T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSENEL BASINÇ ALTINDA LİFLİ POLİMER İLE SARGILI DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETON KOLONLARIN GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME MODELİNİN TAHMİN EDİLMESİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Mustafa GÜNEY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Sema ALACALI

Mayıs, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSENEL BASINÇ ALTINDA LİFLİ POLİMER İLE SARGILI DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETON KOLONLARIN GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME MODELİNİN TAHMİN EDİLMESİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Mustafa GÜNEY tarafından hazırlanan tez çalışması 08.05.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sema ALACALI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sema ALACALI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Güray ARSLAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Cem AYDEMİR, Üye
İstanbul Aydın Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Sema ALACALI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Eksenel Basınç Altında Lifli Polimer İle Sargılı Dikdörtgen Kesitli Beton Kolonların Gerilme-Şekil Değiştirme Modelinin Tahmin Edilmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mustafa GÜNEY

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Sayın Tez Danışmanım Sema ALACALI,

Bu tez çalışmasını tamamlamanın mutluluğunu yaşarken, sizlere teşekkür etmek istiyorum. Sizin rehberliğiniz ve destekleriniz akademik yolculuğumu daha anlamlı ve öğretici kıldı.

Tezin her aşamasında sunduğunuz değerli öneriler ve motivasyon benim için büyük bir ilham kaynağı oldu. Sizin destekleriniz sayesinde araştırma yeteneklerimi geliştirdim ve bu deneyim kariyerimde dönüm noktalarından biri olacak.

Aynı zamanda aileme, arkadaşlarıma ve sevdiklerime bu zorlu süreçte verdikleri destek için minnettarım. Onların sabrı ve inancı bu tezi başarılı bir şekilde tamamlamamda büyük bir rol oynadı.

Sizler gibi deneyimli bir danışmanla çalışmanın gururunu yaşarken tezin tamamlanmasıyla yeni bir döneme başlamak için heyecan duyuyorum. İlginiz, sabrınız ve bilgeliğiniz için teşekkür ederim.

Saygılarımla,

Mustafa GÜNEY

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR **iv**
SİMGE LİSTESİ **vi**
KISALTMA LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
TABLO LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
ABSTRACT **xiii**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Giriş 1
1.2 Literatür Araştırması....3
2 METARYAL VE YÖNTEM **9**
2.1 Deney Verilerinin Analizi....9
2.2 FRP ile Sargılı Dikdörtgen Kesitli Kolonlar İçin Mevcut Bağıntılar....16
2.3 Gen İfadesi Programlama (GEP)....27
2.4 Betonun Basınç Dayanımı (f_{cc}) için GEP ile Model Tahmini....30
2.5 Şekil Değiştirme (ε_{cc}) için GEP ile Model Tahmini....33
3 MEVCUT BAĞINTILARIN İSTATİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI **35**
3.1 İstatistiksel Bağıntılar....35
3.2 Duyarlılık Analizi....41
4 SONUÇ **43**
KAYNAKÇA **45**
A EK **48**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **77**

SİMGE LİSTESİ

A_c	Basınç Altındaki Betonun Kesit Alanı
f_{co}	Beton Basınç Dayanımı
c_1	Beton Dayanım Faktörü
ε_{co}	Beton Şekil Değiştirme Değeri
ρ_g	Boyuna Çelik Donatı Oranı
A_g	Brüt Beton Kesit Alanı
C_E	Çevresel Azaltma Faktörü
D	Dairesel Olmayan Kesitler İçin Kolon Enkesit Çapı
k_{e2}, k_{s2}, κ_b	ε_{cc} İçin Şekil Katsayısı
Ψ_f	Ek İndirgeme Faktörü
E_f	Elastisite Modülü
d_e	Eşdeğer Kesit Boyutu
K_{lo}	Eşik Sargılama Rijitliği
A_e	Etkili Sargı Alanı
k_{e1}, k_{s1}, κ_a	f_{cc} İçin Şekil Katsayısı
nt_f	FRP Kalınlığı
$\varepsilon_{h,rup}$	FRP'nin Göçme Anında Etkili Şekil Değiştirme Değeri
k_1	Gerilme Artış Oranı
b	Kısa Kenar Uzunluğu
ε_{fu}	Lif Takviyeli Polimerin Tasarım Kopma Birim Uzaması
ε_{fe}	Öngörülen Etkili Şekil Değiştirme Değeri
f_l	Sargı Basıncı
K_l	Sargılama Rijitliği
f_{cc}	Sargılı Beton Basınç Dayanımı
ε_{cc}	Sargılı Beton Şekil Değiştirme Değeri
k_2	Şekil Değiştirme Artış Oranı
k_s	Şekil Değiştirme Azaltma Faktörü
k_e	Şekil Katsayısı
h	Uzun Kenar Uzunluğu
ε^*_{fu}	Üretici Tarafından Verilen Lif Takviyeli Polimerin Tasarım Kopma Birim Uzaması
r	Yuvarlatma Yarıçapı

KISALTMA LİSTESİ

AFRP	Aramid Lif Takviyeli Polimer
BFRP	Bazalt Lif Takviyeli Polimer
CFRP	Karbon Lif Takviyeli Polimer
COV	Varyasyon Katsayısı
FRP	Lif Takviyeli Polimer
GA	Genetik Algoritma
GEP	Gen İfadesi Programlama
GFRP	Cam Lif Takviyeli Polimer
GP	Genetik Programlama
HFRP	Hibrit Lif Takviyeli Polimer
M	Ortalama Değer
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
PEN	Polietilen Naftalat
PET	Polietilen Tereftalat
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
SD	Standart Sapma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dikdörtgen kesitli kolonların şematik gösterimi.....**9**

Şekil 2.2 f_{cc} için deney numunelerinin b ve h parametrelerinin dağılımları **11**

Şekil 2.3 f_{cc} için deney numunelerinin r ve f_{co} parametrelerinin dağılımları **11**

Şekil 2.4 f_{cc} için deney numunelerinin E_f ve nt_f parametrelerinin dağılımları ..**12**

Şekil 2.5 f_{cc} için deney numunelerinin $\varepsilon_{h,rup}$ ve f_{cc} parametrelerinin dağılımları **12**

Şekil 2.6 ε_{cc} için deney numunelerinin b ve h parametrelerinin dağılımları **14**

Şekil 2.7 ε_{cc} için deney numunelerinin r ve ε_{co} parametrelerinin dağılımları ...**14**

Şekil 2.8 ε_{cc} için deney numunelerinin f_{co} ve E_f parametrelerinin dağılımları ..**15**

Şekil 2.9 ε_{cc} için deney numunelerinin nt_f ve $\varepsilon_{h,rup}$ parametrelerinin dağılımları.....**15**

Şekil 2.10 ε_{cc} için deney numunelerinin ε_{cc} parametresinin dağılımı **15**

Şekil 2.11 FRP ile sargılı betonun gerilme-birim deformasyon diyagram **17**

Şekil 2.12 Etkili sargı alanı, A_e **18**

Şekil 2.13 Bir gen ifadesi algoritmasının akış şeması.....**29**

Şekil 2.14 f_{cc} için gen 1 ifade ağacı.....**32**

Şekil 2.15 f_{cc} için gen 2 ifade ağacı.....**32**

Şekil 2.16 f_{cc} için gen 3 ifade ağacı.....**32**

Şekil 2.17 ε_{cc} için gen 1 ifade ağacı **33**

Şekil 2.18 ε_{cc} için gen 2 ifade ağacı **34**

Şekil 2.19 ε_{cc} için gen 3 ifade ağacı **34**

Şekil 3.1 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 1.....**37**

Şekil 3.2 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 2.....**38**

Şekil 3.3 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için GEP modelin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması **39**

Şekil 3.4 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 1.....**40**

Şekil 3.5 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 2.....**41**

Şekil 3.6 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için GEP modelin deneyselsonuçlarla karşılaştırılması **41**

Şekil 3.7 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için GEP model duyarlılık analizi **42**

Şekil 3.8 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için GEP model duarlılık analizi **42**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları.....**10**

Tablo 2.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları.....**13**

Tablo 2.3 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton basınç dayanımı bağıntıları.....**23**

Tablo 2.4 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton şekil değiştirme değerleri bağıntıları **26**

Tablo 2.5 Önerilen model için kullanılan gen ifadesi programlama (GEP) parametreleri **31**

Tablo 3.1 İstatistiksel bağıntılar **35**

Tablo 3.2 f_{cc} için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması **36**

Tablo 3.3 ε_{cc} için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması.....**39**

ÖZET

Eksenel Basınç Altında Lifli Polimer İle Sargılı Dikdörtgen Kesitli Beton Kolonların Gerilme-Şekil Değiştirme Modelinin Tahmin Edilmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım

Mustafa GÜNEY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sema ALACALI

Son yıllarda lif takviyeli polimer (FRP) ile sargılı dikdörtgen kesitli beton kolonlarla ilgili çok sayıda deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar lif takviyeli polimerlerin kolonun eksenel basınç dayanımı ve sünekliliğini artırdığını kanıtlamıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları gözönüne alınarak gerçekleştirilen analitik çalışmalarda dikdörtgen kesitli beton kolonların eksenel basınç ve şekil değiştirme değerlerine ilişkin çok sayıda bağıntı önerilmiştir. Söz konusu bağıntıların duyarlı tahmini yapısal sistemin performansının ve güvenilirliğinin gerçekçi tahmin edilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada ise, son yıllarda yaygın olarak kullanılan makine öğrenimi algoritmalarından gen ifadesi programlama ile literatürdeki deneysel veriler göz önüne alınarak lif takviyeli polimer (FRP) ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonların basınç dayanımı ve şekil değiştirme değerine ilişkin yeni bağıntılar tahmin edilmiştir. Bağıntıların tahmininde, dikdörtgen kesitli kolon deney

numunelerinin kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), beton basınç dayanımı (f_{co}), lifli polimerin çekme elastisite modülü (E_f), lifli polimerin kalınlığı (nt_f), betonun şekil değiştirme değeri (ε_{co}) ve lifli polimerin göçme anında etkili şekil değiştirmesi ($\varepsilon_{h,rup}$) parametreleri göz önüne alınmıştır. Elde edilen bağıntılar, mevcut yönetmeliklerin ve farklı araştırmacıların önerdikleri bağıntılarla istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada R^2 (Belirleme Katsayısı), COV (Varyasyon Katsayısı), M (Ortalama Değer), SD (Standart Sapma), $MAPE$ (Ortalama Mutlak Yüzde Hata) ve $RMSE$ (Kök Ortalama Kare Hata) istatistiksel ölçütleri göz önüne alınarak en güvenilir bağıntıların belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmede, bu çalışmada betonun basınç dayanımı için tahmin edilen bağıntının R^2=0.876, COV=0.150, M=1.017, SD=0.153, $MAPE$=11.625, $RMSE$=7.128, şekil değiştirme için tahmin edilen bağıntının ise R^2=0.884, COV=0.580, M=1.132, SD=0.656, $MAPE$=36.445, $RMSE$=0.006 istatistiksel değerleri ile deneysel sonuçlarla en uyumlu olduğu kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gen ifadesi programlama (GEP), lif takviyeli polimer (FRP), betonun basınç dayanımı, şekil değiştirme, dikdörtgen kolon

ABSTRACT

A New Approach for Predicting The Stress-Strain Model of Rectangular Section Concrete Columns Confined by Fiber Reinforced Polymer Under Axial Compression

Mustafa GUNEY

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sema ALACALI

In recent years, many experimental studies have been conducted on rectangular concrete columns with fiber reinforced polymer (FRP). Experimental studies have demonstrated that FRP increases the axial compressive strength and ductility of the column. Many relationships have been proposed for the compressive strength and ultimate strains of rectangular section concrete columns in analytical studies, which have been carried out taking into account the results of experimental studies. Sensitive prediction of these relations is important for realistic prediction of the performance and reliability of the structural system. In this study, new equations for the compressive strength and ultimate strain of the columns were predicted by considering the experimental data in the literature with gene expression programming, which is one of the machine learning algorithms that have been widely used in recent years. In the prediction of the these equations, the short side length (b), long side length (h), rounding radius (r), concrete compressive strength (f_{co}), elastic modulus of the fiber-reinforced polymer (E_f), thickness of the fiber-reinforced polymer (nt_f), the strain of the concrete (ε_{co}) and effective strain of the fiber-reinforced polymer at the ultimate limit state ($\varepsilon_{h,rup}$) of the rectangular cross-section concrete columns were taken into account. The obtained equations were

statistically compared with the equations proposed by the existing regulations and previous researchers. In the comparison, it was aimed to determine the most reliable equations by considering the statistical criteria of R^2 (Coefficient of Determination), COV (Coefficient of Variation), M (Mean Value), SD (Standard Deviation), $MAPE$ (Mean Absolute Percentile Error) and $RMSE$ (Root Mean Square Error). In the statistical evaluation, it has been proved that the predicted equations in the current study were most in agreement with the experimental results based on the statistical values of R^2=0.876, COV=0.150, M=1.017, SD=0.153, $MAPE$=11.625, $RMSE$=7.128 for compressive strength, and R^2=0.884, COV=0.580, M=1.132, SD=0.656, $MAPE$=36.445, $RMSE$=0.006 for ultimate strain.

Keywords: Genetic expression programming (GEP), fiber reinforced polymer (FRP), stress, strain, rectangular column

1
GİRİŞ

1.1 Giriş

Son yıllarda, inşaat sektöründe giderek artan bir ilgi gören fiber takviyeli polimer (FRP) malzemeleri, yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve korozyona dayanıklılık gibi avantajlarıyla yapısal güçlendirme, yeniden yapılandırma ve dayanıklılığı artırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca, FRP malzemeleri, yangına dayanıklılık, titreşim kontrolü ve çevresel sürdürülebilirlik gibi özellikleriyle de dikkat çekmektedir.

FRP malzemelerinin kökenleri, 1940'ların ortalarında havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan cam elyaf takviyeli polimerlerin geliştirilmesine dayanmaktadır. Bu dönemde, hafiflikleri ve yüksek mukavemetleri sayesinde havacılık endüstrisinde büyük ilgi görmüşlerdir. İnşaat sektöründe ise FRP malzemelerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması, daha sonraki yıllarda teknolojinin gelişmesi ve araştırmaların artmasıyla gerçekleşmiştir [5].

Türk inşaat sektöründe betonarme yapıların güçlendirilmesi ve yeniden yapılandırılmasında; üstün yapışma özellikleri, yüksek mukavemetleri ve korozyona dayanıklılığı sayesinde FRP malzemelerinin kullanımı, 1990'lı yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır. Önceleri yabancı üreticilerden ithal edilen FRP malzemeleri, zaman içinde yerli üretim olanaklarının gelişmesiyle, Türkiye'de de üretilmeye başlanmış ve bu olanak, ülkemizde de FRP malzemelerinin daha geniş çapta kullanılabilmesine olanak sağlamıştır [15]. Karbon lif takviyeli elyaf (CFRP), cam lif takviyeli elyaf (GFRP), bazalt lif takviyeli elyaf (BFRP), aramid lif takviyeli elyaf (AFRP) ve hibrit lif takviyeli elyaf (HFRP) inşaat sektöründe kullanılan FRP tiplerinden bazılarıdır [30]. Bunlara ek olarak yüksek kopma özelliği (LRS) lif takviyeli polimer (FRP) kompozitlerinden polietilen naftalat (PEN) FRP ve polietilen tereftalat (PET) FRP kompozitleri de bulunmaktadır [42].

