,8	8,8266	54,332	0,6896	7,5008	5,1724	53,669	0,85	81,208	8,8658	37,4496	0,348	61,655	88,828	74	74	46,48
162		13	0,418	0,995	0,415	40,291	0,25	2,3821	0,596	33,17	2,38211	0,9718	35,89	0,408	1,3959	0,5695	35,779	0,85	42,2016	0,9948	21,9488	0,0673	38,745	48,099	34	34	36,95
163		14	0,418	1,974	0,824	45,839	0,25	4,7258	1,181	36,51	4,72579	1,8816	37,847	0,3981	2,7693	1,1026	37,539	0,85	50,3694	1,9736	24,49	0,1335	43,512	58,948	38	38	37,97
164		15	0,693	1,65	1,143	46,849	0,25	2,3821	0,596	35,47	2,38211	1,6379	39,9	0,6876	1,3959	0,9598	39,767	0,85	44,9016	1,6499	25,2825	0,0648	41,263	50,94	39	39	39,89

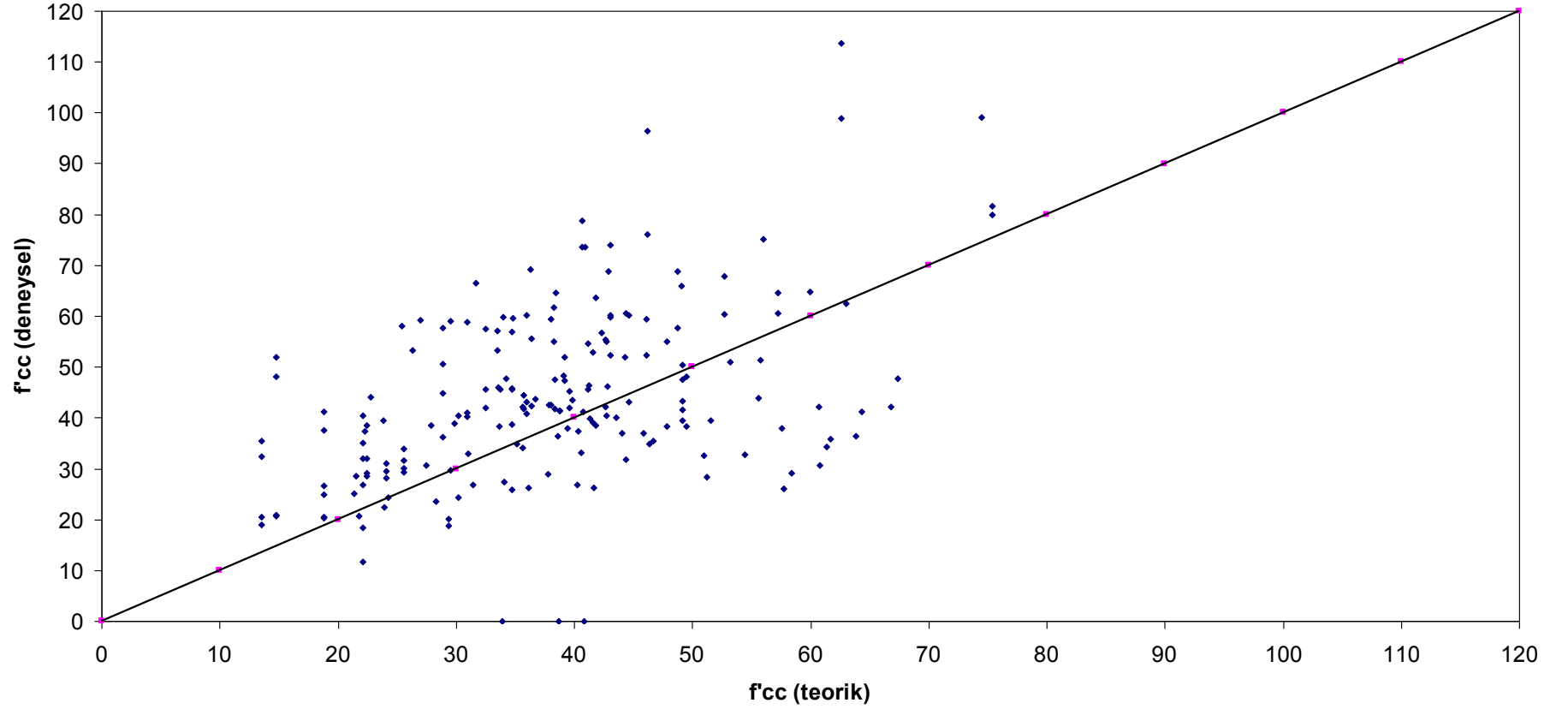
Tablo 5.3: Devamı

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
170	Al-Salloum	S-r38-1	0,828	3,981	3,297	48,488	0,25	4,8064	1,202	31,35	9,6128	7,908	43,624	0,8227	5,6331	4,6341	42,992	0,85	61,2006	7,962	29,9098	0,1522	38,659	67,033	60	60	56,96
171		S-r38-2	0,828	3,981	3,297	51,476	0,25	4,8064	1,202	33,55	9,6128	7,908	46,214	0,8227	5,6331	4,6341	45,582	0,85	63,7906	7,962	31,7894	0,1456	40,77	70,88	64	64	54,96
172		S-r50-1	0,918	4,413	4,051	49,043	0,25	4,8064	1,202	30,52	9,6128	8,8	44,371	0,9154	5,6331	5,1568	43,737	0,85	60,2206	8,8255	30,1989	0,155	37,878	65,541	64	64	61,67
173		S-r50-2	0,918	4,413	4,051	50,878	0,25	4,8064	1,202	31,82	9,6128	8,8	45,911	0,9154	5,6331	5,1568	45,277	0,85	61,7606	8,8255	31,3506	0,1507	39,11	67,876	64	64	63,68
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
174	Rousakis	ACL1M	0,667	0,749	0,5	37,885	0,25	1,1232	0,281	30,38	2,2464	1,4964	35,996	0,6661	1,3164	0,8769	35,894	0,85	40,8287	1,4981	22,8222	0,0244	34,76	46,446	36	36	38,44
175		ACL1C	0,667	0,749	0,5	37,885	0,25	1,1232	0,281	30,38	2,2464	1,4964	35,996	0,6661	1,3164	0,8769	35,894	0,85	40,8287	1,4981	22,8222	0,0244	34,76	46,446	38	35	38,78
176		ACL3M	0,667	2,247	1,499	46,336	0,25	3,3696	0,842	33,86	6,7392	4,4787	41,989	0,6646	3,9492	2,6245	41,661	0,85	56,4861	4,4943	28,7219	0,0733	38,279	65,572	48	49	45,9
177		ACL3C	0,667	2,247	1,499	46,336	0,25	3,3696	0,842	33,86	6,7392	4,4787	41,989	0,6646	3,9492	2,6245	41,661	0,85	56,4861	4,4943	28,7219	0,0733	38,279	65,572	49	49	42,36
178		ACL5M	0,667	3,745	2,498	53,514	0,25	5,616	1,404	36,93	11,232	7,4466	47,981	0,663	6,582	4,3637	47,4	0,85	72,1435	7,4905	33,1053	0,1222	41,799	79,279	63	63	55,64
179		ACL5C	0,667	3,745	2,498	53,514	0,25	5,616	1,404	36,93	11,232	7,4466	47,981	0,663	6,582	4,3637	47,4	0,85	72,1435	7,4905	33,1053	0,1222	41,799	79,279	63	63	59,45
180		AGL3M	0,667	0,718	0,479	37,691	0,25	1,0764	0,269	30,3	2,1528	1,4298	35,871	0,6641	1,2615	0,8378	35,765	0,85	40,5025	1,4357	22,6628	0,0234	34,686	45,956	35	35	42,55
181		AGL3C	0,667	0,718	0,479	37,691	0,25	1,0764	0,269	30,3	2,1528	1,4298	35,871	0,6641	1,2615	0,8378	35,765	0,85	40,5025	1,4357	22,6628	0,0234	34,686	45,956	35	35	41,82
182		AGL6M	0,667	1,436	0,957	41,948	0,25	2,1528	0,538	32,06	4,3056	2,8474	38,743	0,6613	2,5231	1,6686	38,506	0,85	48,005	2,8714	25,841	0,0468	36,373	56,14	42	42	44,41
183		AGL6C	0,667	1,436	0,957	41,948	0,25	2,1528	0,538	32,06	4,3056	2,8474	38,743	0,6613	2,5231	1,6686	38,506	0,85	48,005	2,8714	25,841	0,0468	36,373	56,14	42	42	47,27
184		AGL9M	0,667	2,154	1,436	45,85	0,25	3,2292	0,807	33,66	6,4584	4,2525	41,614	0,6584	3,7846	2,492	41,223	0,85	55,5075	4,307	28,4137	0,0703	38,059	64,571	49	49	51,9
185		AGL9C	0,667	2,154	1,436	45,85	0,25	3,2292	0,807	33,66	6,4584	4,2525	41,614	0,6584	3,7846	2,492	41,223	0,85	55,5075	4,307	28,4137	0,0703	38,059	64,571	49	49	55,49
186		BCL1M	0,667	0,749	0,5	38,892	0,25	1,1232	0,281	31,23	2,2464	1,4964	36,996	0,6661	1,3164	0,8769	36,894	0,85	41,8287	1,4981	23,3981	0,0241	35,734	47,497	37	37	42,19
187		BCL1C	0,667	0,749	0,5	38,892	0,25	1,1232	0,281	31,23	2,2464	1,4964	36,996	0,6661	1,3164	0,8769	36,894	0,85	41,8287	1,4981	23,3981	0,0241	35,734	47,497	37	37	41,91
188		BCL3M	0,667	2,247	1,499	47,387	0,25	3,3696	0,842	34,71	6,7392	4,4787	42,989	0,6646	3,9492	2,6245	42,661	0,85	57,4861	4,4943	29,3687	0,0722	39,201	66,833	50	50	45,21
189		BCL3C	0,667	2,247	1,499	47,387	0,25	3,3696	0,842	34,71	6,7392	4,4787	42,989	0,6646	3,9492	2,6245	42,661	0,85	57,4861	4,4943	29,3687	0,0722	39,201	66,833	49	50	45,67
190		BCL5M	0,667	3,745	2,498	54,628	0,25	5,616	1,404	37,78	11,232	7,4466	48,981	0,663	6,582	4,3637	48,4	0,85	73,1435	7,4905	33,8048	0,1204	42,668	80,77	65	65	54,57
191		BCL5C	0,667	3,745	2,498	54,628	0,25	5,616	1,404	37,78	11,232	7,4466	48,981	0,663	6,582	4,3637	48,4	0,85	73,1435	7,4905	33,8048	0,1204	42,668	80,77	65	65	54,94
192		CGL3M	0,667	0,718	0,479	42,722	0,25	1,0764	0,269	34,55	2,1528	1,4298	40,871	0,6641	1,2615	0,8378	40,765	0,85	45,5025	1,4357	25,5205	0,0218	39,572	51,175	40	40	40,36
193		CGL3C	0,667	0,718	0,479	42,722	0,25	1,0764	0,269	34,55	2,1528	1,4298	40,871	0,6641	1,2615	0,8378	40,765	0,85	45,5025	1,4357	25,5205	0,0218	39,572	51,175	40	40	39,06
194		CGL6M	0,667	1,436	0,957	47,056	0,25	2,1528	0,538	36,31	4,3056	2,8474	43,743	0,6613	2,5231	1,6686	43,506	0,85	53,005	2,8714	28,8833	0,0437	41,143	61,789	47	47	52,83
195		CGL6C	0,667	1,436	0,957	47,056	0,25	2,1528	0,538	36,31	4,3056	2,8474	43,743	0,6613	2,5231	1,6686	43,506	0,85	53,005	2,8714	28,8833	0,0437	41,143	61,789	47	47	52,41
196		CGL9M	0,667	2,154	1,436	51,067	0,25	3,2292	0,807	37,91	6,4584	4,2525	46,614	0,6584	3,7846	2,492	46,223	0,85	60,5075	4,307	31,6054	0,0655	42,715	70,718	54	54	59,76
197		CGL9C	0,667	2,154	1,436	51,067	0,25	3,2292	0,807	37,91	6,4584	4,2525	46,614	0,6584	3,7846	2,492	46,223	0,85	60,5075	4,307	31,6054	0,0655	42,715	70,718	54	54	60,16
198		DGL3M	0,667	0,718	0,479	44,733	0,25	1,0764	0,269	36,25	2,1528	1,4298	42,871	0,6641	1,2615	0,8378	42,765	0,85	47,5025	1,4357	26,6557	0,0213	41,532	53,249	42	42	43,14
199		DGL3C	0,667	0,718	0,479	44,733	0,25	1,0764	0,269	36,25	2,1528	1,4298	42,871	0,6641	1,2615	0,8378	42,765	0,85	47,5025	1,4357	26,6557	0,0213	41,532	53,249	40	40	37,7
200	DGL6M	0,667	1,436	0,957	49,093	0,25	2,1528	0,538	38,01	4,3056	2,8474	45,743	0,6613	2,5231	1,6686	45,506	0,85	55,005	2,8714	30,0882	0,0425	43,063	64,014	49	49	54,17	
201	DGL6C	0,667	1,436	0,957	49,093	0,25	2,1528	0,538	38,01	4,3056	2,8474	45,743	0,6613	2,5231	1,6686	45,506	0,85	55,005	2,8714	30,0882	0,0425	43,063	64,014	47	47	47,14	
202	DGL9M	0,667	2,154	1,436	53,141	0,25	3,2292	0,807	39,61	6,4584	4,2525	48,614	0,6584	3,7846	2,492	48,223	0,85	62,5075	4,307	32,8667	0,0638	44,595	73,121	55	55	59,5	
203	DGL9C	0,667	2,154	1,436	53,141	0,25	3,2292	0,807	39,61	6,4584	4,2525	48,614	0,6584	3,7846	2,492	48,223	0,85	62,5075	4,307	32,8667	0,0638	44,595	73,121	55	55	61,5	