FRP malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ile mevcut betonarme kolonların lif takviyeli polimer ile güçlendirilmesi uygulamada yaygın kabul gören bir teknik haline gelmiş, bu sayede FRP ile sargılı betonarme kolonların eksenel yük etkisindeki davranışı kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

FRP malzemesi genellikle depreme karşı bina güçlendirilmesi olarak orta ve hafif hasarlı yapıların, korozyona uğramış köprü ve viyadüklerin ayrıca tarihi eserlerin kolon ve kirişlerin tamiratında kullanılmaktadır. FRP ile sargılama kolonların plastik şekil değiştirme esnasında, birçok kılcal çatlak oluşmasını engellerken ilk çatlak oluşumundan sonra yük taşıma kapasitesini arttırarak şekil değiştirmeye devam etmektedir [11]. Gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin duyarlı tahmin edilmesi, betonun davranışının anlaşılabilmesine ve yapısal performansın gerçekçi tahmin edilmesine olanak sağlar.

Dairesel kesitli kolonlarla ilgili çalışmalar daha yaygın olmakla birlikte, FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolon numuneleri üzerinde yapılan deneysel araştırmalar, 20. yüzyılın sonlarından itibaren gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda FRP ile sargılı eksenel yük etkisindeki dikdörtgen kesitli kolonların basınç dayanımlarının, köşelerin neden olduğu gerilme yoğunluğunun FRP kompozitlerin sargılama etkisini azaltması, dolayısıyla çekirdek betonu tam olarak kuşatamamasından dolayı dairesel kolonlara göre daha düşük olduğu gözlenmiştir [34, 36].

Literatürde FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolon deneyleri sonucunda farklı parametreleri içeren çok sayıda basınç dayanımı ve şekil değiştirme bağıntıları önerilmiştir. Söz konusu bağıntılarda kolonun basınç dayanımı ve şekil değiştirme değeri üzerinde en etkili parametrelerin beton kesitin kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), beton basınç dayanımı (f_{co}), beton şekil değiştirme değeri (ε_{co}), FRP çekme elastisite modülü (E_f), FRP kalınlığı (nt_f) ve FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$) olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları için yukarıda ifade edilen parametreler dikkate alınmıştır.

Günümüzde mühendislik uygulamalarında, insan gibi düşünen, insan gibi davranışlar sergileyen uygulamalara ağırlık verilmektedir. İnsan olgusunun mühendislik uygulamalarında yer alması için kullanılan adlandırma makine öğrenmesi olarak bilinmektedir [10, 26]. Genetik Algoritma (GA), Genetik Programlama (GP) ve Gen İfadesi Programlama (GEP) başlıca makine öğrenimi programlamalarıdır. Genetik programlama, karmaşık problemlere yeni çözümler üreten geleneksel genetik algoritmanın bir uzantısıdır ve Koza tarafından geliştirilmiştir [17]. Gen İfade Programlama ise Candida Ferreira tarafından

geliştirilen genetik programlama tekniğidir [8]. Son yıllarda kolon numunelerin gerilme şekil değiştirme ilişkilerini tahmin etmek amacıyla yapılan çalışmalarda Gen İfade Programlama ile yeni bağıntılar türetilmiştir. Örneğin Naderpour ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada FRP ile sargılı dairesel kesitli kolonların basınç dayanımı incelenmiştir [21]. Shishegaran ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise Ultrasonik Darbe Hızı (UPV) ve Yansıma Sayısı (RN) kullanılarak beton basınç dayanımını tahmin etmek için GEP model ile birlikte hibrit bir model oluşturulmuştur [32]. Alacali tarafından yapılan çalışmada ise CFRP ile sargılı normal dayanımlı dairesel kesitli beton silindirlerin eksenel basınç dayanımı ve şekil değiştirmesi için Gen İfade Programlama ile bir tahmin modeli sunulmuştur [2].

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli beton kolonlarda, sargılı kolonun basınç dayanımı için 484 adet, şekil değiştirmesi için 299 adet deneysel veri literatürden derlenmiş ve bu veri setleri %75 öğrenme ve %25 doğrulama olarak iki ayrı sete bölünmüştür. Yukarıda anılan parametreler göz önüne alınarak makine öğrenimi yöntemlerinden Gen İfadesi Programlama (GEP) (GeneXproTools 5, 2023.1) [9] kullanılarak FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonların basınç dayanımı ve şekil değiştirme değerinin tahmin edilmesine yönelik bağıntılar türetilmiş ve literatürde bulunan bağıntılarla istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Dikdörtgen kesitli numunelerin eksenel basınç altında fiber takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirilmesine yönelik deneysel araştırmalar, 20. yüzyıl sonlarına kadar olan bir geçmişe sahiptir. Bu bölümde söz konusu konuyla ilgili temel çalışmalar kronolojik sırayla özetlenmiştir.

Harajli ve Hantouche [14], elyaf takviyeli polimer (FRP) ile sargılı beton kolonların davranışını incelemişler ve dikdörtgen kesitli kolonlara odaklanmışlardır. Kolonların FRP ile sargılanmasının, kolonların eksenel yük taşıma kapasitesini, dayanıklılığını ve düktilitesini arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca FRP sargıların, beton malzemesinin erken zarar görmesini ve çelik donatıların deformasyonunu engelleyerek kolonun performansını iyileştirdiği görülmüştür. FRP ile sargılı

dikdörtgen kolonların gerilme ve şekil değiştirme özelliklerini kontrol eden önemli parametreler belirlenmiş ve bir tasarım modeli oluşturulmuştur. Modelin, deneylerle ve literatürdeki diğer verilerle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Al-Salloum [3], FRP ile sargılı küçük ölçekli kare beton kolonların dayanıklılığını inceleyerek deneysel ve ardından analitik sonuçlar elde etmiştir. FRP ile sargılı 20 adet beton numunenin yuvarlatma yarıçapı değerini arttırarak kesitin kareden daireye dönüştüğü tek eksende sıkıştırma deneyini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada kare kesitli kolonların köşelerinden yuvarlatılmasının, FRP kompozitlerin bu köşelerdeki kopmasını geciktirmekte önemli bir rol oynadığını ve FRP ile sargılama etkinliğinin kesitin yuvarlatma yarıçapı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir.

Rousakis vd. [28] tarafından, kare kesitli FRP ile sargılı 101 adet farklı basınç dayanımına sahip beton numunelerinin test edildiği bir deneysel program oluşturulmuştur. Deneyde FRP ile uygun şekilde sargılı kare beton kesitlerin yüksek dayanıklılığa ve düktilite seviyelerine ulaşabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, sahip cam takviyeli polimerin (GFRP), karbon takviyeli polimer (CFRP) ile karşılaştırıldığında dayanıklılık ve şekil değiştirme üzerinde daha az etkili olduğu belirlenmiştir. FRP ile sargılı örneklerin davranışını öngörmek amacıyla bir plastisite modeli geliştirilmiş ve bu model, diğer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Özbakkaloğlu ve Lim [23], beton kolonların güçlendirilmesinde FRP kompozitlerin kullanılabileceğini vurgulamış, kompozitlerin inşaat sektöründe potansiyel bir kullanım alanına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, FRP ile sargılı kare kesitli kolonların eksenel basınç altındaki davranışı incelenmiş, sargı etkisiyle, kare kesitli kolonların düktilitesinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Ayrıca FRP'nin kalınlığı ve yuvarlatma yarıçapının artmasıyla sargı etkinliğinin arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlarla, FRP kompozitlerin beton kolonların performansını artırmak için etkili bir yöntem olabileceği işaret edilmiştir.

Wang ve Wu [35], sargılı kolonların dayanımını incelemişlerdir. Çalışmada yuvarlatma yarıçapının FRP ile sargılı beton kolonların dayanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen basınç testlerinin sonuçları

irdelenmiştir. Bu sonuçlarda, yuvarlatma yarıçapı artışının sargılı betonun mukavemetinin artışıyla doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Wu ve Wei [37], karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile sargılı eksenel yük etkisi altında kısa dikdörtgen kolonların davranışını inceleyen bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. 45 numune üzerinde yapılan seri sıkıştırma testinde, uzun kenar / kısa kenar olarak tanımlanan kesit oranı ve CFRP kalınlığı değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Test sonuçları, kesit oranının artmasıyla sargılı beton kolonların dayanıklılık kazancının sargılanmamış kolonlara göre azaldığını ve kesit oranının 2'ye ulaşması durumunda önemsiz hale geldiğini açıkça göstermiştir. CFRP ile sıkıştırılmış dikdörtgen beton kolonlar için yeni bir dayanıklılık modeli geliştirme gerekliliği ortaya koyulmuştur.

Yeh ve Chang [38], karbon fiber takviyeli polimer CFRP ile sargılı dikdörtgen beton kolonları inceleyerek CFRP'nin kalınlığı, kesitin yuvarlatma yarıçapı ve kolon kesit uzunlukları oranının etkilerini gözlemlemişlerdir. Test sonuçlarında kolonun basınç dayanımının CFRP kalınlığının artmasıyla arttığını, buna karşın kolon yuvarlatma yarıçapı veya kolon kesit uzunlukları oranının artmasıyla azaldığını tespit etmişlerdir.

Nistico ve Monti [22], son on yılda yapılan araştırmaları incelediklerinde fiber takviyeli polimerler (FRP) ile sargılı dairesel beton kesitlerin davranışını inceleyen birçok çalışma olduğunu ancak kare ve dikdörtgen kesitlerle ilgili çalışma sayısının daha az olduğunu fark etmişlerdir. Kare ve dikdörtgen kesitlerin, binaların düşey ve yatay yükler açısından güçlendirilmesi gereken en yaygın kesit türleri olduğu göz önüne alınmış ve deneysel sonuçlara bağlı olarak regresyon analizi ile tahmin denklemleri geliştirilmiştir. Ancak bu denklemler altta yatan fiziksel fenomeniyi tam olarak açıklayamamıştır. Bu nedenle, gerçek doğasını anlamak amacıyla yeni bir analitik model önerilmiştir. Bu model, kare kesitlerin yanı sıra dairesel kesitleri de içermiş ve literatürde bulunan deneysel verilere karşı başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

Benzaid ve Mesbah [6], eksenel basınç yükü altında karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş kare kesitli ve donatılı 78 adet beton kolon üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, kare kesitli kolonlarda sargı etkisinin maksimum dayanıklılık ve düktilite açısından yapısal performansı

artırabileceğini göstermiştir. Sonrasında etkili yanal sıkıştırma basıncı ve etkili FRP gerilme katsayısı temel alınarak, FRP ile sargılı kare kesitli beton kolonların eksenel dayanımı ve buna karşılık gelen gerilimi tahmin etmek için yeni gerilme denklemleri önerilmiş ve bu denklemlerin deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiği kanıtlanmıştır.

Özbakkaloğlu ve Lim [24], kare ve dikdörtgen kesitli ultra yüksek mukavemetli fiber takviyeli polimer (FRP) ile sargılı kolonların eksenel basınç altındaki davranışını araştırmak amacıyla gerçekleştirilen deneysel bir programın sonuçlarını sunmuşlardır. Deneysel sonuçlar, FRP ile sargılı kare ve dikdörtgen kolonların son derece düktil bir davranış sergileyebileceğini ve FRP ile sargılama etkinliğinin yuvarlatma yarıçapının artması ve kesitin en-boy oranının bire yaklaşmasıyla arttığını göstermektedir. Ayrıca, mevcut FRP ile sargılı beton modellerinin daha yüksek beton dayanıklılığına sahip numuneler için iyi sonuç vermediği vurgulanarak yeni bir model önerilmiştir. Mevcut modellerle karşılaştırıldığında önerilen modelin FRP ile sargılı yüksek dayanıklı betonun gerilme ve şekil değiştirme değerlerini daha iyi tahmin ettiği belirtilmiştir.

Abbasnia ve Ziaadiny [1], karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile sargılı beton dikdörtgen kolonların monotonik davranışını esas alan deneysel çalışmanın sonuçlarını irdelemişlerdir. Çalışmada sargılı dikdörtgen kesitli kolonlarda en-boy oranı ve yuvarlatma yarıçapı değerlerindeki değişimin gerilme ve şekil değiştirme üzerindeki etkileri araştırılmış, anılan etkilerin kolonun davranışını büyük ölçüde etkilediği vurgulanmıştır. Deneysel sonuçlar hem kare hem de dikdörtgen kesitli numunelerde, sargılı betonun yuvarlatma yarıçapı değerinin artmasıyla basınç dayanımının arttığını göstermiştir. Daha yüksek en-boy oranlarına sahip numunelerde, kare numunelere kıyasla çok daha küçük bir dayanımın elde edildiği gösterilmiştir. Mevcut modellerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonucu sargılı dikdörtgen kolonlar için yeni bir gerilme modeline ihtiyaç duyulduğu gösterilmiştir.

Wang vd. [34], fiber takviyeli polimer (FRP) ile sargılı beton kolonların eksenel basınç davranışı üzerine yapılan araştırmaların genellikle küçük ölçekli numunelere dayandığını ve büyük ölçekli kolonlarla ilgili sınırlı sayıda çalışmanın yapıldığını vurgulamışlardır. Ayrıca, küçük ölçekli numunelerden elde edilen sonuçlara göre büyüklük etkisini değerlendiren sınırlı sayıda çalışma olduğunu da belirtmişlerdir.

Bu nedenle farklı boyutlardaki 23 adet FRP ile sargılı kare kolonlar eksenel basınca tabi tutularak deney sonuçları irdelenmiştir. Deneysel sonuçlar, FRP ile sargılı orta ve küçük boyutlu kolonların eksenel gerilme ve şekil değiştirme davranışı üzerinde numune boyutunun önemli bir etkisi olmadığını, büyük boyutlu kolonlar için ise tersi olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışmada boyut etkisini göz önünde bulunduran bir gerilme modeli sunulmuştur.

Zeng vd. [40], kare ve dikdörtgen kesitli beton kolonlarda fiber takviyeli polimerin (FRP) etkinliğini araştırmış, kare kolonlardaki FRP'nin dairesel kolonlardaki FRP'ye göre etkinliğinin daha az olmasının nedeninin, kolon içindeki FRP'nin düzensiz olmasıyla ilgili olduğunu vurgulamışlardır. Kare kesitli kolonların daireselleştirilmesinin, FRP'nin etkinliğini arttırdığını ve kare kolonları kısmi FRP ile güçlendirmenin, tamamen FRP ile güçlendirme tekniğine alternatif bir umut vadeden ve ekonomik bir seçenek olduğunu göstermişlerdir.