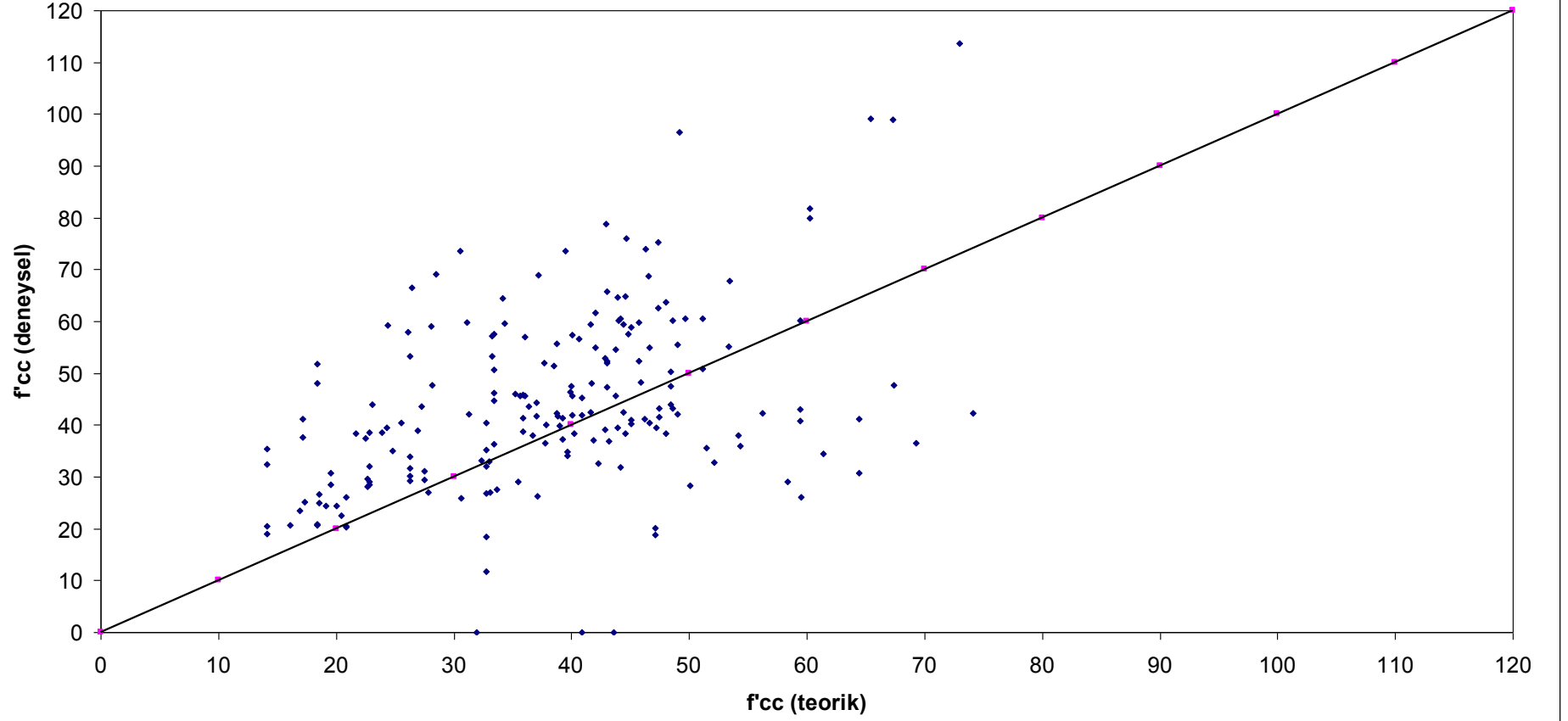
Şekil 5.1: Saadatmanesh Sargı Modeli



Şekil 5.2: Challal Sargı Modeli

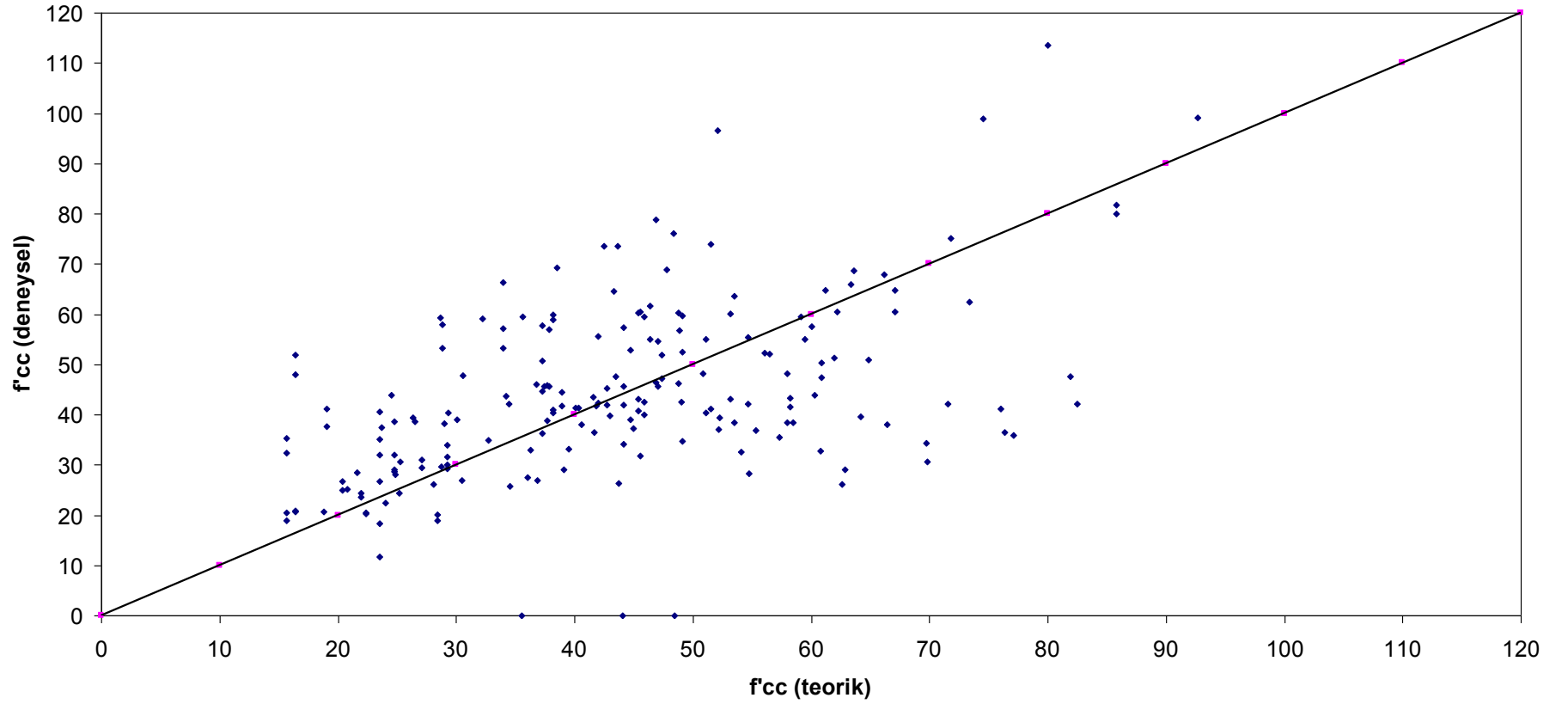


Şekil 5.3; Concrete Society Sargı Modeli

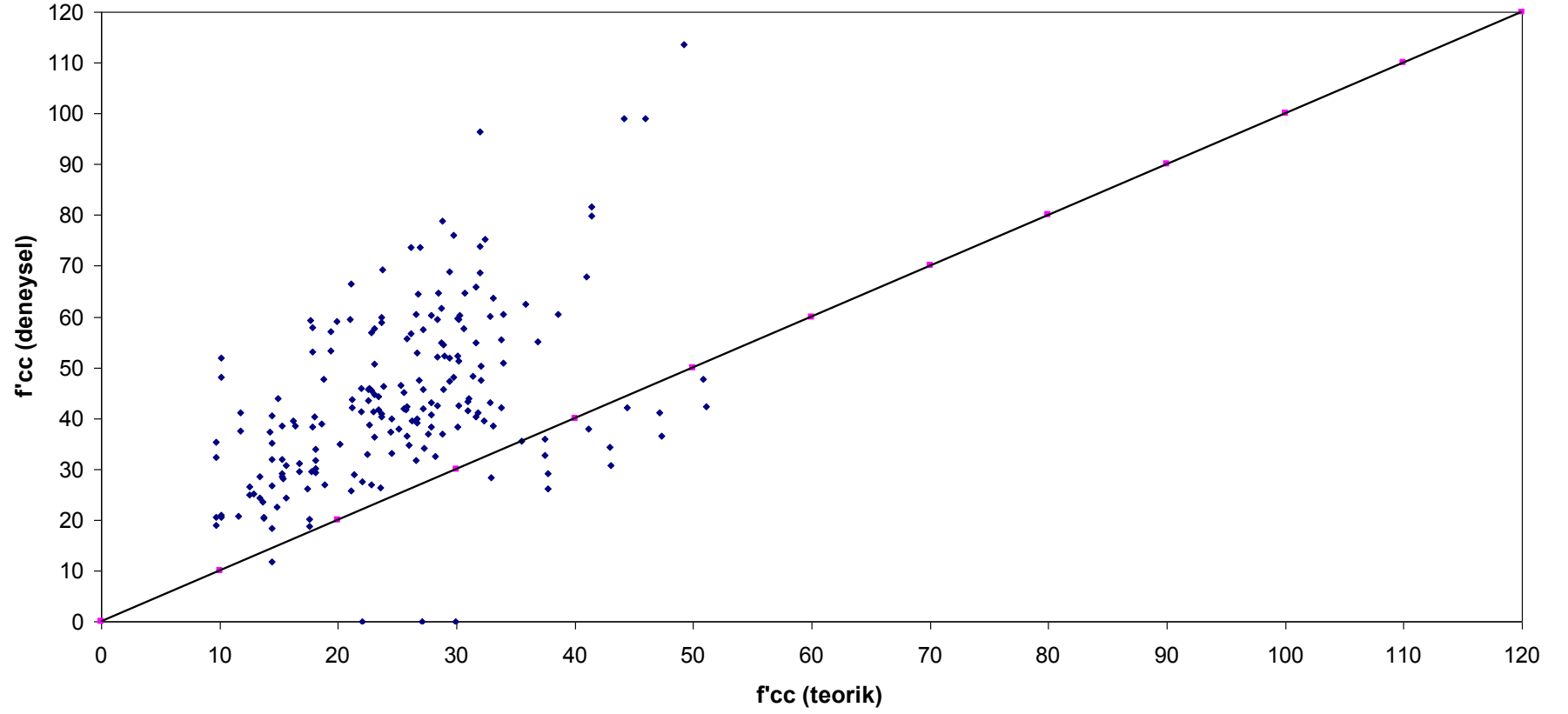




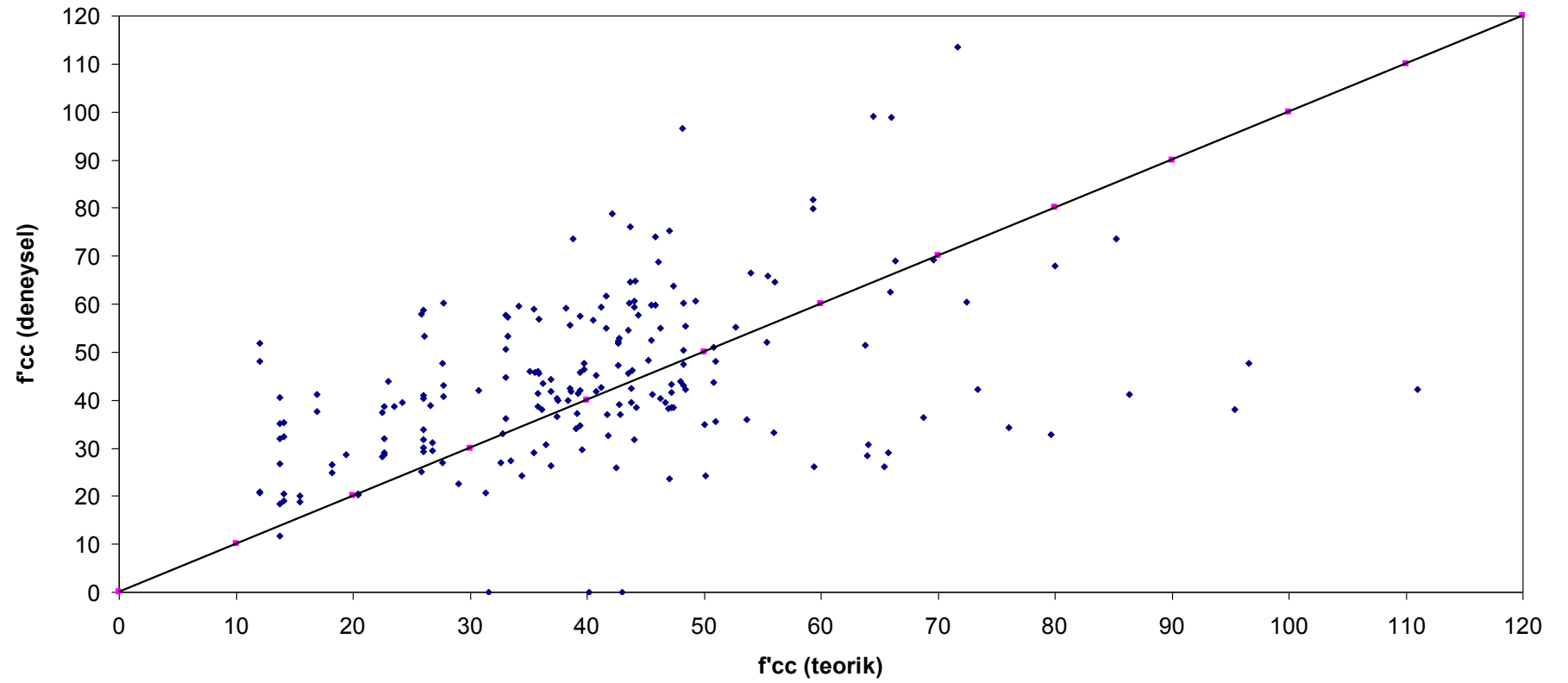
Şekil 5.4: ACI Sargı Modeli



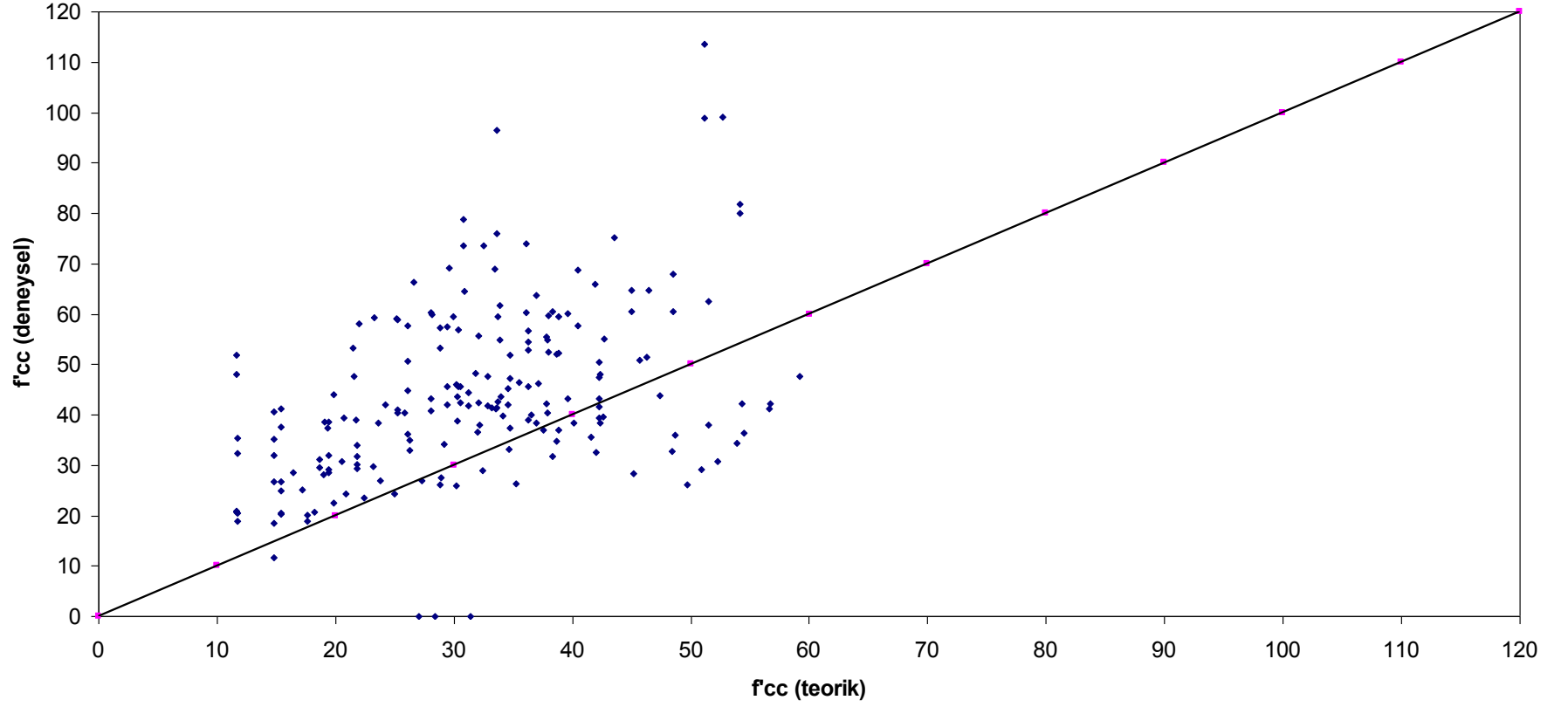