Isleem vd. [16], gerçekleştirdikleri bir dizi testin sonuçları ve literatürden derlenen mevcut deneysel sonuçları da dikkate alınarak karbon fiber takviyeli polimerle (CFRP) sargılı dikdörtgen beton kolonlar için eksenel basınç altında bir gerilme modeli sunmuşlardır. Önerilen modelde kesitin en-boy oranı ve CFRP'nin etkili kopma gerilmesi gibi önemli parametre etkileri dikkate alınmıştır. Modelin performansı, seçilen deney sonuçlarıyla ve araştırmacıların model tahminleriyle karşılaştırılmıştır.

Zeng vd. [41], fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitlerle dıştan sargılanan kısa kare betonarme kolonların eksenel basınç davranışına odaklanmışlardır. Önemli parametrelerin etkilerini incelemek için, normal kolonları ve FRP ile sargılanan kolonları içeren 16 adet beton kolon üzerinde kapsamlı bir deneysel program gerçekleştirilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, FRP ile sargı etkisinin kolonların dayanımını önemli ölçüde artırdığını ve artan dayanımın FRP kalınlığı ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Test sonuçları, mevcut modellerden elde edilen tahminlerle karşılaştırılmış ve FRP ile sargılı kare kolonların davranışını daha iyi temsil etmek için bir gerilme modeli önerilmiştir.

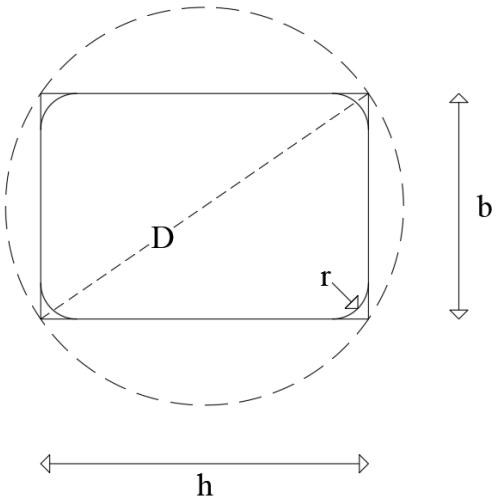
Diego vd. [7], FRP ile sargı etkisinin etkili nihai gerilme değerini doğru bir şekilde tahmin etmede önemli bir rol oynadığını vurgulamışlardır. Ancak bu konu hakkında teorik modellerin ve yayınlanmış tasarım önerilerinin özellikle dairesel olmayan

kesitler için farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Bunun üzerine FRP ile sargılı 38 kare kesitli beton numunesi üzerinde yürütülen bir deneysel çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, yuvarlatma yarıçapının FRP ile sargılı kare kesitli kolonların davranışı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmanın sonunda deneysel olarak elde edilen etkili nihai gerilme değerleri, tasarım kodları tarafından önerilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

2
METARYAL VE YÖNTEM

2.1 Deney Verilerinin Analizi

FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolon numunelerin basınç dayanımını (f_{cc}) tahmin etmek amacıyla literatürden derlenmiş farklı araştırmacılar tarafından yayınlanmış kaynaklardan derlenmiş 420 adet CFRP (karbon lif takviyeli elyaf), 10 adet AFRP (aramid lif takviyeli elyaf), 16 adet GFRP (cam lif takviyeli elyaf), 20 adet PET (polietilen naftalat) ve 18 adet PEN (polietilen tereftalat) olmak üzere toplam 484 adet deney numunesine ilişkin parametrelerin değerleri çalışmanın ekler bölümünde Tablo EK.1'de verilmiştir. Deney parametreleri olarak Şekil 2.1'de görülen dikdörtgen kesitli beton kolonun kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), beton basınç dayanımı (f_{co}), FRP çekme elastisite modülü (E_f), FRP kalınlığı (nt_f), ve FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$) göz önüne alınmıştır. Son sütunda görülen (f_{cc}) değerleri ise sargılı beton kolon numunelerinin eksenel basınç dayanımlarını göstermektedir. Ayrıca Tablo 2.1'de söz konusu parametrelerin minimum ve maksimum aralıkları da özet şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Dikdörtgen kesitli kolonların şematik gösterimi [4]

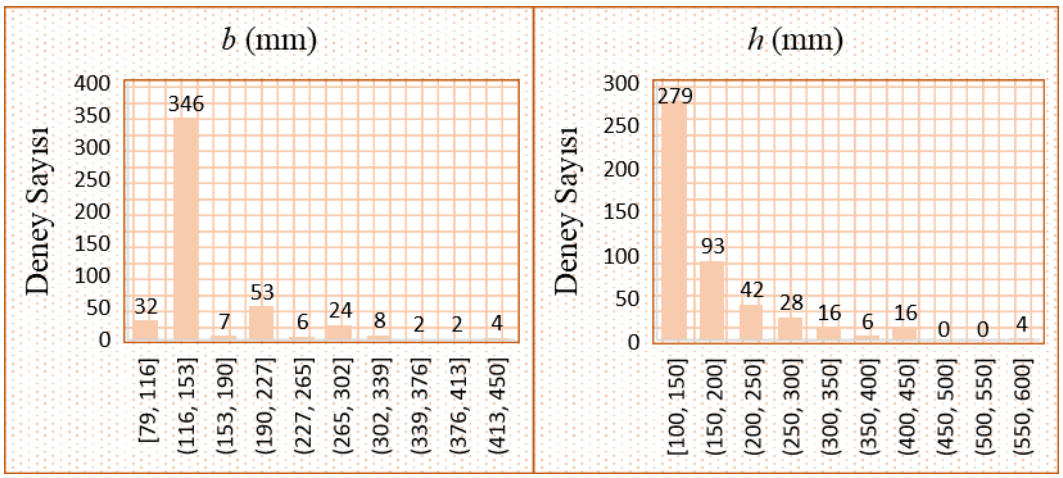
Tablo 2.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları

Kaynak	Numune Sayısı (484)	b (mm)	h (mm)	r (mm)	f_{co} (MPa)	E_f (MPa)	nt_f (mm)	$\varepsilon_{h,rup}$	f_{cc} (MPa)
		Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.
		Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.
Rochette ve Labossière [27] (2000)	17	152	152 203	5 38	35.8 43.9	14000 83000	0.9 5.04	0.0078 0.0088	47.5 68.7
Harajli ve Hantouche [14] (2006)	18	79 132	132 214	15	18.3	230000	0.13 0.39	0.0078	18.5 47
Rousakis vd. [28] (2007)	30	200	200	30	33 40	65000 240000	0.12 1.26	0.0081 0.0146	37.7 61.5
Lam ve Teng [19] (2003)	16	150 200	150 225	15 25	24 41.5	257000	0.17 0.85	0.0092	33 95
Masia vd. [20] (2004)	15	100 150	100 150	25	21.3 25.7	230000	0.26	0.0078	35.5 56.2
Wang ve Wu [35] (2008)	72	150	150	0 60	29.3 55.2	219000 226000	0.17 0.34	0.0100 0.0104	30.8 90.9
Wu ve Wei [37] (2010)	30	150	150 300	30	35.3	229000	0.17 034	0.0096	35.2 62.3
Wang vd. [34, 36] (2012-2016)	26	100 400	100 400	21.1	25.7	240000	0.17 0.68	0.0095	17.2 44.6
Shehata vd. [31] (2002)	4	150	150	10	23.7 29.5	235000	0.17 0.34	0.0078	27.4 43.7
İlki ve Kumbasar [15] (2003)	6	250	250	40	32.8	230000	0.17 0.85	0.0078	32.3 56.7
Al-Salloum [3] (2007)	8	150	150	5 50	26.7 31.8	75000	1.2	0.0065	41.2 63.7
Tao vd. [33] (2008)	11	150	150	20 50	19.5 49.5	239000	0.17 0.34	0.0098	33.5 86.1
Pessiki vd. [25] (2001)	2	152	152 435	25 65	24.3 43.4	381000 259700	0.17 2	0.0078 0.0091	29.6 55.1
Zeng vd. [40, 41] (2017-2018)	10	168 290	168 435	25 65	24.3 43.4	240000 259700	0.17 2.04	0.0089 0.0091	29.6 68.4
Özbakkaloğlu ve Lim [23, 24] (2007-2013)	30	112.5 200	150 225	10 40	26.7 110.8	240000	0.36 1.87	0.0081	24.7 119.6
Benzaid ve Mesbah [6] (2013)	48	140	140	16	26 62	34000	1 3	0.0073	27.66 79.6
Yeh ve Chang [38] (2012)	28	150 450	150 600	30	20.6	230540	0.28 1.12	0.0078	25.42 57.03
Abbasnia ve Ziaadiny [1] (2015)	20	90 150	150 180	13.6 42	32 51.5	246000	0.35	0.0089	38.69 65.02
Han vd. [12] (2020)	38	150	150	0 60	23.4 24.9	17900 27000	0.84 2.54	0.0303 0.0434	20 97.4
Diego vd. [7] (2019)	12	150	150	20 40	41	237000	0.13 0.39	0.0092	41.2 94.6
Nistico ve Monti [22] (2013)	20	150	150	0 60	30.7 54.1	230000	0.17 0.34	0.0078	32.2 89.8

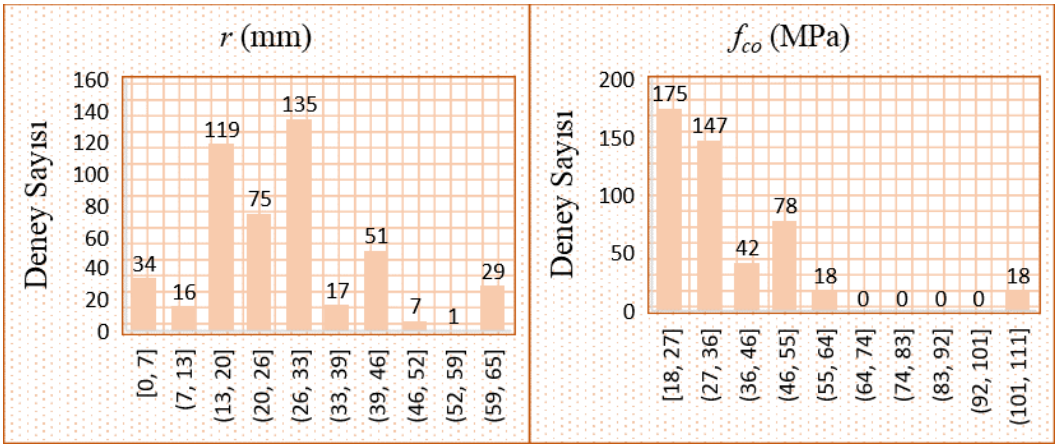
Tablo 2.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

Hany vd. [13] (2015)	9	130 160	160 200	10	17.6 20.2	230000	0.13 0.39	0.0078	16 24.8
Isleem vd. [16] (2018)	8	200	300 400	30 40	46.3	240000	0.34 0.68	0.0085	30 47.4
Zhu vd. [43] (2020)	6	150 300	150 300	25 50	25.7 32	234000 246000	0.34 0.68	0.0087 0.0102	46.2 58.2

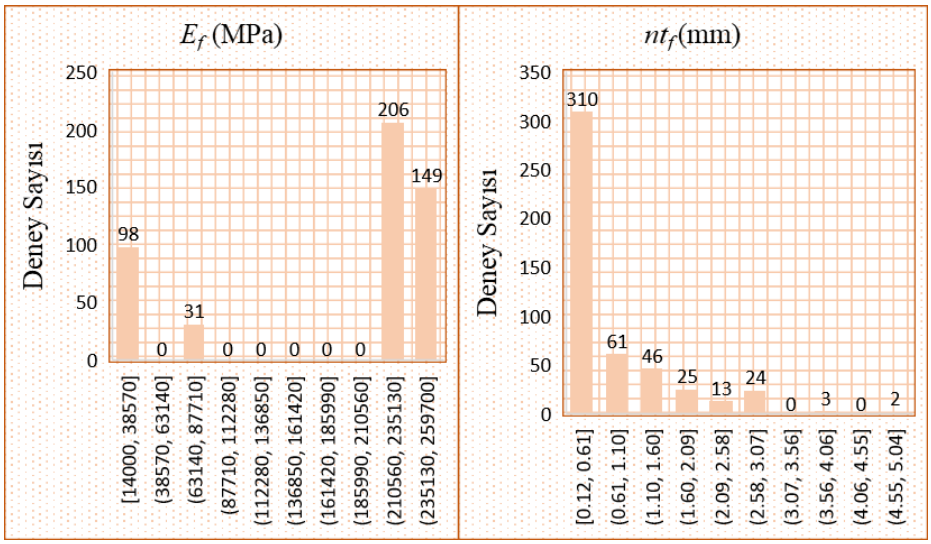
FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonun basınç dayanımı (f_{cc}) için GEP ile önerilen bağıntının türetilmesinde göz önüne alınan 484 adet deney numunesinin parametrelerinin dağılımları aşağıda gösterilmiştir.



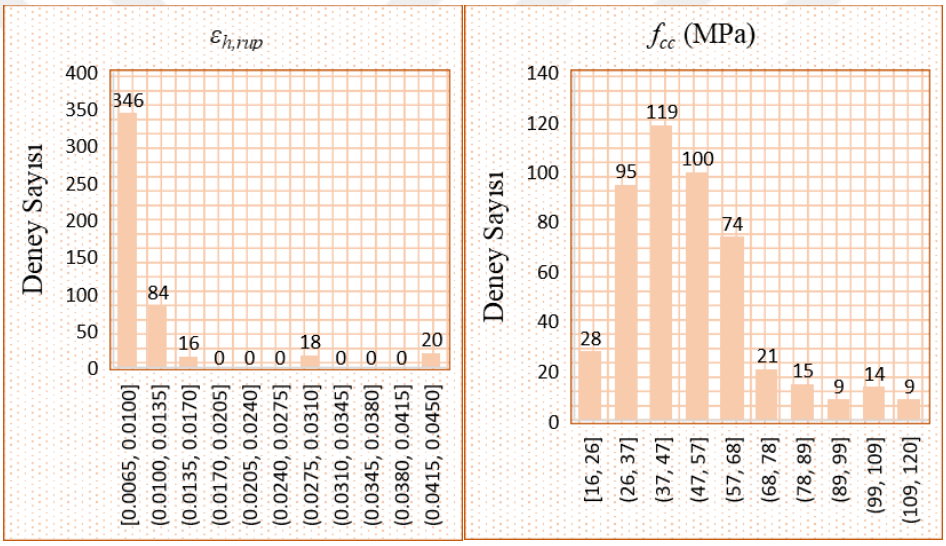
Şekil 2.2 f_{cc} için deney numunelerinin b ve h parametrelerinin dağılımları



Şekil 2.3 f_{cc} için deney numunelerinin r ve f_{co} parametrelerinin dağılımları



Şekil 2.4 f_{cc} için deney numunelerinin E_f ve nt_f parametrelerinin dağılımları



Şekil 2.5 f_{cc} için deney numunelerinin $\varepsilon_{h,rup}$ ve f_{cc} parametrelerinin dağılımları

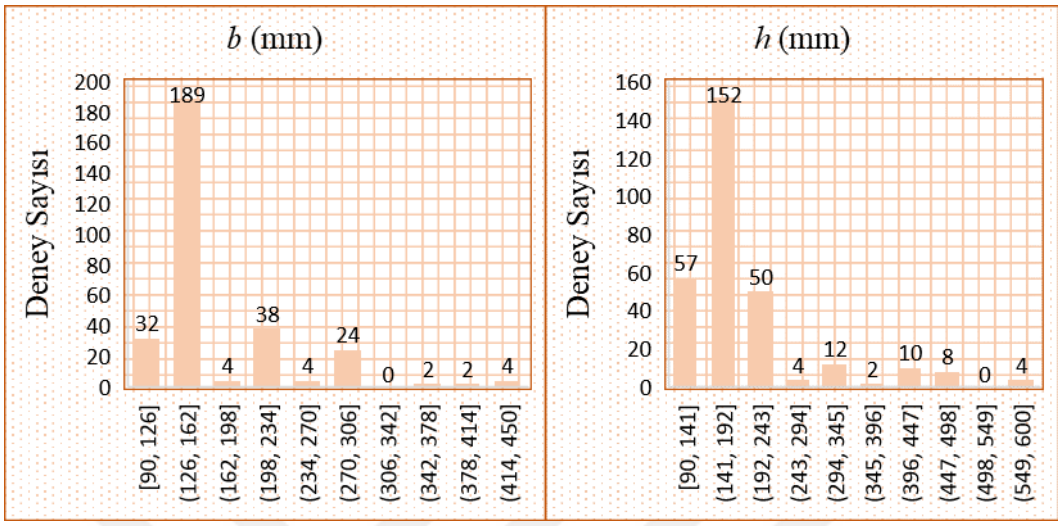
Yukarıda görüldüğü gibi kısa kenar uzunluğu b, 346 adet numune ile 116-153 mm aralığında en fazla sayıda, 4 adet numune ile 339-413 mm aralığında en az sayıda bulunmaktadır. Dolayısıyla 116-153 mm aralığındaki numune sayısı toplam numunenin %71.49'unu, 339-413 mm aralığındaki numune sayısı ise toplam numunenin %0.83'ünü oluşturmaktadır. Uzun kenar uzunluğu h, 297 adet numune ile 100-150 mm aralığında en fazla sayıda bulunmaktadır ve toplam numunenin %61.36'sını oluşturmaktadır. 450-550 mm aralığında numune bulunmamaktadır. Yuvarlatma yarıçapı r, değerleri 0-65mm aralığında değişkenlik göstermektedir. Beton basınç dayanımı f_{co}, ortalaması 35.55 MPa'dır. FRP çekme elastisite modülü (E_f), 206 adet numune ile 210560-235130 MPa aralığında en fazla sayıda bulunmaktadır ve toplam numunenin % 42.56'sını oluşturmaktadır. FRP kalınlığı (nt_f), ortalaması 0.87 mm'dir. FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri

($\varepsilon_{h,rup}$), 346 adet numune ile 0.0065-0.01 aralığında en fazla sayıda bulunmaktadır ve toplam numunenin %71.49'unu oluşturmaktadır. FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonun basınç dayanımı (f_{cc}), 119 adet numune ile 37-47 MPa aralığında en fazla sayıda, 9 adet numune ile 109-120 MPa aralığında en az sayıda bulunmaktadır. Dolayısıyla 37-47 MPa aralığındaki numune sayısı toplam numunenin %24.59'unu, 109-120 MPa aralığındaki numune sayısı ise toplam numunenin %1.86'sını oluşturmaktadır.

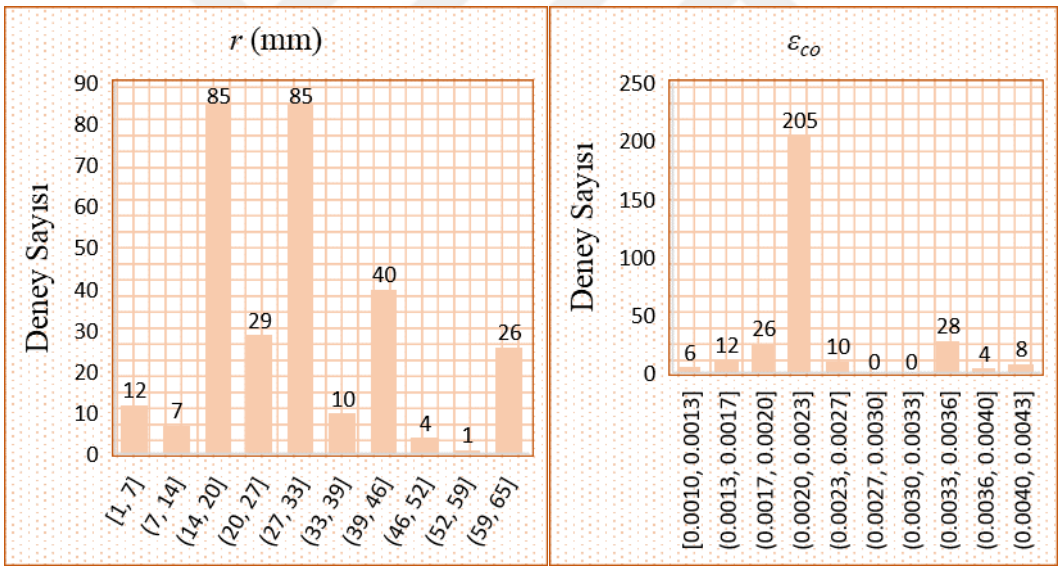
Tablo 2.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları

Kaynak	Numune Sayısı (299)	b (mm)	h (mm)	r (mm)	ε_{co}	f_{co} (MPa)	E_f (MPa)	nt_f (mm)	$\varepsilon_{h,rup}$	ε_{cc}
		Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.
		Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.	Mak.
Rousakis vd. [28] (2007)	30	200	200	30	0.0015 0.0022	33 40	65000 240000	0.12 1.26	0.0081 0.0146	0.0022 0.0206
İlki ve Kumbasar [15] (2003)	4	250	250	40	0.0017	32.8	230000	0.51 0.85	0.0078	0.018 0.029
Wang ve Wu [32] (2008)	28	150	150	15 60	0.002	29.3 53.9	219000 225700	0.17 0.34	0.0100 0.0104	0.0091 0.0326
Wang vd. [34, 36] (2012-2016)	12	100 400	100 400	10 55	0.002	21.1 25.7	240000	0.17 0.68	0.0095	0.0111 0.0282
Masia vd. [20] (2004)	6	125 150	125 150	25	0.002	23.9 24.4	230000	0.26	0.0078	0.0106 0.0172
Pessiki vd. [25] (2001)	2	152	152	38	0.002	26.4	38100	1 2	0.0078	0.0133 0.0170
Tao vd. [33] (2008)	1	150	150	35	0.002	49.5	241000	0.34	0.0091	0.0208
Al-Salloum [3] (2007)	4	150	150	38 50	0.002	26.7 30.3	75000	1.2	0.0065	0.0079 0.0111
Zeng vd. [41, 42] (2017-2018)	10	168 290	168 435	25 65	0.0024 0.0025	24.3 43.4	240000 259700	0.17 2.04	0.0089 0.0091	0.0038 0.0437
Özbakkaloğlu ve Lim [23, 24] (2007-2013)	30	112.5 200	150 225	10 40	0.0022 0.0035	26.7 110.8	240000	0.36 1.87	0.0081	0.0143 0.0393
Benzaid ve Mesbah [6] (2013)	48	140	140	16	0.001 0.0043	26 62	34000	1 3	0.0073	0.0018 0.0090
Yeh and Chang [38] (2012)	28	150 450	150 600	30	0.002	20.6	230540	0.28 1.12	0.0078	0.012 0.0233
Abbasnia and Ziaadiny [1] (2015)	20	90 150	90 150	13.6 42	0.002	32 51.5	246000	0.35	0.0089	0.0079 0.0205
Han vd. [12] (2020)	38	150	1 60	1 60	0.0021	23.4 24.9	17900 27000	0.84 2.54	0.0303 0.0434	0.0404 0.0899
Diego vd.[7] (2019)	12	150	150	20 40	0.002	41	237000	0.13 0.39	0.0092	0.0058 0.0211
Nistico ve Monti [22] (2013)	20	150	150	1 60	0.002	30.7 54.1	230000	0.17 0.34	0.0078	0.0050 0.0176
Zhu vd. [43] (2020)	6	150 300	150 300	25 50	0.002	25.7 32	234000 246000	0.34 0.68	0.0087 0.0102	0.0177 0.0351

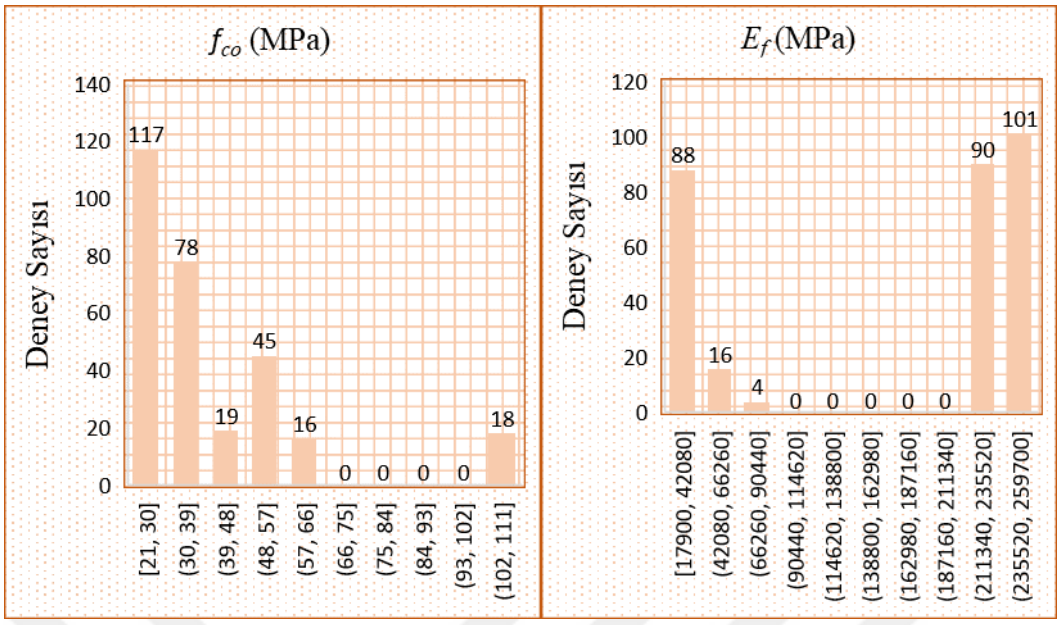
FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonun şekil değiştirmesi (ε_{cc}) için GEP ile önerilen bağıntının türetilmesinde göz önüne alınan 299 adet deney numunesinin parametrelerinin dağılımları aşağıda gösterilmiştir.



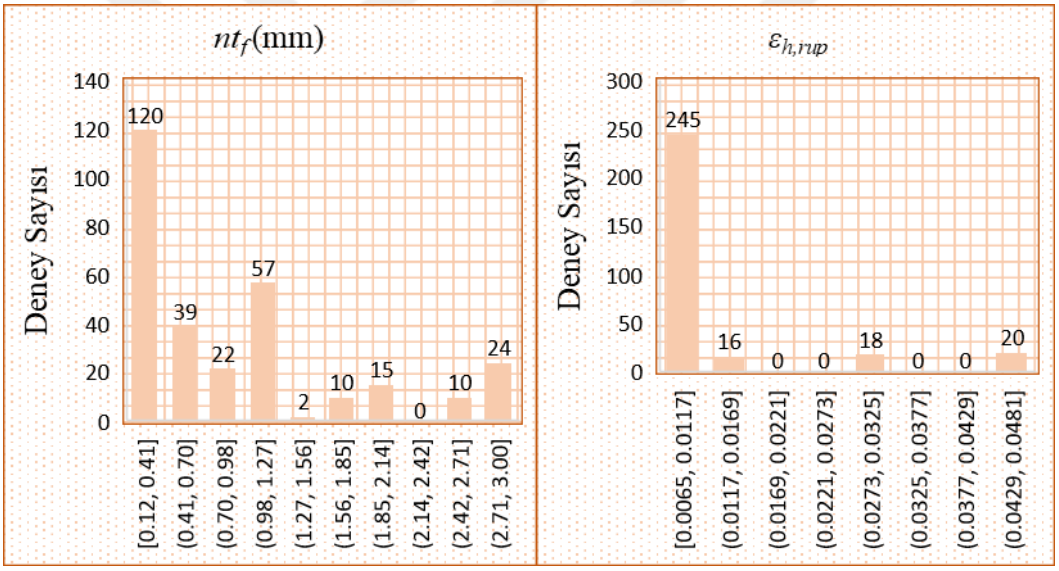
Şekil 2.6 ε_{cc} için deney numunelerinin b ve h parametrelerinin dağılımları



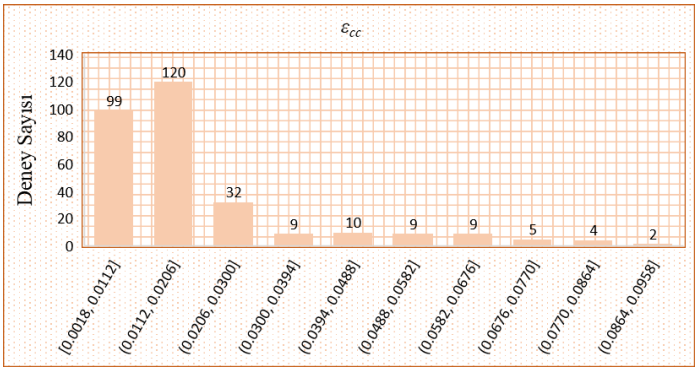
Şekil 2.7 ε_{cc} için deney numunelerinin r ve ε_{co} parametrelerinin dağılımları



Şekil 2.8 ε_{cc} için deney numunelerinin f_{co} ve E_f parametrelerinin dağılımları



Şekil 2.9 ε_{cc} için deney numunelerinin nt_f ve $\varepsilon_{h,rup}$ parametrelerinin dağılımları



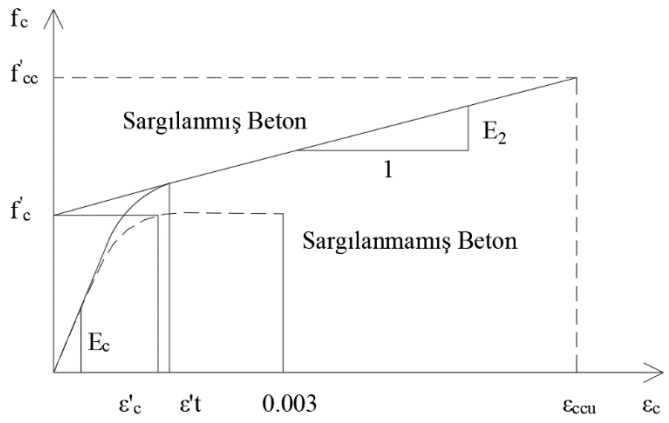
Şekil 2.10 ε_{cc} için deney numunelerinin ε_{cc} parametresinin dağılımı