Şekil 5.5: Youssef Sargı Modeli



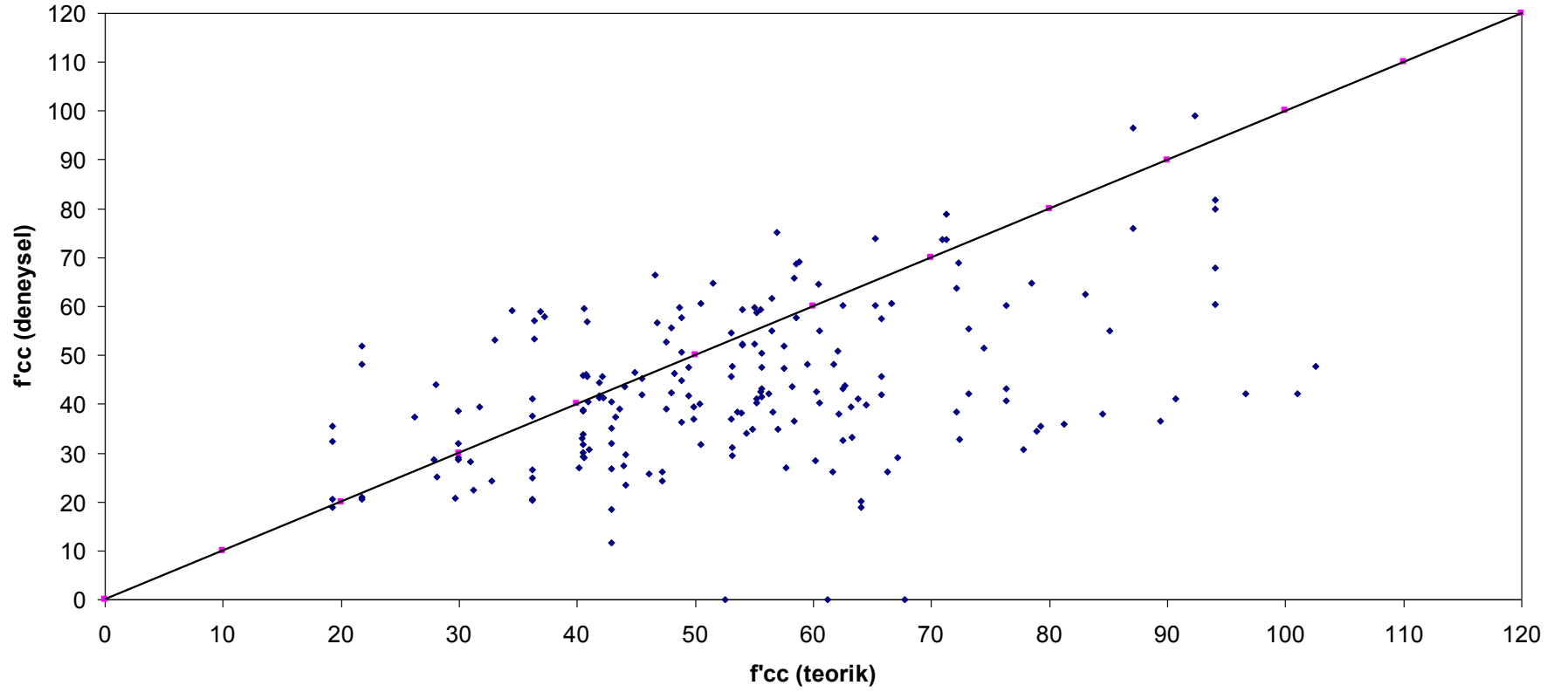
Şekil 5.6: Lam and Teng Sargı Modeli



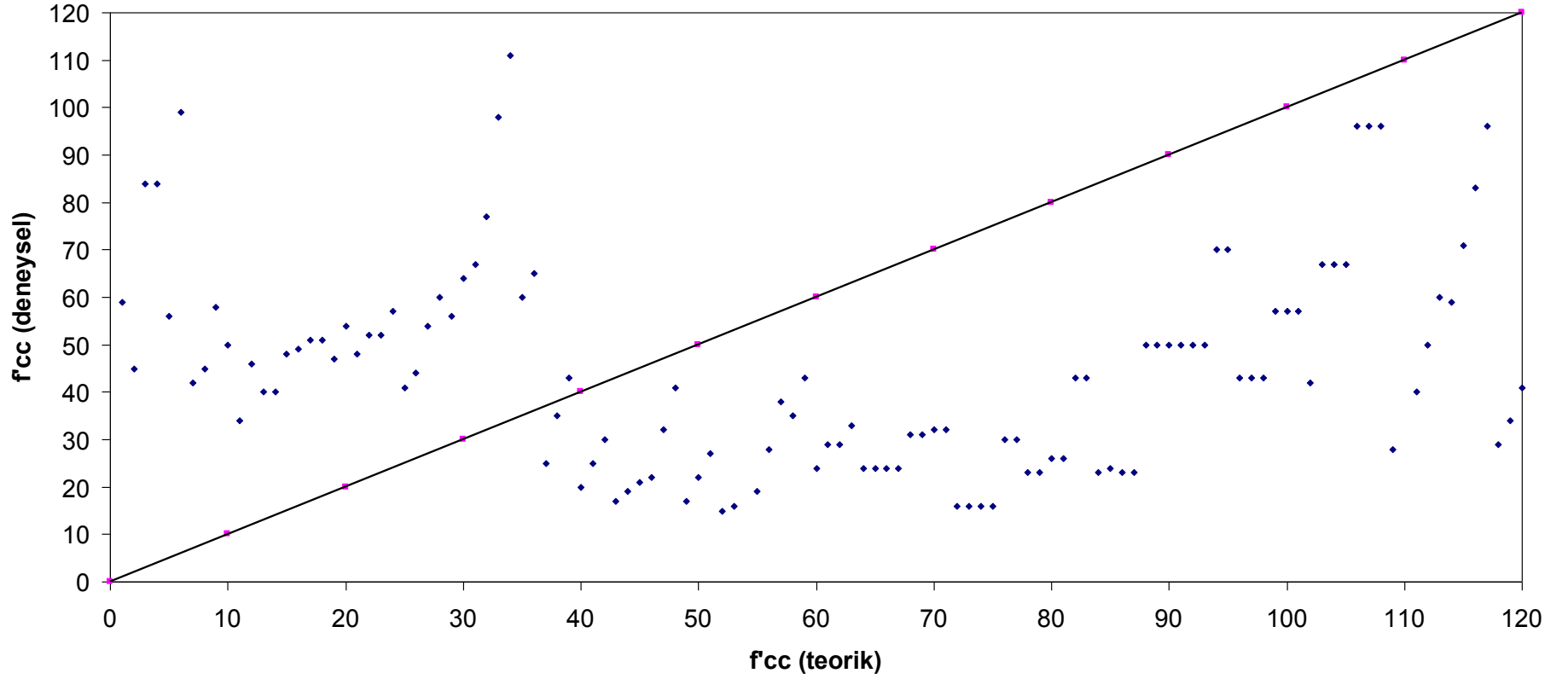
Şekil 5.7: CSA Sargı Modeli



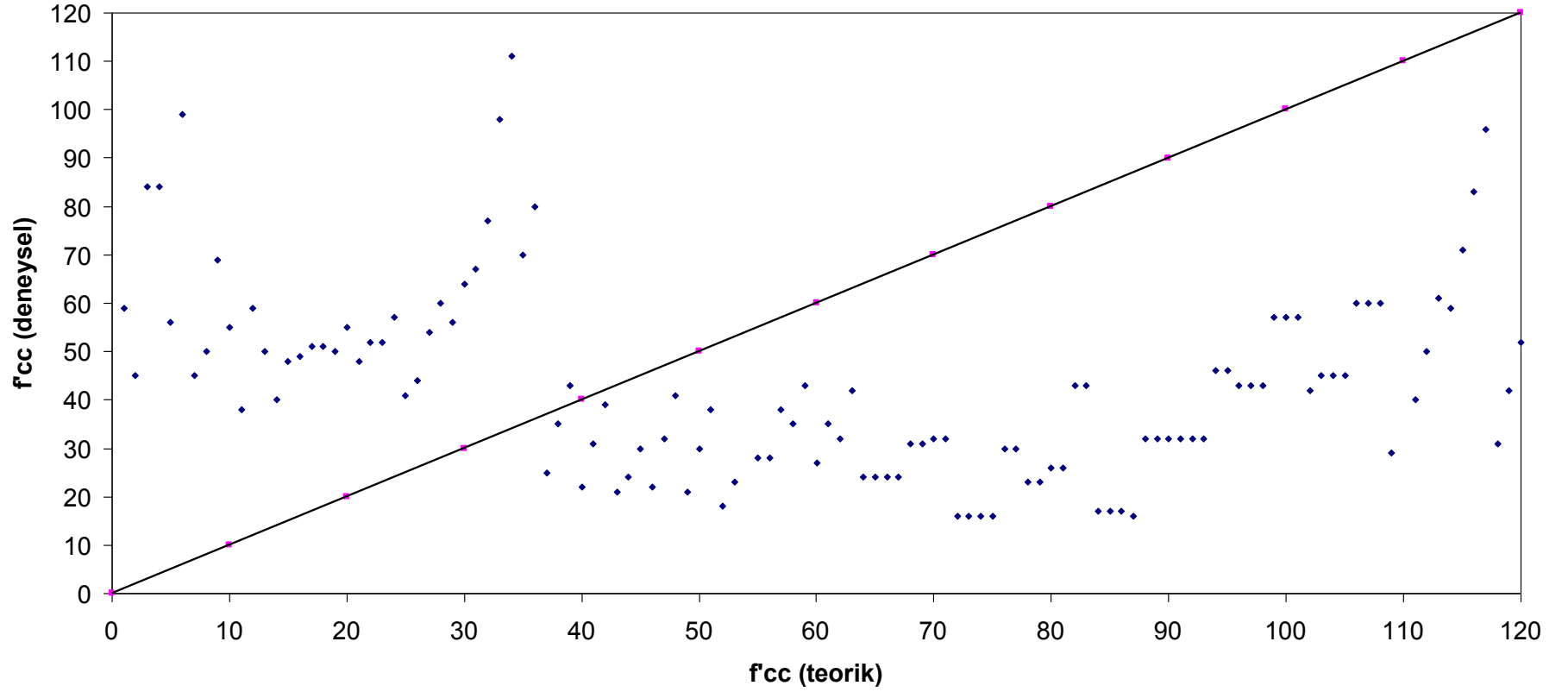
Şekil 5.8: Miyauchi Sargı Modeli



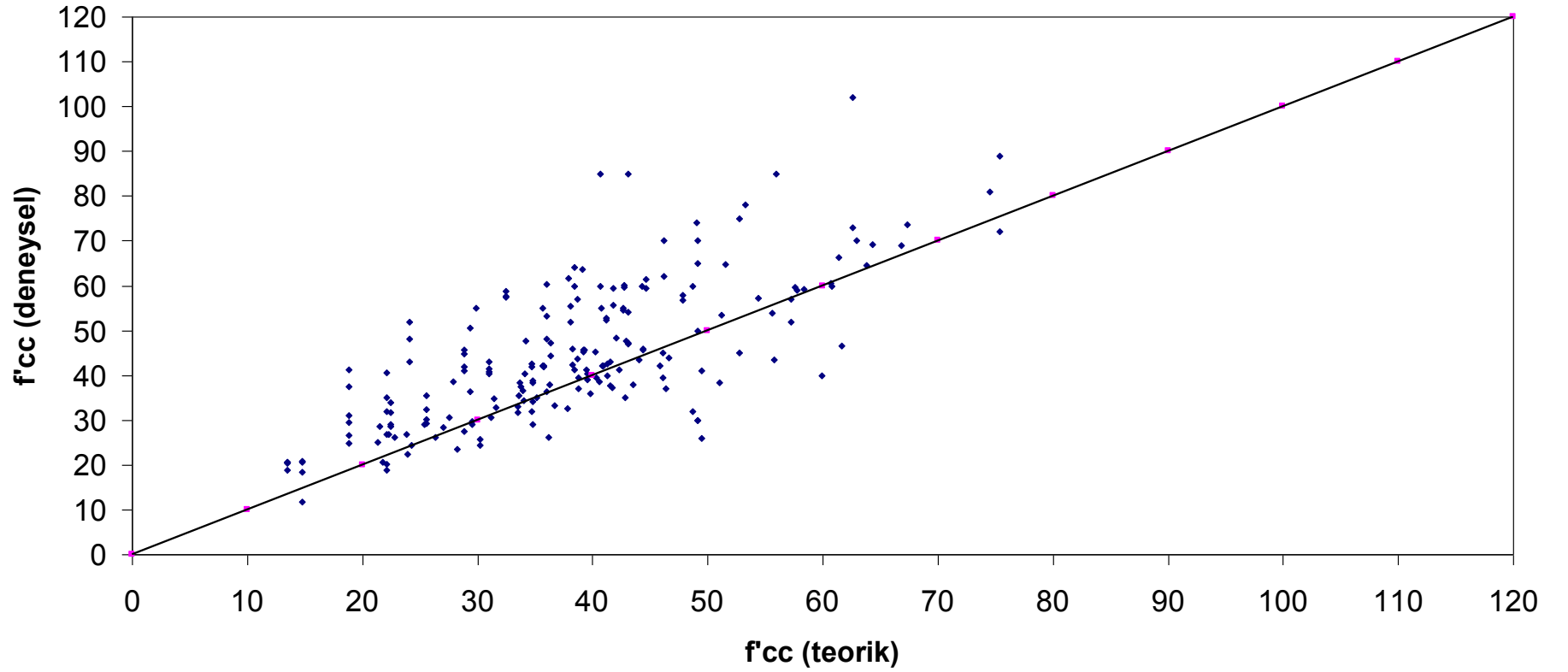
Şekil 5.9: Koksali Sargı Modeli ( $f_l = \text{Concrete Society}$ )