Yukarıda görüldüğü gibi kısa kenar uzunluğu b, 189 adet numune ile 126-162 mm aralığında en fazla sayıda, 4 adet numune ile 378-414 mm aralığında en az sayıda bulunmaktadır. Dolayısıyla 126-162 mm aralığındaki numune sayısı toplam numunenin %63.21'ini, 378-414 mm aralığındaki numune sayısı ise toplam numunenin %1.34'ünü oluşturmaktadır. Uzun kenar uzunluğu h, 152 adet numune ile 141-192 mm aralığında en fazla sayıda bulunmaktadır ve toplam numunenin %50.84'ünü oluşturmaktadır. 498-549 mm aralığında numune bulunmamaktadır. Yuvarlatma yarıçapı $\boldsymbol{r}$, değerleri 0-65mm aralığında değişkenlik göstermektedir. Betonun şekil değiştirme değeri (ε_{co}), ortalaması 0.0023'tür. Beton basınç dayanımı f_{co}, ortalaması 39.34 MPa'dır. FRP çekme elastisite modülü (E_f), 101 adet numune ile 235520-259700 MPa aralığında en fazla sayıda bulunmaktadır ve toplam numunenin % 33.78'ini oluşturmaktadır. FRP kalınlığı (nt_f), ortalaması 0.94 mm'dir. FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$), 245 adet numune ile 0.0065-0.0117 aralığında en fazla sayıda bulunmaktadır ve toplam numunenin %81.94'ünü oluşturmaktadır. FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonun şekil değiştirmesi (ε_{cc}) 120 adet numune ile 0.0112-0.0206 aralığında en fazla sayıda, 2 adet numune ile 0.0864-0.0958 aralığında en az sayıda bulunmaktadır. Dolayısıyla 0.0112-0.0206 aralığındaki numune sayısı toplam numunenin %40.13'ünü, 0.0864-0.0958 aralığındaki numune sayısı ise toplam numunenin %0.67'sini oluşturmaktadır.

2.2 FRP ile Sargılı Dikdörtgen Kesitli Kolonlar İçin Mevcut Bağıntılar

FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonların beton basınç dayanımı ve şekil değiştirme değerlerine ilişkin farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş ve literatürde yer alan mevcut bağıntılar aşağıda açıklanmış ve Tablo 2.3 ve 2.4'te özetlenmiştir.

ACI 440-2R [4], Amerikan Beton Enstitüsü yönetmeliğinde Lif Takviyeli Polimer (FRP) ile güçlendirmenin ilgili mühendislik uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılmasına rehberlik etmek amacıyla FRP malzemelerinin tasarım ve uygulama süreçlerine yönelik güncel ve kapsamlı bilgiler sunulmuştur. Bu yönetmelik çerçevesinde, FRP ile sargılı betonun gerilme-birim deformasyon dağılımı Şekil 2.11'de gösterilmiş ve konuyla ilgili bağıntılar aşağıda kısaca özetlenmiştir.



Şekil 2.11 FRP ile sargılı betonun gerilme-birim deformasyon diyagramı [4]

ACI 440-2R [4]'e göre, sargılı betonun basınç dayanımı (f'_{cc}) ve sargı basıncı (f_l) sırasıyla denklem 1 ve 2 ile hesaplanmaktadır. Denklemlerde ek indirgeme faktörü (Ψ_f) 0.95 olarak alınmıştır.

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 \kappa_a f_l \tag{1}$$

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D} \tag{2}$$

(1) denkleminde f'_c, sargısız betonun basınç dayanımını ve (κ_a) kesitin geometrisini hesaba katan şekil katsayısı olarak ifade edilmiştir. Dairesel olmayan kesitler için kolon enkesit çapı (D) değeri denklem 3'te gösterildiği gibi dikdörtgen kesitin köşegenine eşdeğer kabul edilmiştir.

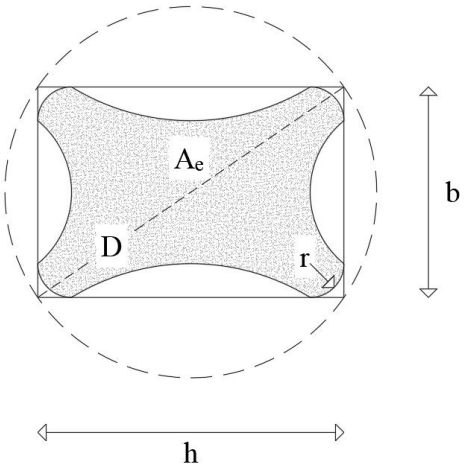
$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \tag{3}$$

Şekil katsayısı, beton kesitin etkili sargı alanı (A_e) ve kesitin boyutlarına bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{b}{h}\right)^2 \tag{4}$$

(4) denklemindeki A_e değeri için genellikle kabul edilen teorik yaklaşım Şekil 2.12'de görüldüğü gibi, betonun tamamen sınırlı olduğu dört parabolden oluşan etkili sargı alanıdır. Bu alan, dikdörtgen kesitli kolonun kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r) ve boyuna çelik donatı oranına

(ρ_g) bağlı olarak aşağıdaki denklem (5) ile ifade edilmiştir. Ayrıca denklemdeki A_c, basınç altındaki betonun kesit alanını ve A_g, brüt beton kesitin alanını göstermektedir.



Şekil 2.12 Etkili sargı alanı, A_e [4]

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left(\left(\frac{b}{h}\right)(h-2r)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2r)^2\right)}{3A_g} - \rho_g}{1-\rho_g} \tag{5}$$

Bu çalışmada FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$), ACI 440-2R [4] yönetmeliğinde öngörülen etkili şekil değiştirme değeri (ε_{fe}) olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada önerilen bağıntıların türetilmesinde gözönüne alınan ve Tablo 1.1 ve 1.2'de görülen $\varepsilon_{h,rup}$ değerleri lif takviyeli polimerin tasarım kopma birim uzamasının (ε_{fu}), $\eta = 0.55$ ile çarpılması ile elde edilmiştir.

$$\varepsilon_{fe} = \eta \varepsilon_{fu} \tag{6}$$

(6) bağıntısındaki lif takviyeli polimerin tasarım kopma birim uzaması ε_{fu} ise üretici tarafından verilen lif takviyeli polimerin tasarım kopma birim uzamasının (ε^*_{fu}), çevresel azaltma faktörü ($C_E = 0.95$) ile çarpılması ile elde edilmiştir.

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon^*_{fu} \tag{7}$$

Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{ccu}), denklem (8) ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f'_c}\left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c}\right)^{0.45}\right) \quad (8)$$

(8) denkleminde ε'_c, sargısız betonun şekil değiştirme değeri, (κ_b) ise şekil katsayısı ifade eder. Dairesel olmayan kesitler için kolon enkesit çapı (D) değeri denklem 3'te gösterildiği gibi dikdörtgen kesidin köşegenine eşittir. (8) denkleminde yer alan şekil katsayısı (κ_b), beton kesitin etkili sargı alanı A_e ve kesitin en/boy oranına bağlı olarak, (9) denklemi ile ifade edilir.

$$\kappa_b = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{h}{b}\right)^{0.5} \quad (9)$$

Lam ve Teng [19], fiber takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirme işleminin beton yapı elemanları üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Güçlendirme sisteminin tasarım ve performans özelliklerine odaklanmışlardır. Bu araştırmacılar tarafından Denklem 10 ve 11'de basınç dayanımı ve şekil değiştirme bağıntıları önerilmiştir.

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 3.3k_{s1}\frac{f_l}{f_{co}}\right) \quad (10)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1.75 + 12k_{s2}\frac{f_l}{f_{co}}\left(\frac{\varepsilon_{frp}}{\varepsilon_{co}}\right)^{0.45}\right) \quad (11)$$

Yukarıdaki bağıntılardaki k_{s1} ve k_{s2} şekil katsayıları, A_e, etkili sargı alanı ve A_c, basınç altındaki betonun kesit alanına bağlı olmak üzere (12) ve (13) bağıntılarıyla ifade edilmiştir.

$$k_{s1} = \left(\frac{b}{h}\right)^2 \frac{A_e}{A_c} \quad (12)$$

$$k_{s2} = \left(\frac{h}{b}\right)^{0.5} \frac{A_e}{A_c} \quad (13)$$

Shehata vd. [31], fiber takviyeli polimer (FRP) malzemelerin kullanımının beton yapı elemanlarındaki çatlak kontrolü ve dayanıklılık performansına etkilerini

araştırmışlardır. Kare ve dikdörtgen kesitler için ayrı ayrı olmak üzere basınç dayanımı bağıntıları oluşturulmuştur.

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 0.85\frac{f_l}{f_{co}}\right)\ kare\ kolonlar\ için \tag{14}$$

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 0.7\frac{f_l}{f_{co}}\right)\ dikdörtgen\ kolonlar\ için \tag{15}$$

Şekil değiştirme değeri için de kare ve dikdörtgen kesitler için birbirinden farklı olarak iki bağıntı üretilmiştir.

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + 13.5\frac{f_l}{f_{co}}\right)\ kare\ kolonlar\ için \tag{16}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + 12.4\frac{f_l}{f_{co}}\right) dikdörtgen\ kolonlar\ için \tag{17}$$

İlki ve Kumbasar [15], diğer araştırmacılar ile benzer konu üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda sargılı betonun gerilme ve şekil değiştirme değerlerini veren formüller üretilmiştir.

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.4\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{1.2}\right) \tag{18}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + 20\left(\frac{h}{b}\right)\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.5}\right) \tag{19}$$

Al-Salloum [3], sadece sargılı betonun basınç dayanımını veren bir bağıntı üretmiştir. Sargılama basıncı (f_l) denklem 20'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Dairesel olmayan kesitler için kolon enkesit çapı (D) değeri diğer araştırmacılardan farklı olarak yuvarlatma yarıçapını da dikkate alarak denklem 21'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır.

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_f}{D} k_e \tag{20}$$

$$D = \sqrt{2}b - 2r(\sqrt{2} - 1) \tag{21}$$

k_e, şekil katsayısı kısa kenar uzunluğu (b) ve yuvarlatma yarıçapının (r) bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$k_e = 1 - \frac{2}{3} * \left(\left(\frac{b}{h}\right)(h - 2r)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b - 2r)^2\right) \tag{22}$$

$$f_{cc} = f_{co} * \left(1 + 3.14 \frac{b}{D} \frac{f_l}{f_{co}}\right) \tag{23}$$

Wang ve Wu [35], fiber takviyeli polimer (FRP) ile sargılı kenar uzunluğu 150 mm olan kare kesitli numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri deney sonucunda gerilme değerini veren bir bağıntı üretilmiştir. Bağıntıdaki ρ, yuvarlatma yarıçapının iki katının kenar uzunluğuna oranını ifade etmektedir.

$$\rho = 2r/b \tag{24}$$

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.23\rho^{0.73}\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.96}\right) \tag{25}$$

Nistico ve Monti [22], deney sonuçlarına dayanarak sargılı betonun gerilme değerini ifade eden matematiksel formül üretmişlerdir.

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.09 \frac{f_l}{f_{co}}\right) \tag{26}$$

Wu ve Wei [37], karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile sargılı 45 adet numunen deney sonuçlarına dayanarak gerilme ve şekildeğiştirme değerleri için matematiksel ifadeler geliştirmişlerdir. Sargılama basıncı (f_l) değerini elde ederken diğer araştırmacılardan farklı olarak payda kısmında kolon enkesit çapı (D) yerine kesitin kısa kenar uzunluğu (b) dikkate alınmıştır.

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{h,rup}}{b} \tag{27}$$

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.22\left(\frac{2r}{b}\right)^{0.72}\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.94}\left(\frac{b}{h}\right)^{-1.9}\right) \tag{28}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1.75 + 12\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.75}\left(\frac{f_{30}}{f_{co}}\right)^{0.62}\left(0.36 * \frac{2 * r}{b} + 0.64\right)\left(\frac{h}{b}\right)^{-0.3}\right) \tag{29}$$

Youssef vd. [39], yaptıkları araştırmalara dayanarak sargılı betonun gerilme özelliklerini belirlemek amacıyla bir matematiksel formül geliştirmişlerdir.

$$f_{cc} = f_{co}\left(0.5 + 1.225\left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^{3/5}\right) \tag{30}$$

Kumutha vd. [18], deneysel çalışma yapmadan gerçekleştirdikleri araştırmaları temel alarak, sagılanmış betonun basınç dayanımını ifade eden matematiksel bir bağıntı geliştirmişlerdir.

$$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 0.93\frac{f_l}{f_{co}}\right) \tag{31}$$

Wang vd. [34], fiber takviyeli polimer (FRP) ile sargılı dikdörtgen kesitli betonlar için gerilme değerini ifade eden denklem oluşturmuşlardır. κ_a, şekil katsayısı, kısa kenar uzunluğu (b), yuvarlatma yarıçapı (r), boyuna çelik donatı oranı (ρ_g) ve kesit alanının (A_g) bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$\kappa_a = \left(1 - \frac{2(b-r^2)}{3A_g} - \rho_g\right)/(1-\rho_g) \tag{32}$$

$$f_{cc} = f'_c \psi_f 3.3\kappa_a f_l \tag{33}$$

Benzaid ve Mesbah [6], yaptıkları deneyler ışığında sargılı dikdörtgen kesitler için basınç dayanımı ve şekil değiştirme değerini veren istatistiksel ifadeler üretmişlerdir.

$$f_{cc} = f_{co} + 0.58 f_l \tag{34}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(2 + 4\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)\right) \tag{35}$$

Özbakkaloğlu ve Lim [24], sargılı betonun beton basınç dayanımını ve şekil değiştirme değerini aşağıdaki formüller ile ifade etmişlerdir.

$$f_{cc} = f'_{co} + k_1(k_{e1}K_l - K_{lo})\varepsilon_{h,rup} \tag{36}$$

$$\varepsilon_{cc} = c_1 * \varepsilon_{co} + k_2 * k_{e2} * \left(\frac{K_l}{f_{co}}\right)^{0.9} * {\varepsilon_{h,rup}}^{1.35} \tag{37}$$

Burada k_1 ve k_2 sırasıyla gerilme ve şekil değiştirme artış oranlarıdır. Her bir hesap yöntemi için k_1=4.1 ve k_2=0.27 olarak belirlenmiştir. Denklem 36 ve 37'deki k_{e1} ve k_{e2} şekil katsayılarıdır. Kısa kenar (b), uzun kenar (h), yuvarlatma yarıçapı (r) ve eşdeğer kesit boyutunun (d_e) fonksiyonudur.

$$k_{e1} = \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.56}\left(\frac{2r}{d_e}\right)^{0.67} \tag{38}$$

$$k_{e2} = \left(\frac{h}{b}\right)^{0.22}\left(2 - \frac{2r}{d_e}\right)^2\left(\frac{2r}{d_e}\right) \tag{39}$$

$$d_e = \sqrt{(h^2 + b^2)/2} \tag{40}$$

K_l ve K_{lo} sırasıyla sargılama rijitliği ve eşik sargılama rijitliğini c_1, beton dayanım faktörünü ve $\varepsilon_{h,rup}$, FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ifade etmektedir.

$$c_1 = 2 - \left(\frac{f'_{co} - 20}{100}\right) \tag{41}$$

$$K_l = \frac{2E_f ntf}{d_e} \tag{42}$$

$$K_{lo} = 73.7e^{0.027f'_{co}} \tag{43}$$

$$\varepsilon_{h,rup} = k_s \varepsilon_f \tag{44}$$

k_s, şekil değiştirme azaltma katsayısı olup beton basınç dayanımı (f_{co}) ve FRP çekme elastisite modülünün (E_f) matematiksel bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$k_s = 0.9 - 2.3f'_{co} * 10^{-3} - 0.75E_f * 10^{-6} \tag{45}$$

Tablo 2.3 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton basınç dayanımı bağıntıları

ACI 440-2R [4] (2017)	$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3\kappa_a f_l$ $\psi_f = 0.95$ $\kappa_a = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{b}{h}\right)^2$ $\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left(\left(\frac{b}{h}\right)(h-2r)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2r)^2\right)}{3A_g} - \rho_g}{1-\rho_g}$ $f_l = \frac{2E_f nt_f \varepsilon_{fe}}{D}$ $D = \sqrt{b^2 + h^2}$ $\varepsilon_{fe} = \eta\varepsilon_{fu}$ $\eta = 0.55$ $\varepsilon_{fu} = C_E\varepsilon^*_{fu}$ $C_E = 0.95$

Tablo 2.3 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton basınç dayanımı bağıntıları (devamı)

Lam ve Teng [19] (2003)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 3.3k_{s1}\frac{f_l}{f_{co}}\right)$ $k_{s1} = \left(\frac{b}{h}\right)^2 \frac{A_e}{A_c}$ $\eta = 0.586$
Shehata vd. [31] (2002)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 0.85\frac{f_l}{f_{co}}\right)\ kare\ kolonlar\ için$ $f_{cc} = f_{co}\left(1 + 0.7\frac{f_l}{f_{co}}\right)\ dikdörtgen\ kolonlar\ için$
İlki ve Kumbasar [15] (2003)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.4\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{1.2}\right)$
Al-Salloum [3] (2007)	$f_{cc} = f_{co} * \left(1 + 3.14\frac{b}{D}\frac{f_l}{f_{co}}\right)$ $f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_f}{D} k_e$ $D = \sqrt{2}b - 2r(\sqrt{2} - 1)$ $k_e = 1 - \frac{2}{3} * \left(\frac{\left(1 - 2\frac{r}{b}\right)^2}{1 - (4 - \pi)(\frac{r}{b})^2}\right)$
Wang ve Wu [35] (2008)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.23\rho^{0.73}\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.96}\right)$ $\rho = 2r/b$
Nistico ve Monti [22] (2013)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.09\frac{f_l}{f_{co}}\right)$
Wu ve Wei [37] (2010)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 2.22\left(\frac{2r}{b}\right)^{0.72}\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.94}\left(\frac{b}{h}\right)^{-1.9}\right)$ $f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{h,rup}}{b}$
Youssef vd. [39] (2007)	$f_{cc} = f_{co}\left(0.5 + 1.225\left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^{3/5}\right)$

Tablo 2.3 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton basınç dayanımı bağıntıları (devamı)

Kumutha vd. [18] (2007)	$f_{cc} = f_{co}\left(1 + 0.93\frac{f_l}{f_{co}}\right)$
Wang vd. [34] (2016)	$f_{cc} = f'_c \psi_f 3.3\kappa_a f_l \qquad \psi_f = 0.95$ $\kappa_a = \left(1 - \frac{2(b-r^2)}{3A_g} - \rho_g\right)/(1-\rho_g)$ $f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{h,rup}}{D}$ $D = \sqrt{b^2 + h^2}$
Benzaid ve Mesbah [6] (2013)	$f_{cc} = f_{co} + 0.58 f_l$ $f_l = \frac{2nt_f E_f \varepsilon_{h,rup}}{\sqrt{2}b - 2r(\sqrt{2}-1)}$ $\varepsilon_{h,rup} = \eta \varepsilon_f$ $\eta = 0.68$
Özbakkaloğlu ve Lim [24] (2013)	$f_{cc} = f'_{co} + k_1(k_{e1}K_l - K_{lo})\varepsilon_{h,rup}$ $k_1 = 4.1$ $k_{e1} = \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.56}\left(\frac{2r}{d_e}\right)^{0.67}$ $K_l = \frac{2E_f n t f}{d_e}$ $d_e = \sqrt{(h^2 + b^2)/2}$ $K_{lo} = 73.7e^{0.027 f'_{co}}$ $\varepsilon_{h,rup} = k_s \varepsilon_f$ $k_s = 0.9 - 2.3 f'_{co} * 10^{-3} - 0.75 E_f * 10^{-6}$

Tablo 2.4 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton şekil değiştirme değeri bağıntıları

ACI 440-2R [4] (2017)	$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f'_c}\left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c}\right)^{0.45}\right)$ $\kappa_b = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{b}{h}\right)^2$ $\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left(\left(\frac{b}{h}\right)(h-2r)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2r)^2\right)}{3A_g}}{1-\rho_g}$ $f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$ $D = \sqrt{b^2 + h^2}$ $\varepsilon_{fe} = \eta\varepsilon_{fu}$ $\eta = 0.55$ $\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon^*_{fu}$ $C_E = 0.95$
İlki ve Kumbasar [15] (2003)	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + 20\left(\frac{h}{b}\right)\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.5}\right)$
Özbakkaloğlu ve Lim [24] (2013)	$\varepsilon_{cc} = c_1\varepsilon_{co} + k_2 k_{e2}\left(\frac{K_l}{f_{co}}\right)^{0.9} {\varepsilon_{h,rup}}^{1.35}$ $c_1 = 2 - \left(\frac{f'_{co} - 20}{100}\right)$ $k_2 = 0.27$ $k_{e2} = \left(\frac{h}{b}\right)^{0.22}\left(2 - \frac{2r}{d_e}\right)^2\left(\frac{2r}{d_e}\right)$ $K_l = \frac{2E_f n t_f}{d_e}$ $d_e = \sqrt{(h^2 + b^2)/2}$ $\varepsilon_{h,rup} = k_s\varepsilon_f$ $k_s = 0.9 - 2.3 f_{co} 10^{-3} - 0.75 10^{-6}$

Tablo 2.4 FRP ile sargılı dikdörtgen kesitli kolonlar için mevcut beton şekil değiştirme değeri bağıntıları (devamı)

Shehata vd. [31] (2002)	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + 13.5\frac{f_l}{f_{co}}\right)\ kare\ kolonlar\ için$ $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + 12.4\frac{f_l}{f_{co}}\right) dikdörtgen\ kolonlar\ için$
Lam ve Teng [19] (2003)	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1.75 + 12k_{s2}\frac{f_l}{f_{co}}\left(\frac{\varepsilon_{frp}}{\varepsilon_{co}}\right)^{0.45}\right)$ $k_{s2} = \left(\frac{h}{b}\right)^{0.5}\frac{A_e}{A_c}$ $\eta = 0.586$
Wu ve Wei [37] (2010)	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1.75 + 12\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)^{0.75}\left(\frac{f_{30}}{f_{co}}\right)^{0.62}\left(0.36 * \frac{2 * r}{b} + 0.64\right)\left(\frac{h}{b}\right)^{-0.3}\right)$
Benzaid ve Mesbah [6] (2013)	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(2 + 4\left(\frac{f_l}{f_{co}}\right)\right)$ $f_l = \frac{2nt_f E_f \varepsilon_{h,rup}}{\sqrt{2}b - 2r(\sqrt{2} - 1)}$ $\varepsilon_{h,rup} = \eta\varepsilon_f$ $\eta = 0.68$

2.3 Gen İfadesi Programlama (GEP)

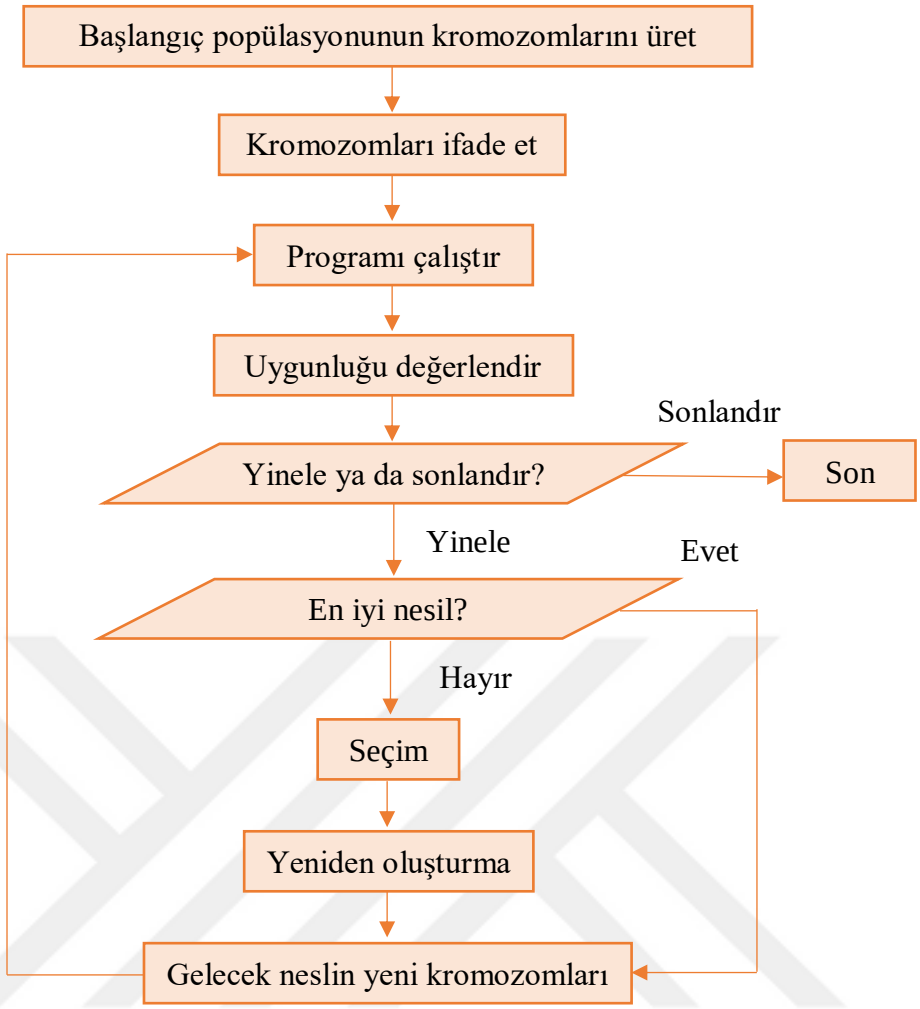
Gen İfade Programlama (GEP), Candida Ferreira tarafından geliştirilen, matematiksel ifadeleri evrimsel olarak oluşturan bir genetik programlama tekniğidir [8]. Bu yaklaşım, özellikle matematiksel modelleme, veri analizi, regresyon analizi, sınıflandırma, optimizasyon, sistem mühendisliği, biyoenformatik, makine öğrenimi ve yapay zeka gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilecek güçlü bir evrimsel algoritma türüdür. Karmaşık matematiksel ilişkileri modelleme yeteneği, doğrusal olmayan ilişkileri ifade edebilme kabiliyeti, çeşitli problem türlerine uyarlanabilirlik GEP'in avantajları arasındadır. GEP' in temel adımları genom temsili, gen ifadelerinin oluşturulması, fonksiyon ve operatörlerin seçimi, evrim süreci ve uyum değerlendirmesi aşamalarından oluşur.

Genom Temsili, bir organizmanın genetik bilgisini matematiksel ifadelerle temsil etmek amacıyla kullanılan bir kavramdır. Genler, fonksiyonları, değişkenleri ve operatörleri içermekte ve genom, bu genlerin birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu temsil, genetik algoritmaları kullanarak matematiksel ifadelerin evrimleştirilmesini sağlayarak, karmaşık problemlerin çözümü ve adaptasyon yeteneklerini geliştirir [8].

Gen ifadelerinin oluşturulması aşaması, genetik kodları içeren genlerin belirli bileşenlere çevrilerek matematiksel bir ifade oluşturulmasıyla gerçekleşir. Her bir gen, genetik kod içerir ve bu genetik kodlar, genler arasında çaprazlanarak veya gen içinde mutasyona uğrayarak kombinasyonlar oluşturulur. Genlerin birleştirilmesiyle, genetik kodlar bir matematiksel ifadeyi temsil eden bir dizi bileşene dönüşür. Bu matematiksel ifadeler, organizmanın belirli bir problemi çözmek veya bir görevi yerine getirmek için kullanılan matematiksel modelleri temsil eder [8].

Fonksiyon ve operatörlerin seçimi aşamasında matematiksel ifadeyi oluşturmak için genetik kodlar, belirli fonksiyonları, değişkenleri ve matematiksel operatörleri kullanır. Evrim aşamasında genetik algoritmaların prensipleri kullanılarak evrim süreci gerçekleştirilir. Popülasyon içindeki bireyler, çaprazlama, mutasyon ve seleksiyon gibi genetik operatörler aracılığıyla çeşitlendirilir ve geliştirilir. Uyum değerlendirmesi aşaması ise her bireyin belirli bir problemde ne kadar etkili olduğunu gösteren değerlendirme kriterine dayanır. Bu uygunluk değerleri, evrim sürecinde bireylerin seçilmesinde belirleyici bir rol oynar.

Gen ifadesi programlamasının temel adımları Şekil 2.13'te şematik olarak gösterilmiştir. Süreç, belirli bir sayıda bireyin (başlangıç popülasyonu) kromozomlarının rastgele oluşturulmasıyla başlar. Ardından, bu kromozomlar ifade edilir ve her bir bireyin bir dizi uygunluk durumuna karşı uygunluğu değerlendirilir. Bireyler daha sonra, çevrelerindeki performanslarına göre seçilir ve değiştirilmiş olarak çoğalırlar, yeni özelliklerle progeni bırakırlar. Bu yeni bireyler, sırasıyla, genomların ifadesi, seçim ortamıyla karşılaştırılması, seçim ve değiştirilmiş olarak çoğalma sürecine tabi tutulur. Süreç, belirli bir nesil sayısı için tekrarlanır veya iyi bir çözüm bulunana kadar devam eder [8].