Şekil 5.10: Koksal Sargı Modeli ( $f'l = \text{youssef}$ )

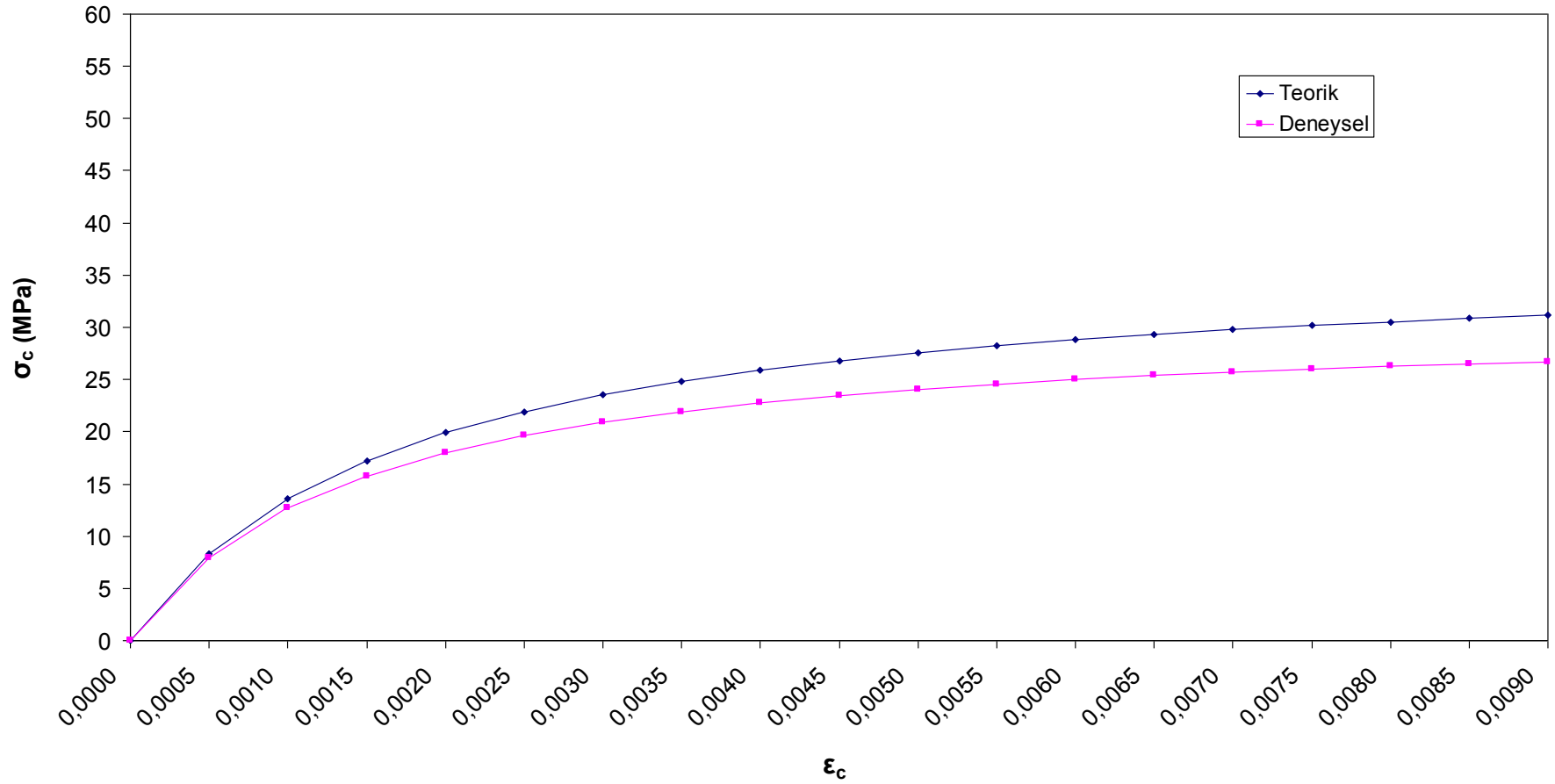


Şekil 5.11: Koksali Sargı Modeli ( $f'_{cc} = \text{Lam and Teng}$ )

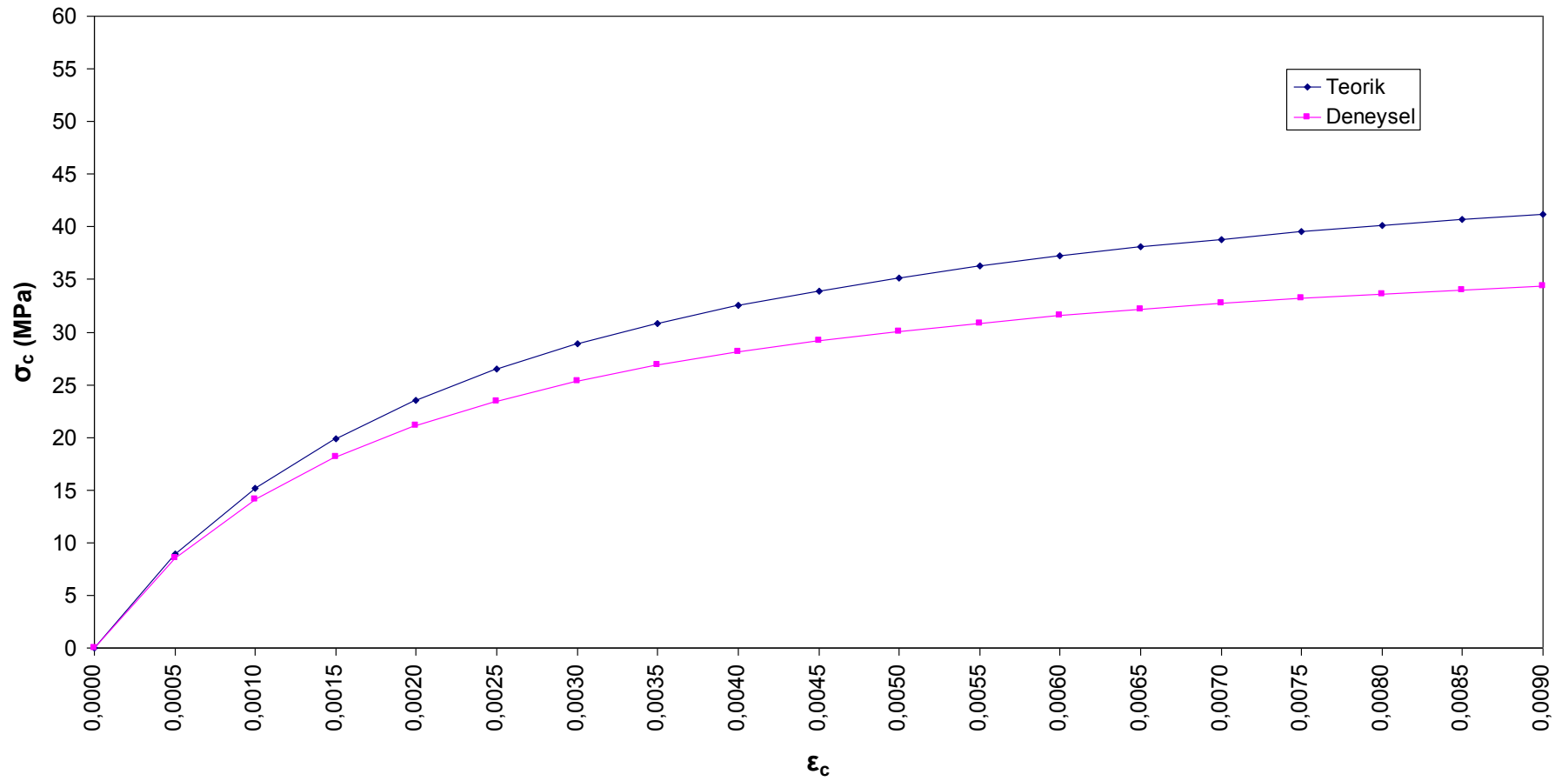




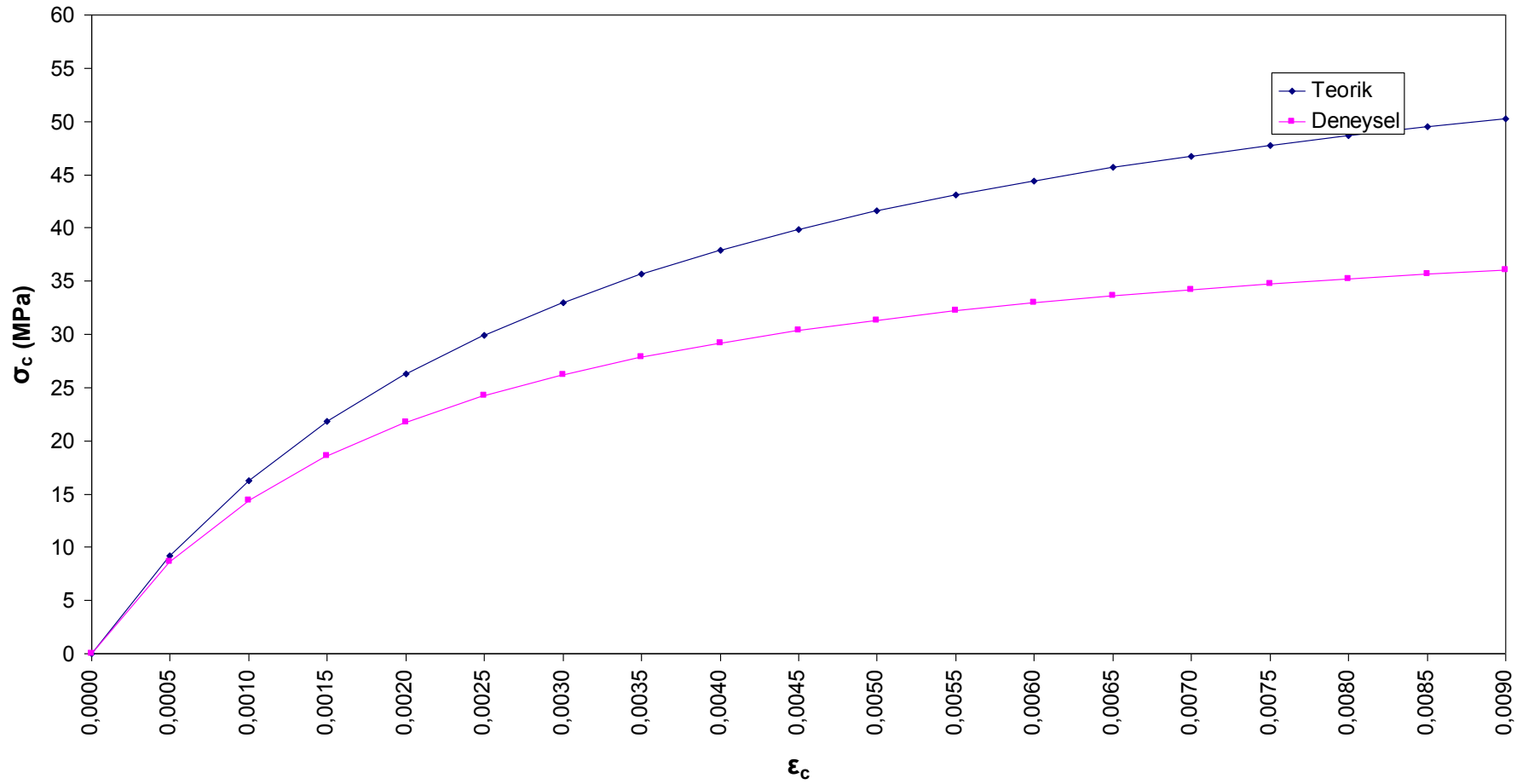
5.12: Fardis and Khalili (C1FP1 - harajli)