Şekil 2.13 Bir gen ifadesi algoritmasının akış şeması [8]

Gen ifadesi programlamasının dönüm noktası, herhangi bir ağaç yapısını temsil edebilen kromozomların icadında yatmaktadır. Bu amaçla, kromozomlarda kodlanmış bilgiyi okumak ve ifade etmek için yeni bir dil olan Karva dili oluşturulmuştur. Ayrıca, kromozomların yapısı, her biri daha küçük bir programı veya alt ifade ağacını kodlayan birden fazla genin oluşturulmasına izin vermek üzere tasarlanmıştır. Bu, gen ifadesi programlamasının birden fazla gen içeren tek genetik algoritma olduğunu vurgulamak önemlidir. Aslında, birden fazla geni içeren daha karmaşık bireylerin oluşturulması, gerçekten işlevsel genotip/fenotip sistemlerinde son derece basitleştirilmiştir. Aslında, bu sistemlerin ortaya çıkmasından sonra, bu sistemler, farklı hücrelerin farklı gen konsorsiyumlarını bir araya getirdiği çok hücreli sistemler gibi daha yüksek karmaşıklık seviyelerine hızla atlamış gibi görünmektedir [8]. Tüm bu yeniliğin temeli, GEP genlerinin devrimci yapısında yatmaktadır. Bu genlerin basit ancak plastik yapısı, her türlü muhtemel

programın kodlanmasına ve aynı zamanda etkin evrimine olanak sağlamaktadır. Bu çok yönlü yapısal organizasyon sayesinde, çok güçlü bir genetik operatör kümesi kolayca uygulanabilir ve çözüm alanını çok etkili bir şekilde aramak için kullanılabilir. Doğada olduğu gibi, gen ifadesi programlamanın arama operatörleri her zaman geçerli yapılar üretir ve bu nedenle genetik çeşitlilik yaratmak için son derece uygundur [8].

2.4 Betonun Basınç Dayanımı (f_{cc}) için GEP ile Model Tahmini

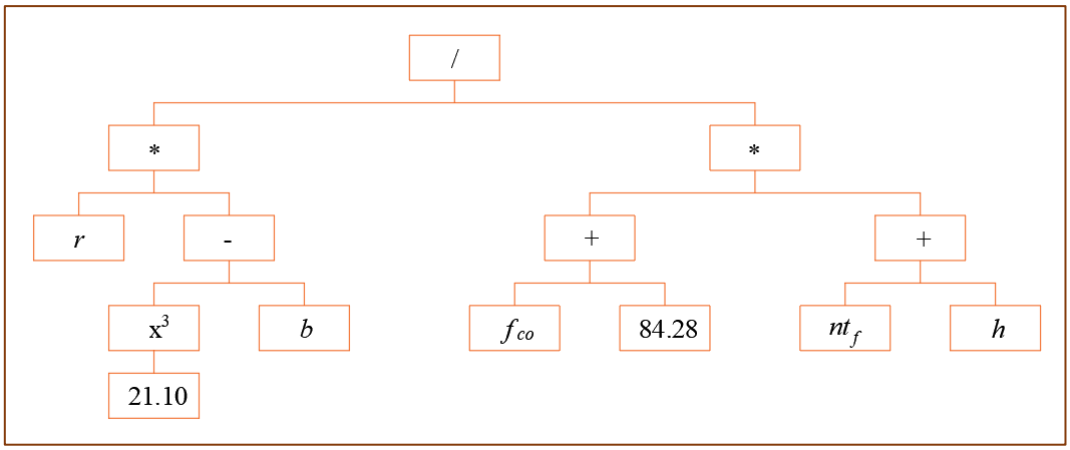
Model tahmini, GeneXproTools 5.0 [9] programı ile gerçekleştirilmiş, toplam 484 deney verisinin %75'i olan 363 deney verisi öğrenme aşaması için, geriye kalan %25'lik kısım olan 121 deney verisi ise doğrulama işlemi için ayrılmıştır. Optimum sonucu elde etmek amacıyla, kromozom sayısı, baş ve gen sayıları, bağlantı şekli ve fonksiyonlar gibi parametreler deneme yanılma yöntemiyle birçok kez tekrarlatılarak Tablo 2.5'te belirtilen değerler elde edilmiştir. Şekil 2.7'de gösterilen gen ifade ağacı, 3 farklı genin toplama işlemiyle oluşturulmuştur. Gen ağacında görülen dikdörtgen kesitli kolonun kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), beton basınç dayanımı (f_{co}), FRP çekme elastisite modülü (E_f), FRP kalınlığı (nt_f), ve FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri, ($\varepsilon_{h,rup}$) kolonun basınç dayanımının belirlenmesinde göz önüne alınan parametreleri ifade etmektedir.

GEP'de kromozom sayısı, bir popülasyon içinde bulunan toplam kromozom sayısını ifade etmektedir. Her kromozom bir genetik programı temsil etmektedir. Bu, bir GEP uygulamasındaki toplam aday çözüm sayısını göstermektedir. Kromozomun başı, genetik programın başlangıç bölümünü temsil etmektedir ve genellikle belirli bir fonksiyon veya işlevi tanımlamaktadır. Baş sayısı, bir kromozomdaki başların toplam sayısını belirtmektedir. Her baş, bir işlev veya operasyon tanımlamaktadır [8].

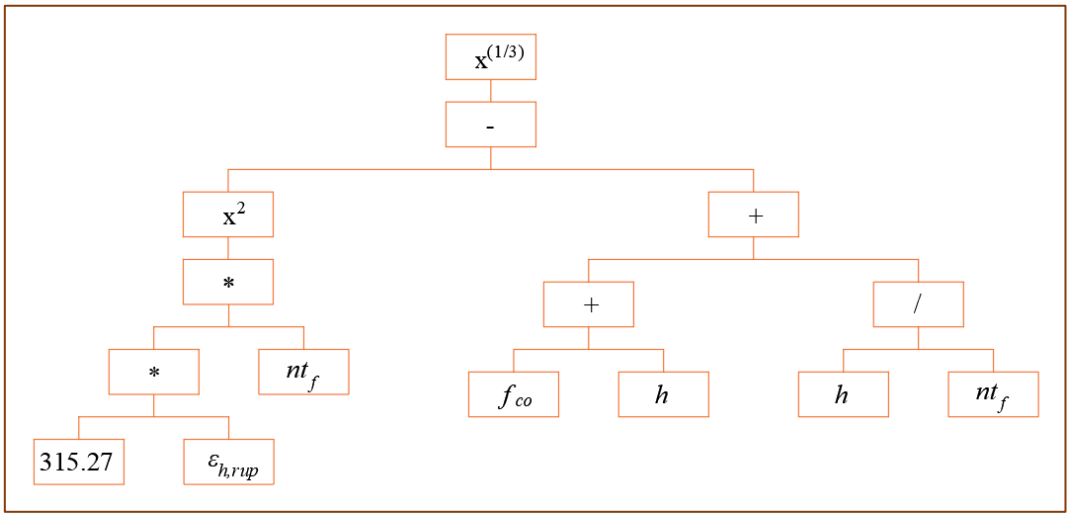
Genler, kromozom içindeki temel yapı taşlarıdır ve her biri bir işlevi veya operasyonu temsil etmektedir. Gen sayısı, bir kromozomdaki genlerin toplam sayısını göstermektedir. Daha fazla gen, kromozomun ifade edebileceği işlevlerin ve karmaşıklığının artmasını sağlamaktadır [8].

Tablo 2.5 Önerilen model için kullanılan gen ifadesi programlama (GEP) parametreleri

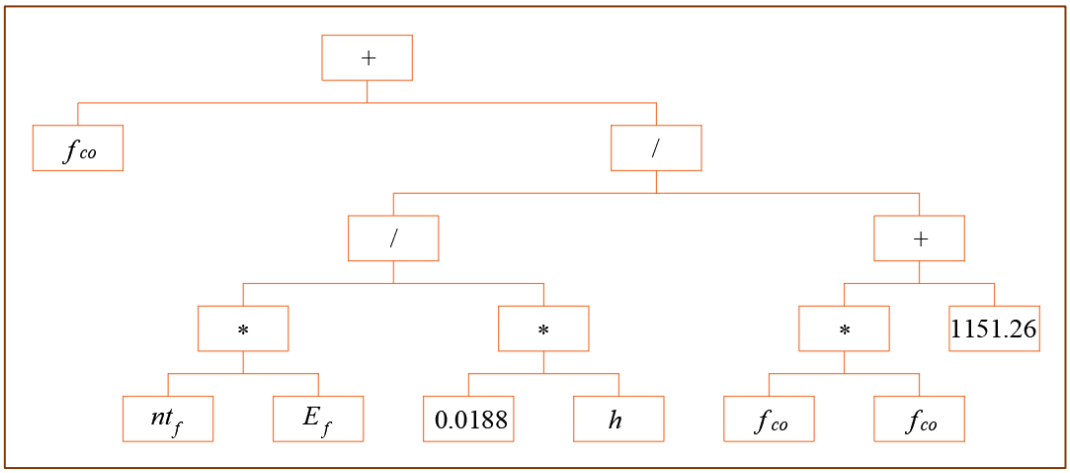
	f_{cc}	ε_{cc}
Parametreler	kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), beton basınç dayanımı (f_{co}), FRP çekme elastisite modülü (E_f), FRP kalınlığı (nt_f), ve FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$)	kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), betonun şekil değiştirme değeri (ε_{co}), beton basınç dayanımı (f_{co}), FRP çekme elastisite modülü (E_f), FRP kalınlığı (nt_f), ve FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$)
Öğrenme Verisi	363	224
Doğrulama Verisi	121	75
Kromozom Sayısı	30	30
Baş Sayısı	8	8
Gen Sayısı	3	3
Bağlantı Şekli	Toplama	Toplama
Fonksiyonlar	+, -, *, /, √, 1/x, -x, x, x^2, x^3, $x^{(1/3)}$	+, -, *, /, √, -x, x, x^2, $x^{(1/3)}$



Şekil 2.14 f_{cc} için gen 1 ifade ağacı



Şekil 2.15 f_{cc} için gen 2 ifade ağacı



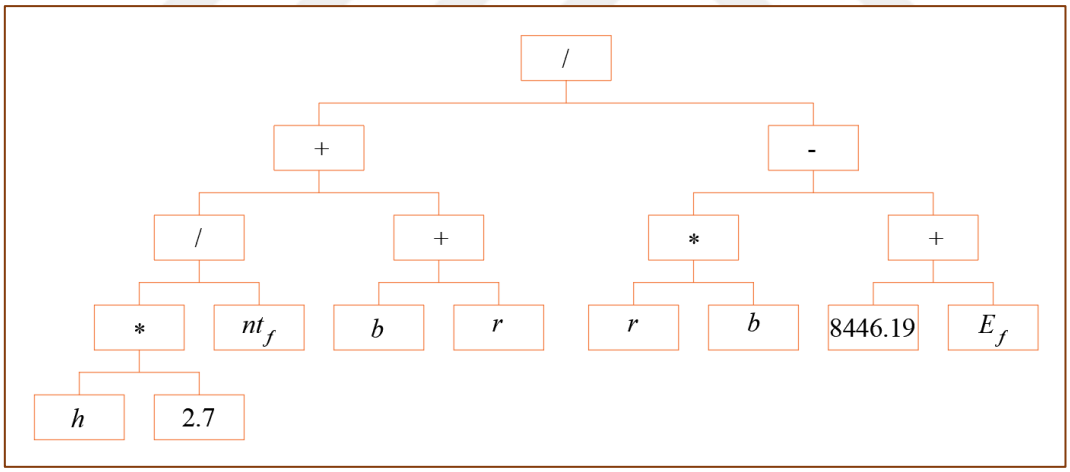
Şekil 2.16 f_{cc} için gen 3 ifade ağacı

Betonun basınç dayanımı (f_{cc}) gen ifade ağacındaki genler toplanarak aşağıdaki bağıntıyla tahmin edilmiştir.

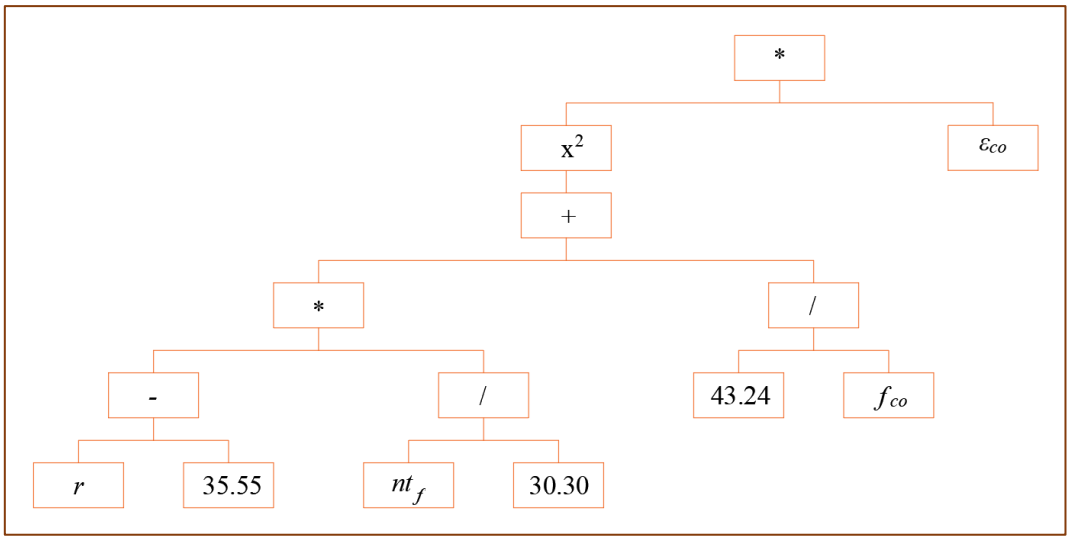
$$f_{cc} = \frac{r(21.1^3 - b)}{(f_{co}+84.28)(nt_f+h)} + \sqrt[3]{(315.27\varepsilon_{h,rup}nt_f)^2 - ((f_{co}+h)+(h/nt_f))} + \left(f_{co} + \frac{nt_f E_f/(0.0188h)}{f_{co}{}^2+1151.26}\right) \quad (46)$$

2.5 Şekil Değiştirme (ε_{cc}) için GEP ile Model Tahmini

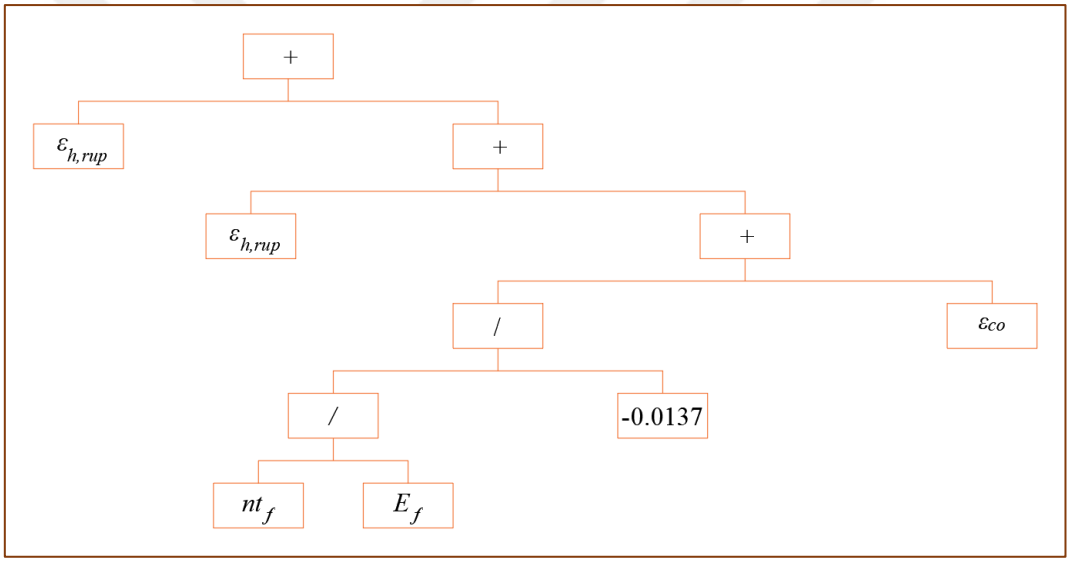
Şekil değiştirme (ε_{cc}) değerinin tahmininde, toplam 299 deney verisinin %75'i olan 224 deney verisi öğrenme aşaması, geriye kalan %25'lik kısım olan 75 deney verisi ise doğrulama işlemi için ayrılmıştır. Gen İfade Programlama (GEP) parametreleri Tablo 2.5'te görülmektedir. Şekil 2.8'de gösterilen gen ifade ağacı, 3 farklı genin toplama işlemiyle oluşturulmuştur. Gen ağacında görülen dikdörtgen kesitli kolonun kısa kenar uzunluğu (b), uzun kenar uzunluğu (h), yuvarlatma yarıçapı (r), beton şekil değiştirme değeri (ε_{co}), beton basınç dayanımı (f_{co}), FRP çekme elastisite modülü (E_f), FRP kalınlığı (nt_f), ve FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri, ($\varepsilon_{h,rup}$) sargılı betonun şekil değiştirme değerinin belirlenmesinde göz önüne alınan parametreleri ifade etmektedir.