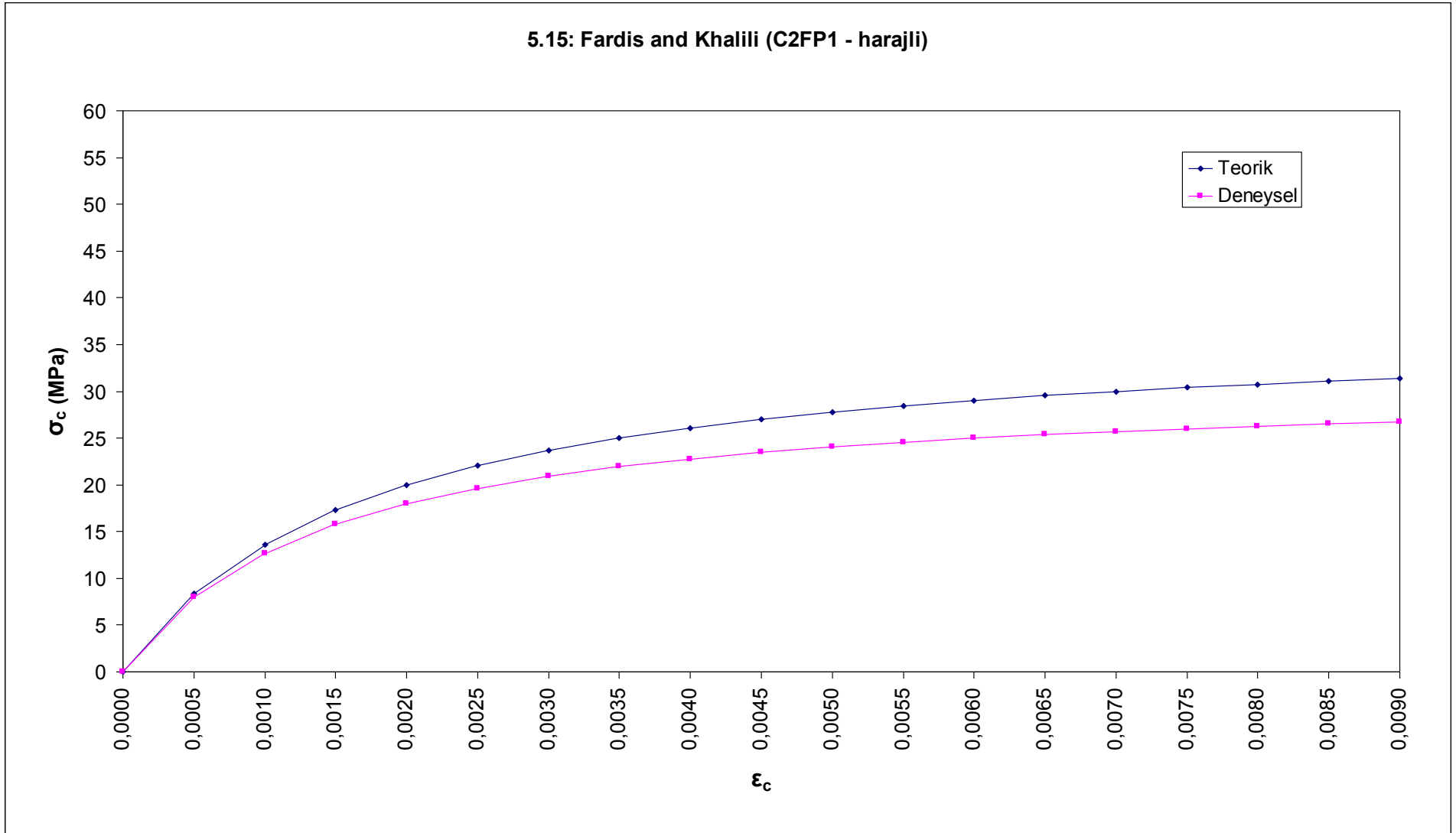
5.13: Fardis and Khalili (C1FP2 - harajli)



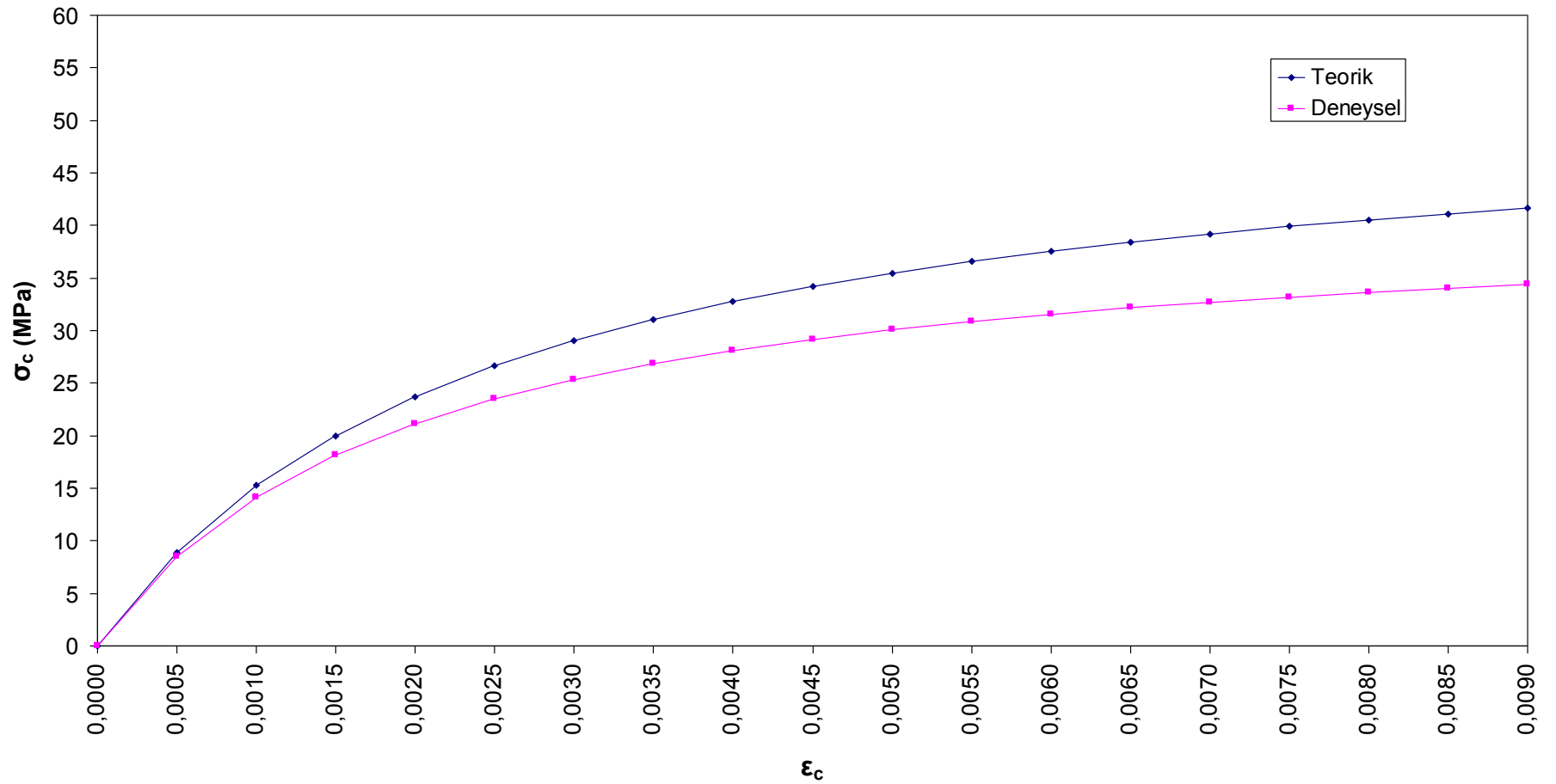
5.14: Fardis and Khalili (C1FP3 - harajli)



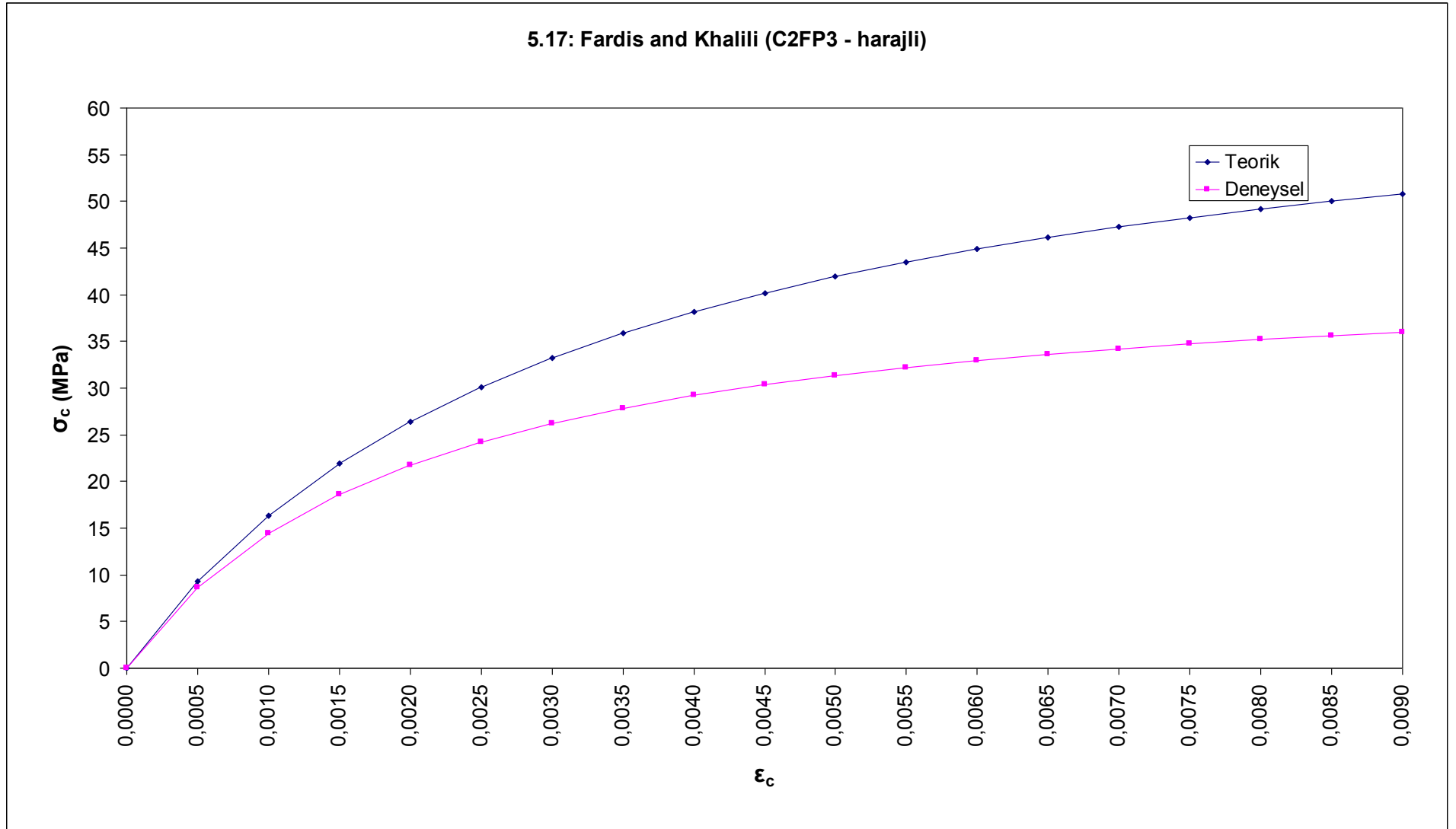
5.15: Fardis and Khalili (C2FP1 - harajli)



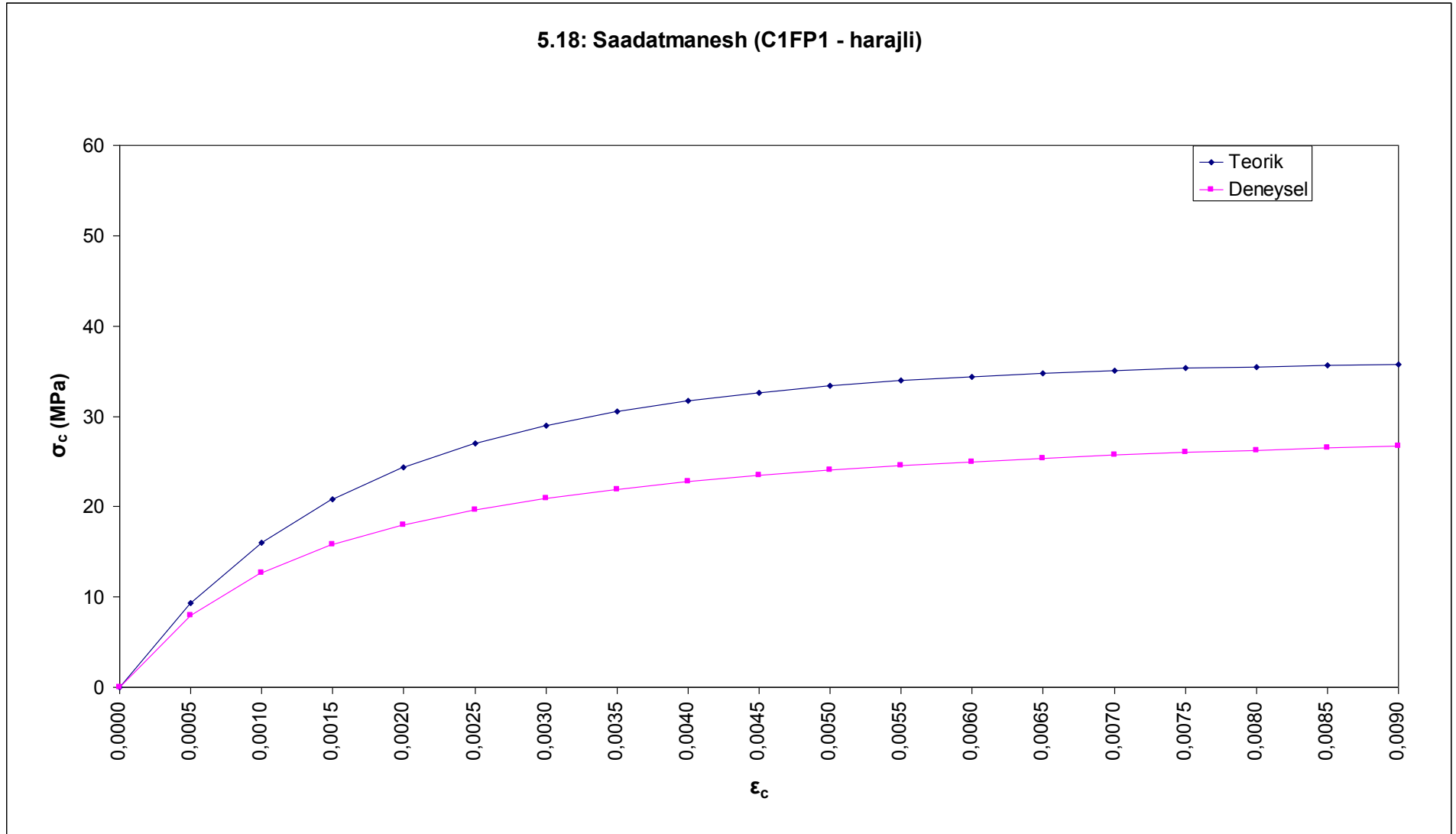
5.16: Fardis and Khalili (C2FP2 - harajli)



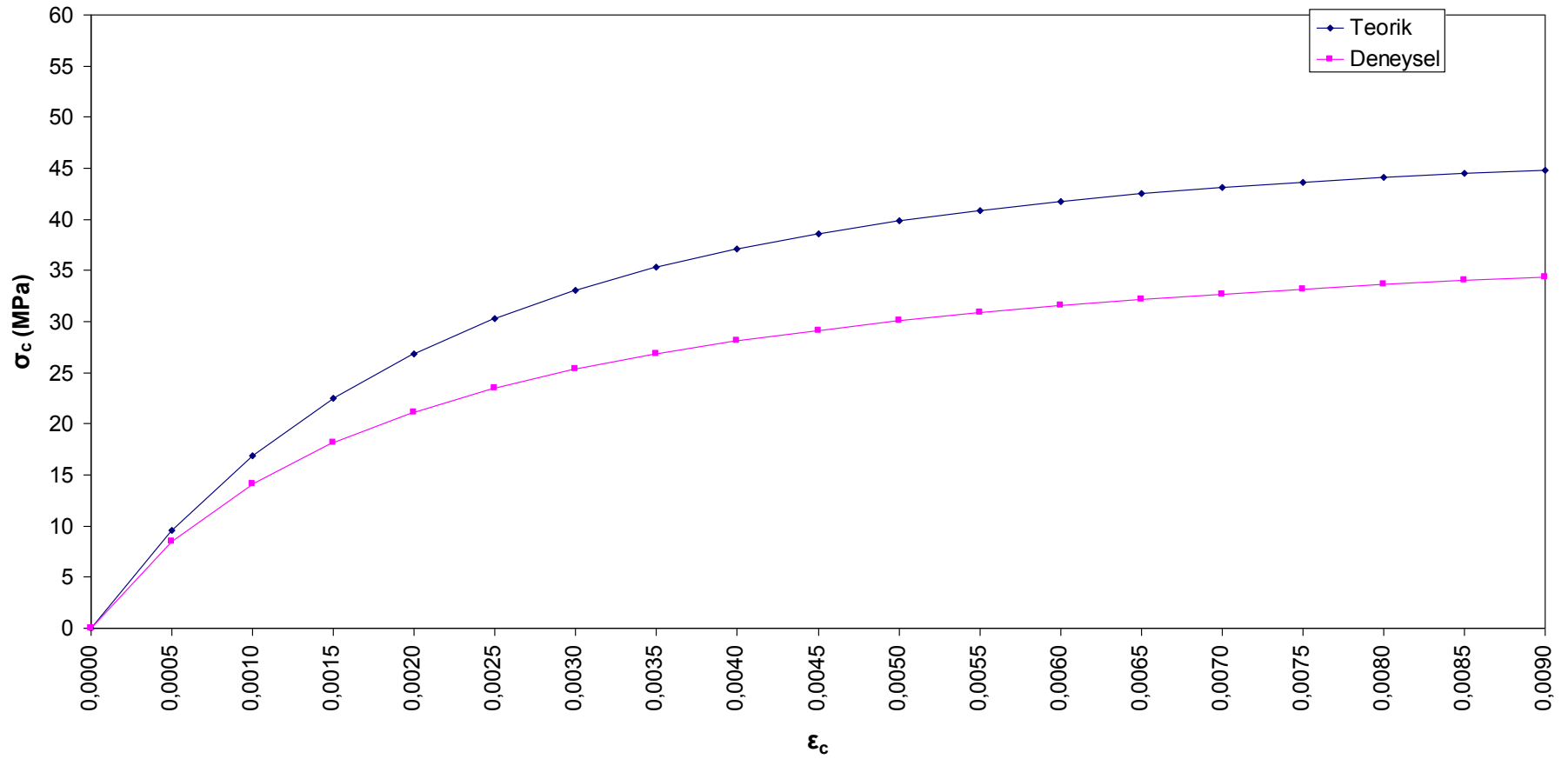
5.17: Fardis and Khalili (C2FP3 - harajli)



5.18: Saadatmanesh (C1FP1 - harajli)

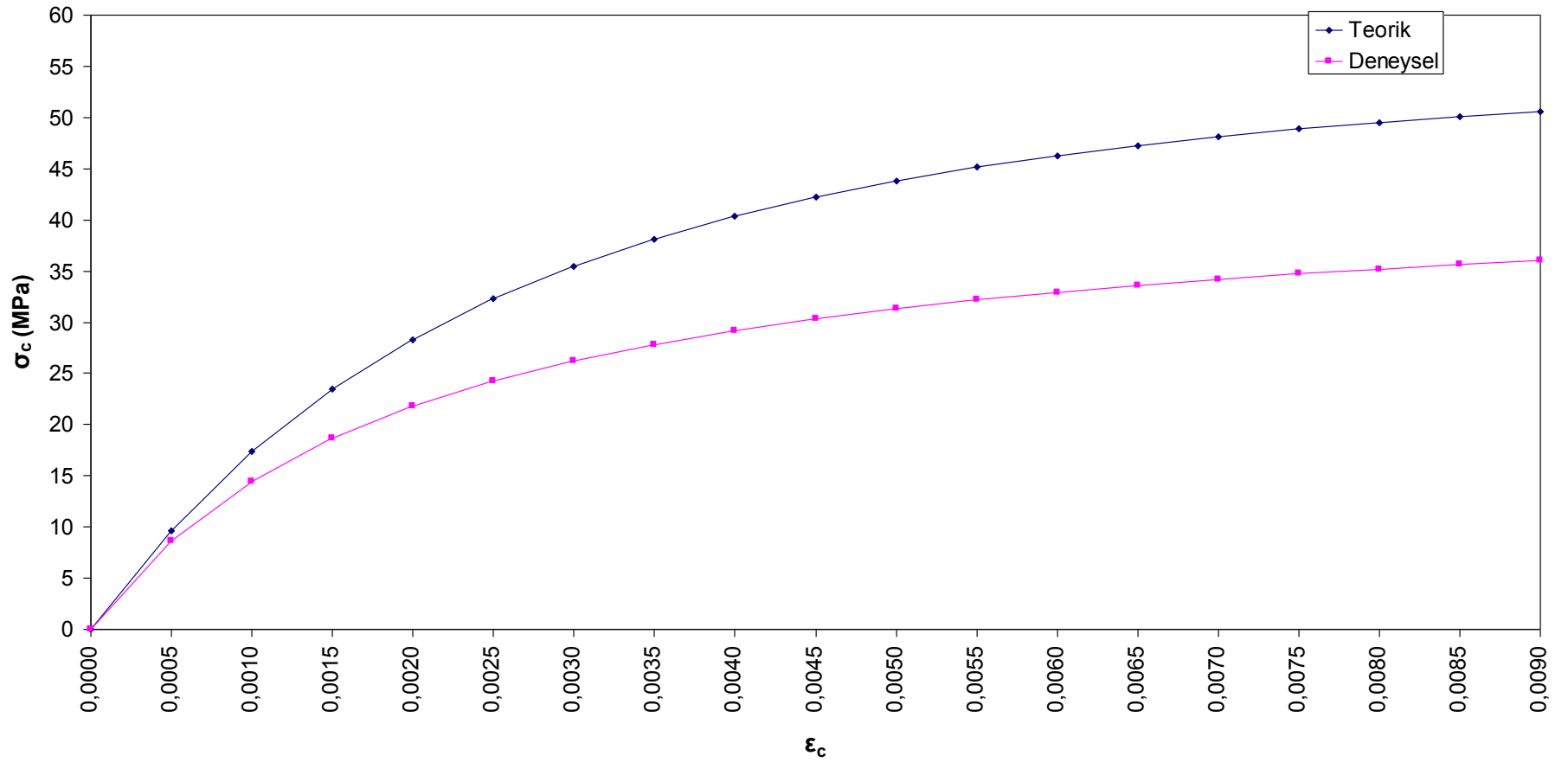


5.19: Saadatmanesh (C1FP2 - harajli)

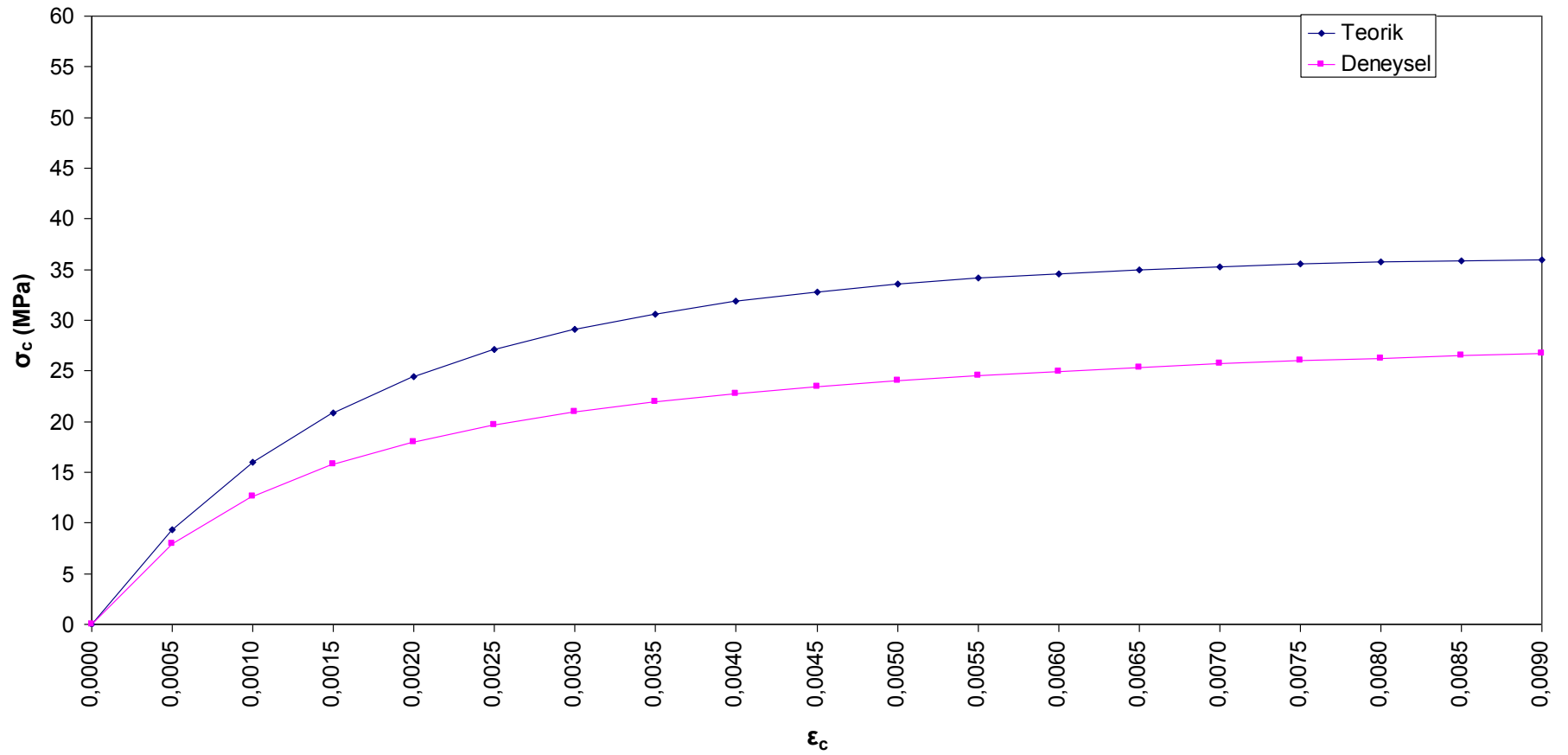




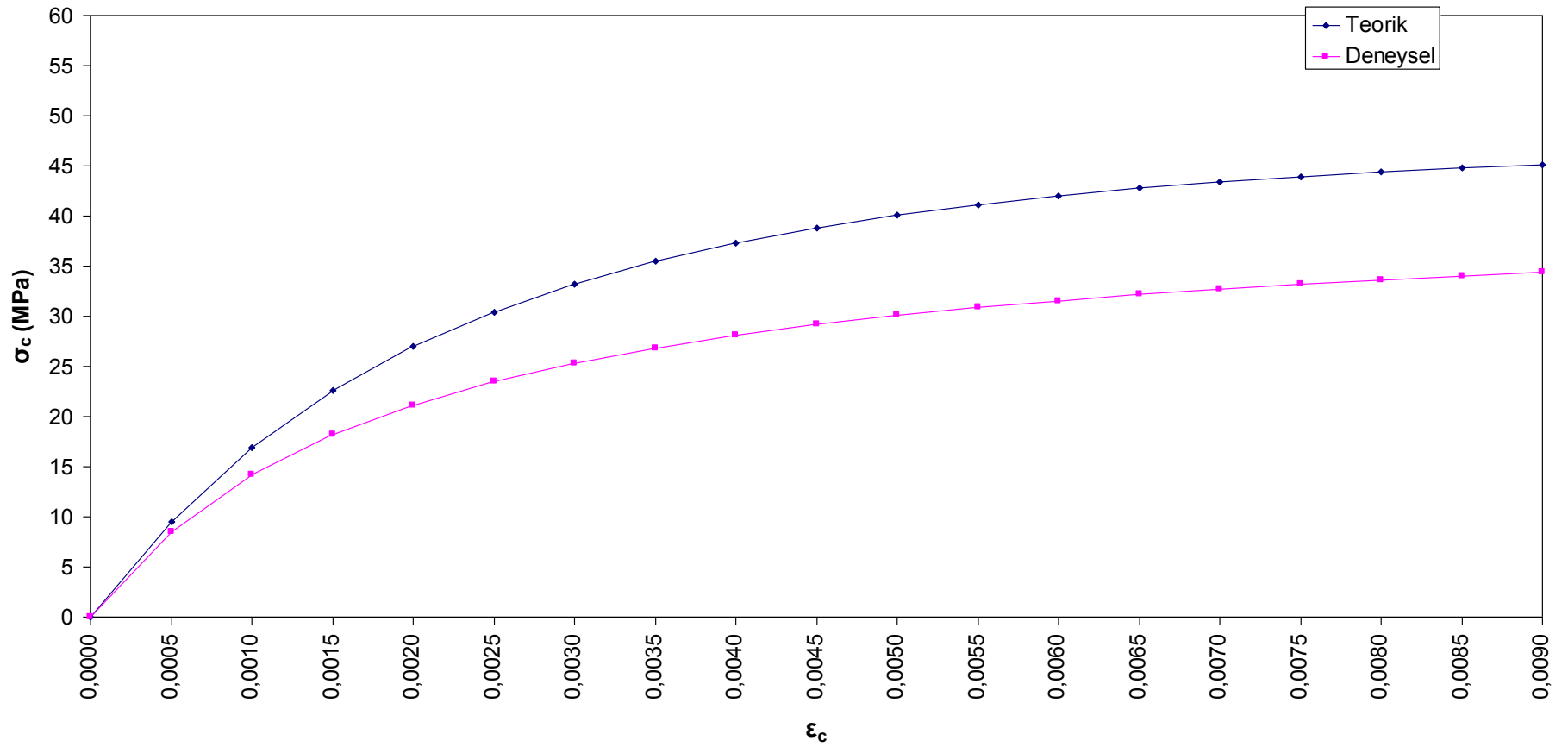
5.20: Saadatmanesh (C1FP3 - harajli)



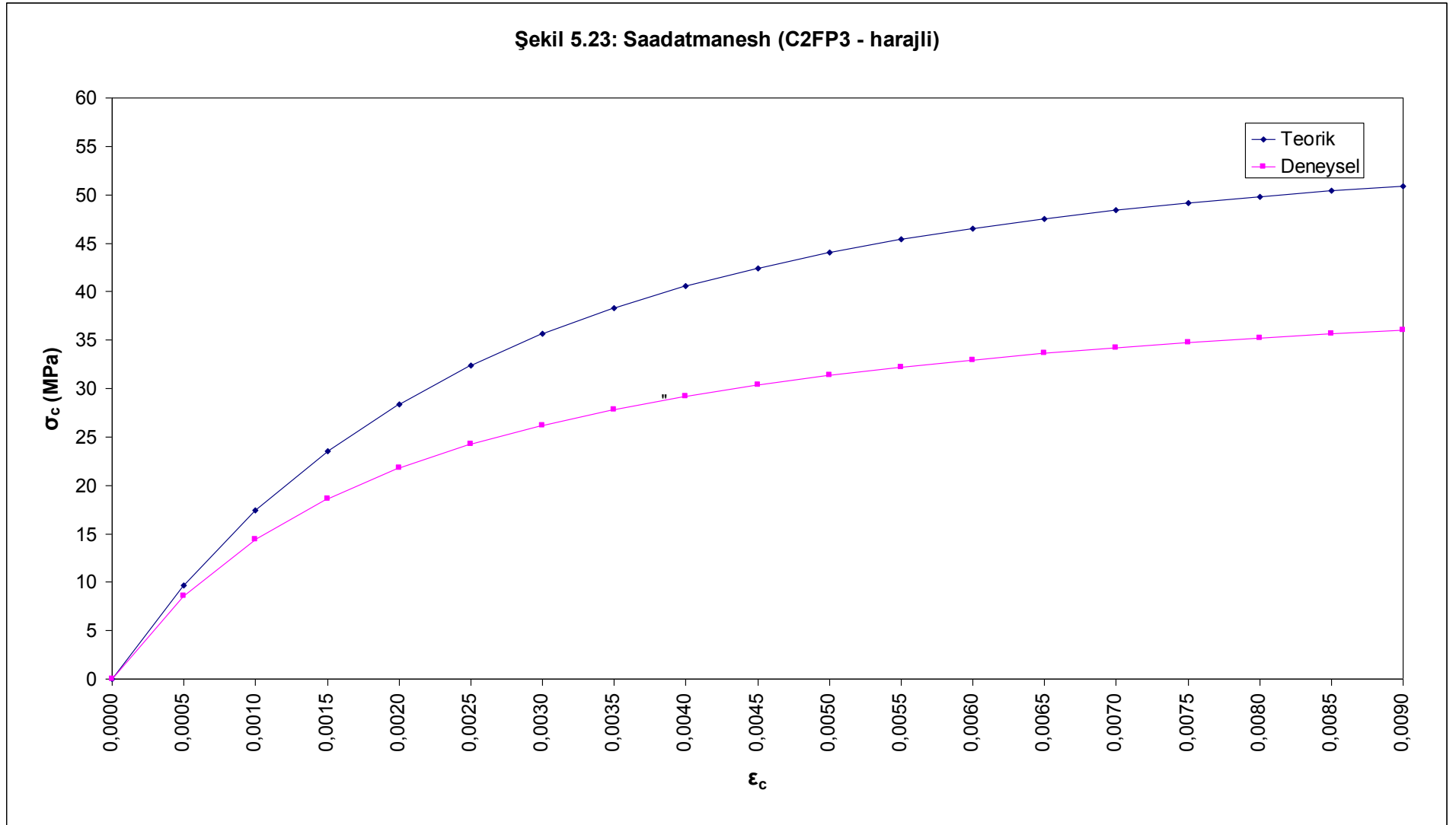
5.21: Saadatmanesh (C2FP1 - harajli)



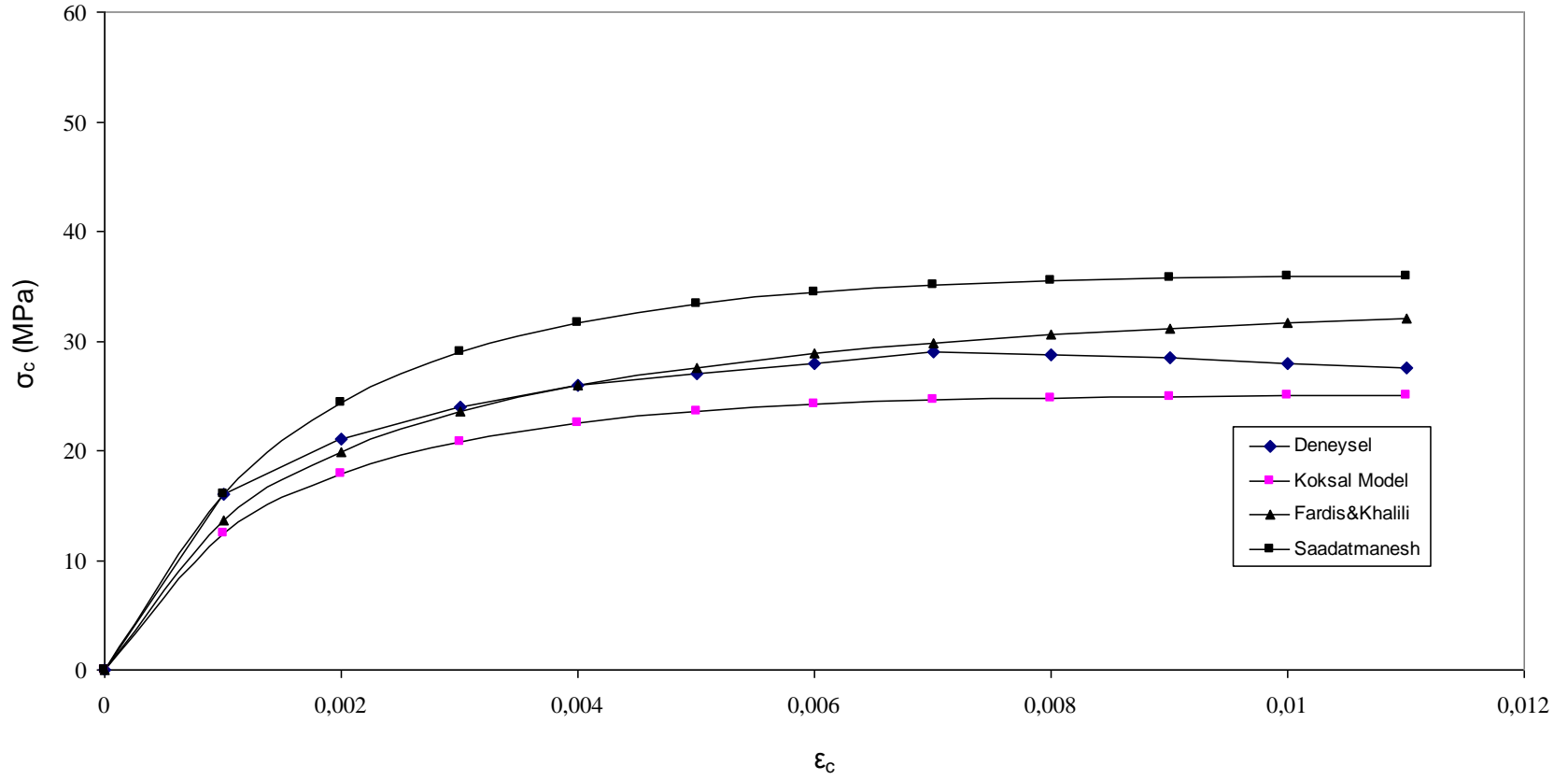
5.22: Saadatmanesh (C2FP2 - harajli)



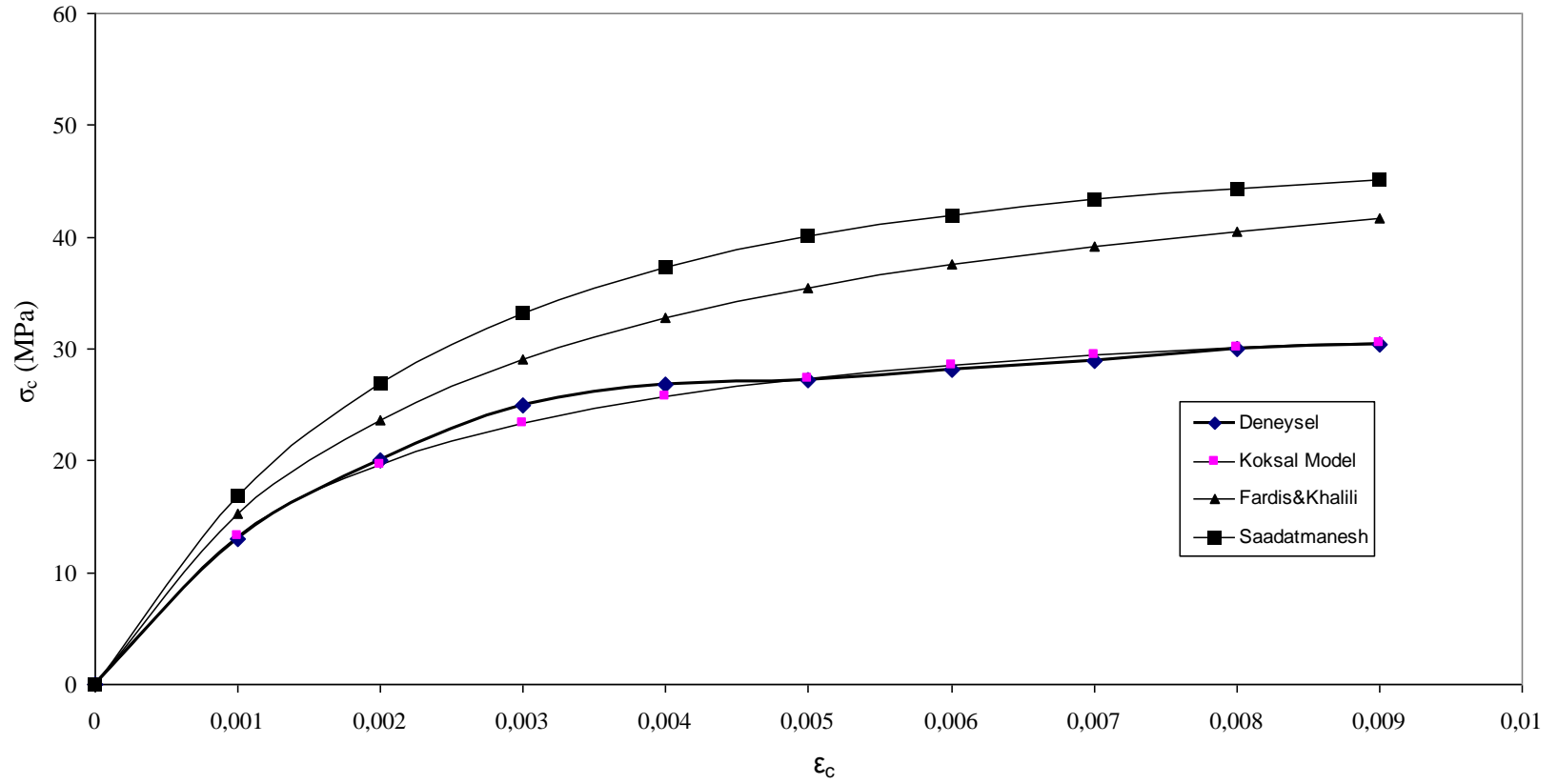
Şekil 5.23: Saadatmanesh (C2FP3 - harajli)



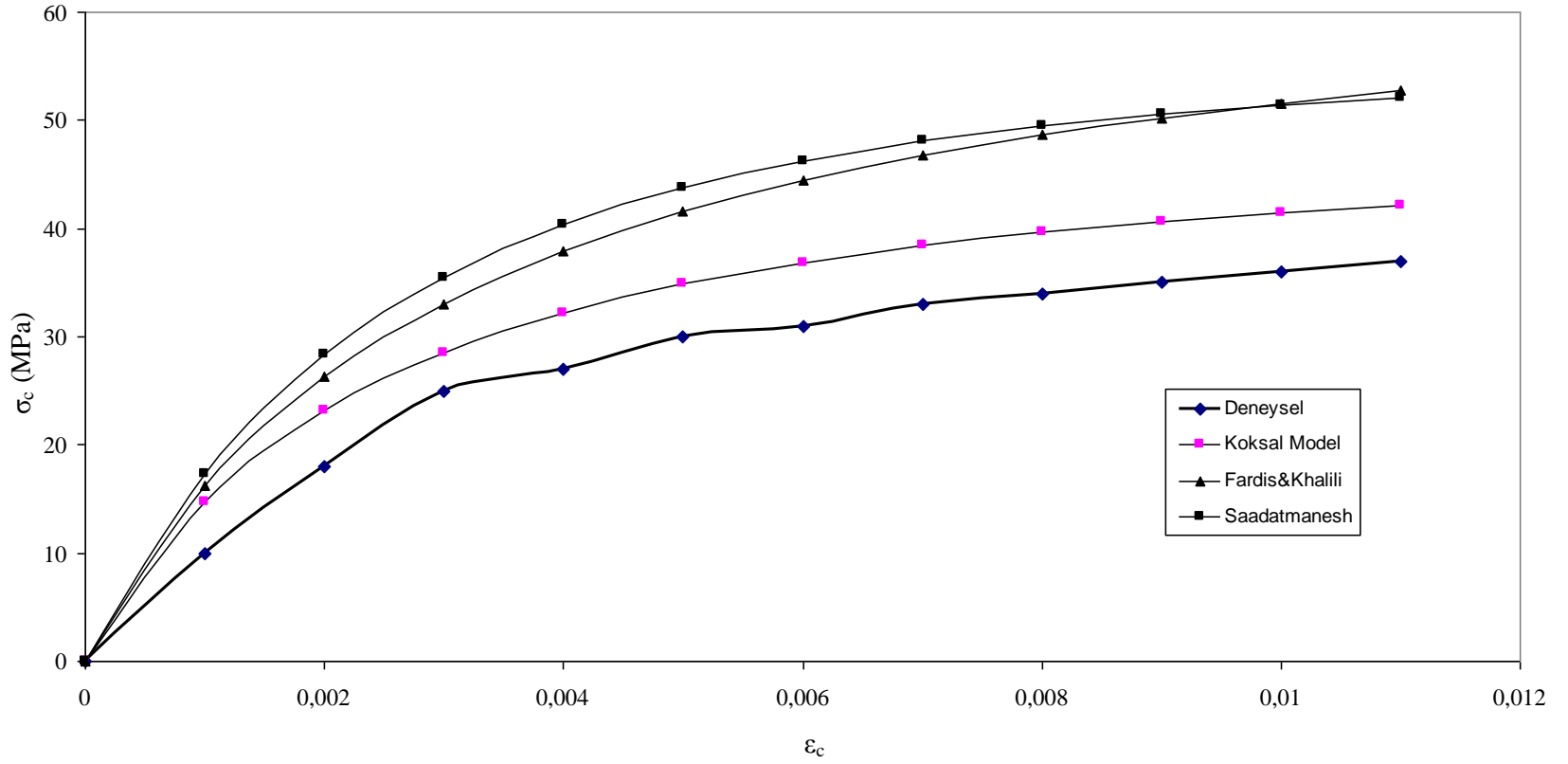
Şekil 5.24: Koksai, Fardis&Khalili, Saadatmanesh Sargı Modelleri (Harajlı - C1FP1)



Şekil 5.25: Koksals, Fardis&Khalili, Saadatmanesh Sargı Modelleri (Harajlı - C2FP2)



Şekil 5.26: Koksall, Fardis&Khalili, Saadatmanesh Sargı Modelleri (Harajlı - C1FP3)



## 6. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Kuşatılmış betonun eksenel basınç dayanımının arttığı bilinen bir gerçektir. Dayanımdaki iyileştirmenin yanında süneklikteki artış çok daha fazladır. Basınç altında yanal olarak genişlemek isteyen betona pasif bir kuşatma uygulamak suretiyle Lifli Polimer malzeme, betonarme kolonların güçlendirmesinde son derece iyi sonuçlar vermektedir. Klasik etriye kuşatmasıyla karşılaştırıldığında, yanal kuşatmada herhangi bir süreksizlik söz konusu değildir.

Lifli Polimer ve uygulamaları, 1990'lı yıllarla birlikte bilimsel literatürde artan bir yer işgal etmektedir. Hızlı ve etkili bir kuşatma yöntemi olarak, mevcut betonarme kolonların güçlendirmesinde klasik yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır.

LP'nin en ayırt edici özelliği güçlendirme ve onarımda kullanılabilmesidir özellikle depreme karşı dayanıksız olan betonarme yapıların rehabilitasyonunda çok başarılı bir şekilde kullanılabilir. LP'nin yapılarda kullanılmasının yararları şu şekilde sıralanabilir (Ghosh, 2002):

- LP kompozitlerin mukavemet – ağırlık oranı çeliğe göre daha yüksektir. LP kompozitin gerilme mukavemeti, eşit kesit alanına sahip çelik plakaların taşıma gücünden üç kat daha yüksektir ve bununla birlikte yoğunluğu çeliğin 1/5'i kadardır. Böylece LP kompozit, çeliğin 1/5'i ağırlıkla aynı işi yapabilmektedir.
- Yüksek mukavemet – ağırlık oranına sahip LP; yük iletimini kolaylaştırır, performansı artırır, ihtiyaç duyulan enerjiyi düşürür, kontrolü basitleştirir ve imalatı hızlandırır, böylece işçilik ve zaman gibi parametreleri düşürür, özellikle genel maliyet düşer. Bununla birlikte malzemelerden kaynaklanan ek yüklerden etkilenmez ve yapıya daha fazla hareketli yük taşıma yeteneği verir
- LP kompozitler; çelik gibi korozyona uğramaz, ahşap gibi çürümez veya beton gibi parçalanmaz. LP, doğadaki en yüksek durumlarda bile yüksek korozyon rezistanslıdır ayrıca asitler, alkaliler, eriticiler ve hidrokarbonlara karşı yüksek direncinden dolayı yapılarda kullanılabilir. LP'nin korozyona karşı yüksek dayanımı, yükseltilmiş durabilitesi, yapıya verimli bir ömür sunar ve bakım masraflarını düşürür.
- Değişik yöntemleriyle birlikte farklı seçeneklerde mümkündür, düşük ağırlık ve rijitliğinden dolayı LP kompozitler değişik boy ve büyüklüklerde olabilir. LP



levhalarının esnek olması dairesel kesitli ve dikdörtgen kesitli malzemelerin daha kolay kuşatılmasına imkân verir.

- Tüm bu özelliklerinin yanında LP levhalarının çeliğe göre işçiliği daha kolaydır ve ekstra detaylı bir çalışma gerektirmez.
- Tüm faktörler göz önüne alındığında bir yapının LP kompozit ile desteklenmesi ekonomik olarak daha ucuzdur.

#### Bu Çalışmada Yapılanlar ve Sonuçları:

- Literatürde, özellikle dairesel kesitli deney numuneleri ile çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Oysa ki pratikte en çok rastlanan kolon kesitleri kare ve dikdörtgendir. LP ile kuşatılmış kare ve dikdörtgen kolonlarla ilgili literatürde mevcut olan deneyler toplanarak geniş bir veritabanı elde edilmiştir
- Yine literatürde dairesel kesitli numuneler temel alınarak genişletilmiş bünyesel modeller mevcuttur. Bu çalışmada ACI, CSI, Concrete Society, Saadatmanesh, Miyauchi, Lam ve Teng, Youssef, Challal ve Koksal modelleri incelenerek temel özellikleri vurgulanmıştır.
- Söz konusu modellerin Kare / Dikdörtgen kolonların analizinde uygulanmasında ihtiyaç duydukları değişiklikler ve mevcut eksiklikler irdelenerek deneysel veri tabanı kapsamında modellerin aksenal kuvvet taşıma gücü için yaptıkları tahminler bulunmuştur. Bu karşılaştırmalar kapsamında: Oratalama ve Standart Sapma değerleri aşağıdaki gibi olmuştur;

Model	Ortalama	Standart Sapma
ACI Sargı Modeli	0,970	0,194
CSI Sargı Modeli	0,725	0,169
Concrete Society Sargı Modeli	0,8687	0,1829
Saadatmanesh Sargı Modeli	1,3445	0,2627
Miyauchi Sargı Modeli	1,2426	0,2648
Lam ve Teng Sargı Modeli	0,931	0,329
Youssef Sargı Modeli	0,5716	0,0989
Challal Sargı Modeli	0,8733	0,1919
Koksal Sargı Modeli ( I )	1,02	0,28
Koksal Sargı Modeli ( II )	1,0095	0,1671
Koksal Sargı Modeli ( III )	1,1303	0,2038

Tablo 6.1: Sargı Modellerinin önermeleri ile elde edilen Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Literatürde yer alan 203 deney sonucu incelendiğinde; standart sapma ve ortalama sonuçlarına göre, en başarılı sonuçları; ACI, Lam ve Teng Sargılı Modeli ve Koksal Modeli vermektedir. Saadatmanesh ve Miyauchi Sargı Modellerinin kolon taşıma gücü için genellikle deneysel sonuçlardan daha büyük değerler verdiği saptanmıştır. Youssef ve CSA Sargı Modellerinden ise daha güvenli tarafta kalan düşük tahminler elde edilmiştir. Lam ve Teng, Challal, ACI, Concrete Society ve Koksal Sargı modelleri, deneysel verilere ve birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

Modeller; Fardis ve Khalil, Saadatmanesh ve Koksal Modelinin önerdiği gerilme – birim şekil değiştirme bağıntıları uygulanarak eğrileri çizilmiştir.

## **KAYNAKLAR**

ACI Committee 440 Report (2002). 'Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures' American Concrete Institute (ACI) Committee 440, Technical Committee Document 440.2R-02.

Al-Salloum, YA. (2007). 'Influence of Edge Sharpness on the Strength of Square Concrete Columns Confined with FRP Composite Laminates' Composites Part B doi: 10.1016 / j. Composites b. 2006.06.019.

Anselm, E. (2005). 'Stress-strain behavior of rectangular concrete columns confined with FRP sheets' University of Alabama, Thesis (M.S.E.), Huntsville.

Akgün, Ş., (2006). 'Betonarme Kolonlarda Kuşatma Etkisi ve Sonlu Eleman Analizleri' YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Chaallal O., Shahawy M., Hassan M. (2003). 'Performance of Axially Loaded Short Rectangular Columns Strengthened with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Wrapping' Journal of Composites for Construction, ASCE; 7(3):200-208.

Chaallal O., Hassan M., Shahawy M. (2003). 'Confinement Model For Axially Loaded Short Rectangular Columns Strengthened with Fiber-Reinforced Polymer Wrapping' ACI Structural Journal; 100(2): 215-221.

Cheng, L.H. (2000). 'A Study of FRP Wrapped Reinforced Concrete Columns' Purdue University, Doctor of Philosophy Thesis, USA.

Collins, M.P. & Mitchell, D (1967). 'Prestressed Concrete Structures' 1st Edition, Response Publications, Toronto and Montreal Canada.

De Lorenzis, L., Tempfers, R. (2001). 'A Comparative Study of Models on Confinement of Concrete Cylinders with FRP Composites' Chalmers University of Technology, Division of Building Technology, Göteborg, Sweden, 46, 01:04.

Demers, M. ve Neale, K.W. (1994). 'Strengthening of Concrete Columns with Directional Composite Sheets' In: Mufti, A.A., Bakht, B., and Jaeger, L.G. (eds) 'Development in Short and Medium Span Bridge Engineering' (1994). 'Proceedings of the Fourth International conference on Short and Medium Span Bridges' Canadian Society of Civil Engineering, Montreal, Canada.

Fardis, M.N. ve Khalili, H. (1982). 'Concrete Encased in Fiberglass-reinforced Plastic' ACI Journal, vol 78.

Fardis, M.N. ve Khalili, H. (1982). 'FRP Encased Concrete as a Structural Material' Magazine of Concrete Research, 34(112).

Feng, P., Lu, XZ., Ye LP. (2002) 'Experimental research and finite element analysis of square concrete columns confined by FRP sheets under uniaxial compression' Proc. 17th Australasian Conference on the Mechanics of Structures, Gold Coast, Australia.

Gosh, R.S. 'Strenghteing of Hallow Steel Columns with Concrete' Canadian Journal of Civil Engineering, v 4, No; 2.

Harajli MH, Hantouche E, ve Soudki K. (2006). 'Stress-strain model for fiber-reinforced polymer jacketed concrete columns' ACI Structural Journal;103(5):672-82.

Hognestad, E. (1951). 'A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members' Bulletin Series No. 399, University of Illinois Eng. Exp. Station, Urbana.

Hosotani M, Kawashima K, Hoshikuma J. (1997). 'A Study on Confinement Effect of Concrete Cylinders By Carbon Fiber Sheets' In: Proceedings of the 3rd non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures, vol. 1.

Ilki A., Peker Ö., Karamuk E., Demir C. ve Kumbasar N. (2008). 'FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns' 10.1061/ASCE 20:2 (169).

Koksal H.O. ve Doran, B. 'Stress-strain model of square/rectangular concrete columns confined with FRP sheets' Submitted to Engineering Structures Manuscript .

Lam, L. ve Teng, J.-G. (2002). 'Strength Models for Fiber-Reinforced-Plastic-Confined Concrete, Journal of Structural Engineering' ASCE, 128(5).

Lam, L. ve Teng, J.-G. (2002). 'Design Oriented Stres-Strain Models For FRP- Confined Concrete. Construction and Building Materials' in pres.

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R. (1988). 'Theoretical Stres-Strain Modeil for Confined Concrete" Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol 114, No. 8

Miyauchi, K., Inoue, S., Koruda T., Kobayashi A., (1999). 'Stranghtening Effect of Draft Concrete Columns With Carbon Fiber Sheet' Taransactinons of the Japan Concrete Institute.

Montoya, E. (2003). "Behaviour and Analysis of Confined Concrete" University of Toronto, Graduate Department of Civil Engineering, Doctor of Philosophy Thesis, Canada.

Park R. Paulay T. (1975). "Reinforced Concrete Structures" New York: John Wiley & Sons.

Parwin, A. ve Wang, W. (2001). 'Behavior of FRP Jacketed Concrete Columns Under Eccentric Loading' Journal of Composites for Construction, ASCE, 5(3): 146-152.

Pessiki, S., Harries, KA., Kestner, JT., Sause, R., Ricles, JM. (2003) 'Axial behavior of reinforced concrete columns confined with FRP jackets' Journal of Composites for Construction, ASCE; 5(4).

Ross, J.D. (2007). 'Analytical Models for Reinforced Concrete Columns Retrofitted with Fiber – Reinforced Polymer Composites' Civil Engineering Department of the College of Engineering of The Ohio State University, Graduation Thesis.

Rousakis, T.C., Karabinis, A.I., Kiouisis P.D. (2006). 'FRP-Confined Concrete Members: Axial Compression Experiments and Plasticity Modelling' Laboratory of Reinforced Concrete, Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace (DUTH), 67100

Xanthi, Greece Division of Engineering, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401, United States.

Popovics, S (1972). "Mechanical behavior of materials," in: Proc. the Int. Conf. on Mechanical Behavior of Materials, IV, Japan.

Richart, F.E., Brandtzaeg, A., Brown, R.L. (1928). 'A Study of the Failure of Concrete under Combined Compressive Stres' University of Illinois, Engineering Experimental Station, Illinois, USA.

Rochette, P. ve Labossiere, P (2000). 'Axial Testing of Rectangular Column Models Confined With Composites' Journal of Composites for Construction, ASCE, 4(3).

Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R. ve Li, M. W. 'Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps' ACI Structural Journal.

Saatcioglu, M & Razvi, S.R. (1992) 'Strangth and ductility of confined Concrete' Journal Of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6

Saenz, LP.(1964). 'Discussion of Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete' by Desai and Krishnan. ACI J.

Samdani, S. (2003). 'Analytical Study of FRP Confined concrete Columns' University of Toronto, Graduate Department of Civil Engineering, Master Thesis.

Shehata, I.A.E.M., Carneinro, L.A.V. and Shehata, L.C.D. (2002). 'Strength of Short Concrete Columns Confined with CFRP Sheet, Materials and Structures' 35(1): 50-58.

Sheikh, S.A. ve Uzumeri, S.M., (1982). 'Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns' Journal of the Structural Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers. 108(ST12):2703-2722.

Suter, R. ve Pinzelli, R. (2001). 'Confinement of Concrete Columns with FRP Sheets' In: Proceedings, Fifth International Conference on Fibre Reinforced Plastics for Reinforced Concrete Structures, pp.793-802, Cambridge, U.K.

Turgay, T. (2007). 'FRP uygulanmış Eksenel yüklü betonarme kolonların davranışı' YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Youssef, MN. (2003) 'Stress-strain model for concrete confined by FRP Composites' Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, University of California .

## ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	18.02.1983
Doğum Yeri	İstanbul
Yüksek Lisans	(2006–2008) :Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı
Lisans	(2001–2005) :Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ortaokul – Lise	(1994–2001) :İstanbul Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi

## Çalıştığı Kurumlar

2005 – 2006	:Değer İnşaat, (Konut İnşaatı; Saha Mühendisi)
2006 – Devam ediyor	:İstanbul Büyükşehir Belediyesi, (Altyapı Hizmetleri Müdürlüğü; Kontrol Mühendisi)