Şekil 2.17 ε_{cc} için gen 1 ifade ağacı



Şekil 2.18 ε_{cc} için gen 2 ifade ağacı



Şekil 2.19 ε_{cc} için gen 3 ifade ağacı

Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) aşağıdaki bağıntıyla tahmin edilmiştir.

$$\varepsilon_{cc} = \left(\frac{\frac{(h*2.7)}{nt_f}+(b+r)}{rb-(8446.19+E_f)}\right)+\left((r-33.55)\left(\frac{nt_f}{30.30}\right)+\left(\frac{43.24}{f_{co}}\right)\right)^2\varepsilon_{co}+\left(2\varepsilon_{h,rup}+\frac{\left(\frac{nt_f}{E_f}\right)}{-0.0137}+\varepsilon_{co}\right) \quad (47)$$

3
MEVCUT BAĞINTILARIN İSTATİSTİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

3.1 İstatistiksel Bağıntılar

f_{cc} ve ε_{cc} için literatürde önerilen bağıntılar ile GEP modeli bağıntılarının istatistiksel olarak karşılaştırılmasında veri setinin tutarlılığını değerlendirmek için ortalama değer (M), standart sapma (SD), ortalama mutlak yüzde hata ($MAPE$), kök ortalama kare hata ($RMSE$), varyasyon katsayısı (COV) ve belirleme katsayısı (R^2) istatistiksel ölçütleri kullanılmıştır. R^2 ve M değerlerinin bir (1) değerine, tersine varyasyon katsayısı ve standart sapma değerlerinin sıfır (0) değerine yaklaşması deneysel verilerle uyumun ve tahmin gücünün yeterli olduğunu göstermektedir. Söz konusu istatistiksel bağıntılar Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 3.1 İstatistiksel bağıntılar

Değişken	Bağıntı	
Ortalama değer (M)	$\frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{model}{deney}}{n}$	(48)
Standart sapma (SD)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\frac{model}{deney} - M)^2}{n-1}}$	(49)
Ortalama mutlak yüzde hata ($MAPE$)	$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^{n} \left\lvert \frac{deney - model}{deney} \right\rvert$	(50)
Kök ortalama kare hata ($RMSE$)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (deney - model)^2}{n}}$	(51)
Varyasyon katsayısı (COV)	$\frac{SD}{M}$	(52)
Belirleme katsayısı (R^2)	$\frac{\left[\sum_{i=1}^{n} (deney - \overline{deney})(model - \overline{model})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n} (deney - \overline{deney})^2 \sum_{i=1}^{n} (model - \overline{model})^2}$	(53)

n = veri sayısı, $\overline{deney}$ = deney verilerinin ortalama değeri, $\overline{model}$ = modelin ortalama değeri

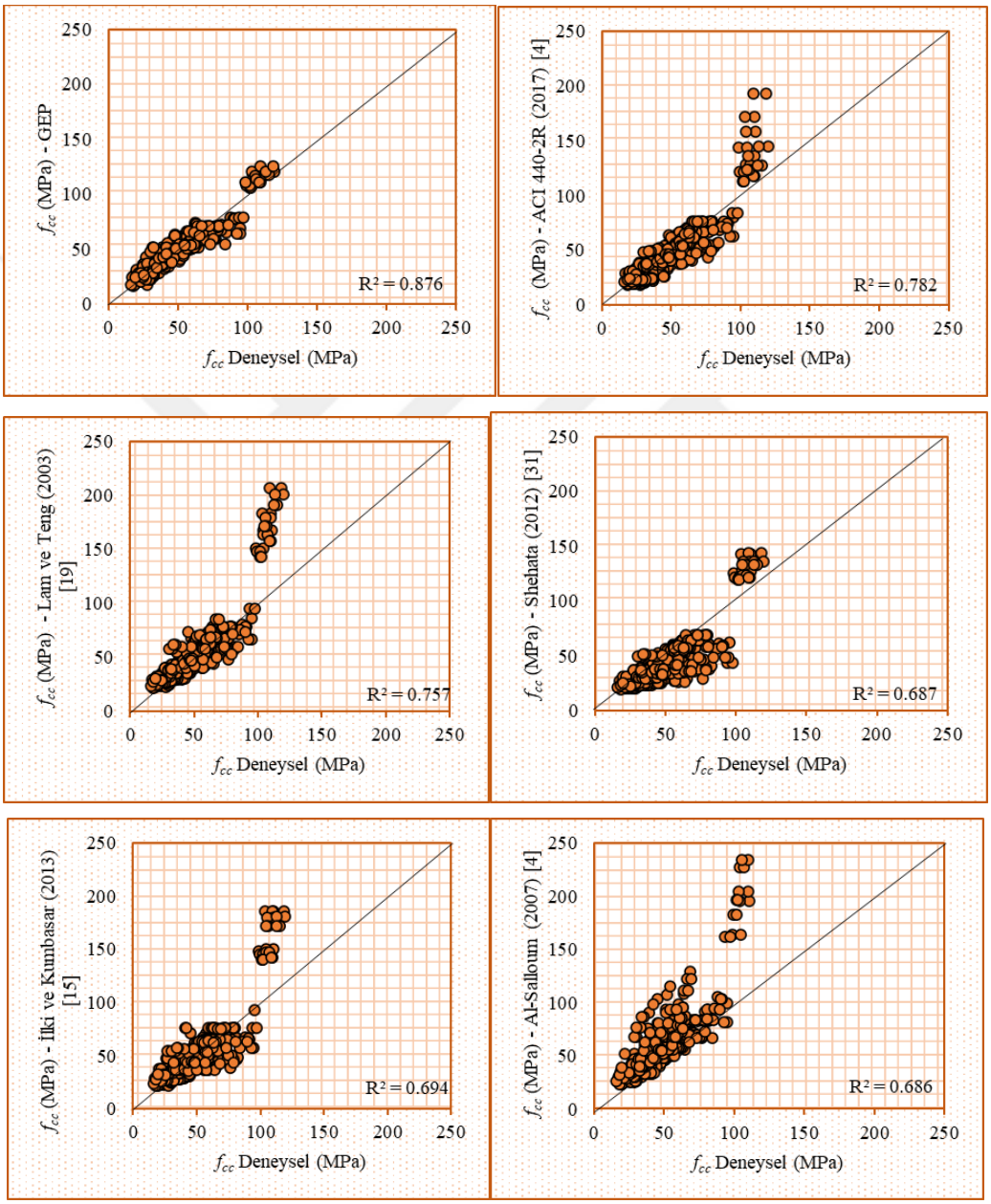
f_{cc} için mevcut bağıntılar ile GEP modele ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.2'de karşılaştırılmıştır. f_{cc} için literatürden derlenen 484 deney verisi kullanılarak yapılan istatistiksel karşılaştırılmalara göre; GEP modeline ait bağıntının R^2=0.876, COV=0.150, M=1.017, SD=0.153, $MAPE$=11.625 ve $RMSE$=7.128 değerleri ile en duyarlı sonucu verdiği görülmüştür. Al-Salloum (2007) tarafından önerilen bağıntının ise COV=0.275, M=1.287, SD=0.354, $MAPE$=30.933 ve RMS=33.767 değerleri ile deney sonuçlarıyla en uyumsuz sonucu sergilediği gözlenmiştir.

Tablo 3.2 f_{cc} için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması

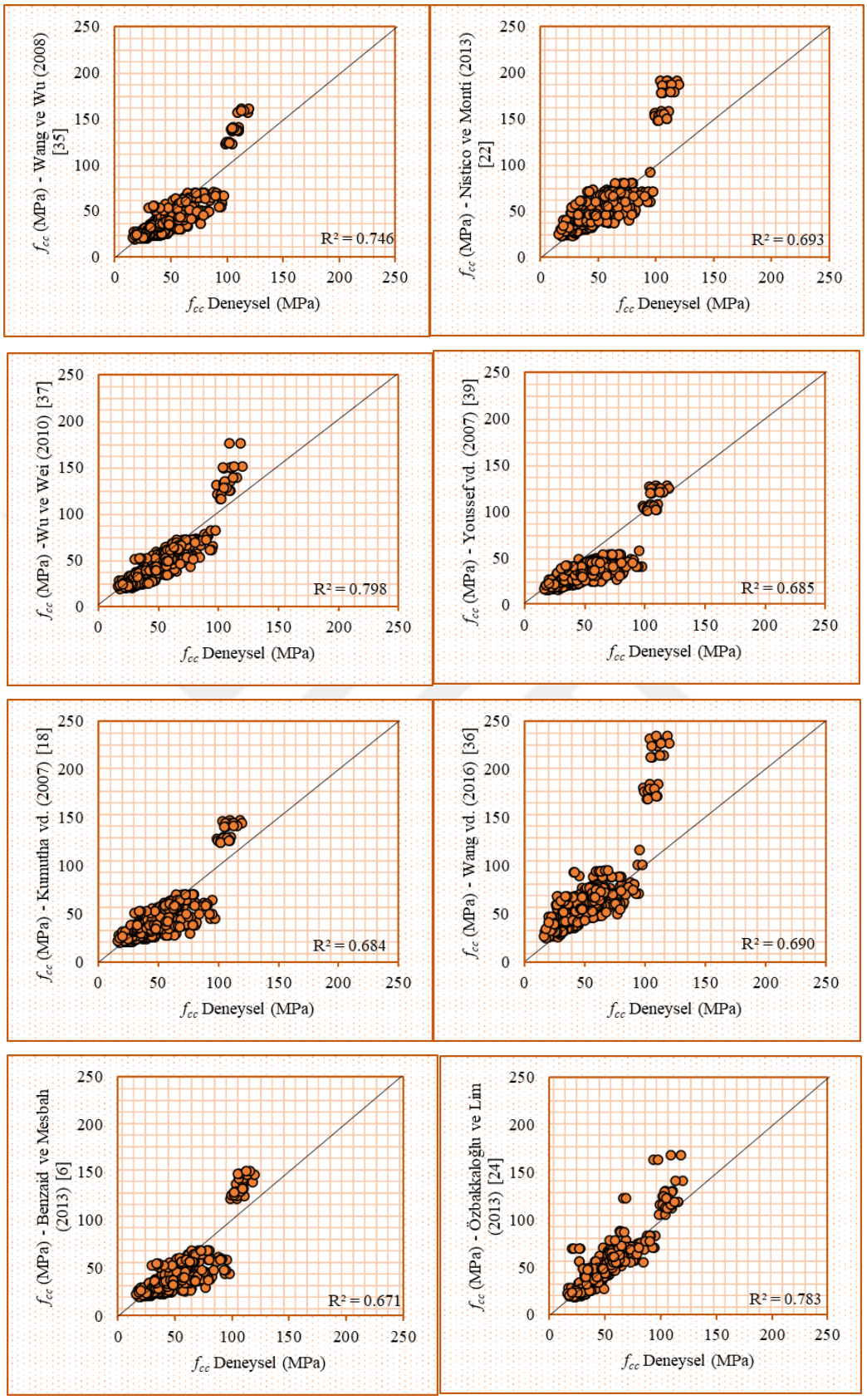
Yıl	Araştırmacı	Deney Sayısı	R^2	COV	M	SD	$MAPE$	$RMSE$
2023	GEP Model	484	0.876	0.150	1.017	0.153	11.625	7.128
2017	ACI 440-2R [4]	484	0.782	0.192	0.986	0.189	14.492	11.941
2003	Lam ve Teng [19]	484	0.757	0.203	1.080	0.219	16.706	16.910
2002	Shehata vd. [31]	484	0.687	0.238	0.880	0.209	19.484	14.413
2003	İlki ve Kumbasar [15]	484	0.694	0.242	1.033	0.250	18.181	16.279
2007	Al-Salloum [3]	484	0.686	0.275	1.287	0.354	30.933	33.767
2008	Wang ve Wu [35]	484	0.746	0.215	0.903	0.194	17.353	13.458
2013	Nistico ve Monti [22]	484	0.693	0.238	1.075	0.256	19.056	17.324
2010	Wu ve Wei [37]	484	0.798	0.190	0.935	0.177	14.743	11.664
2007	Youssef vd. [39]	484	0.685	0.239	0.718	0.171	30.195	18.706
2007	Kumutha vd. [18]	484	0.684	0.239	0.899	0.215	19.074	14.468
2012	Wang vd. [36]	484	0.690	0.249	1.241	0.309	28.125	24.996
2013	Benzaid ve Mesbah [6]	484	0.671	0.247	0.882	0.218	19.934	15.158
2013	Özbakkaloğlu ve Lim [24]	484	0.783	0.265	1.018	0.269	16.035	11.548

Belirleme katsayısı değerinin 1'e ve varyasyon katsayısı değerinin 0' a yakın olması istenilmektedir. Tablo 3.2'de görüldüğü üzere istenilen sonuca en yakın değerler GEP Model'den elde edilmiştir. Benzaid ve Mesbah'ın değerleri istenilen sonuca en uzak değerlerdir.

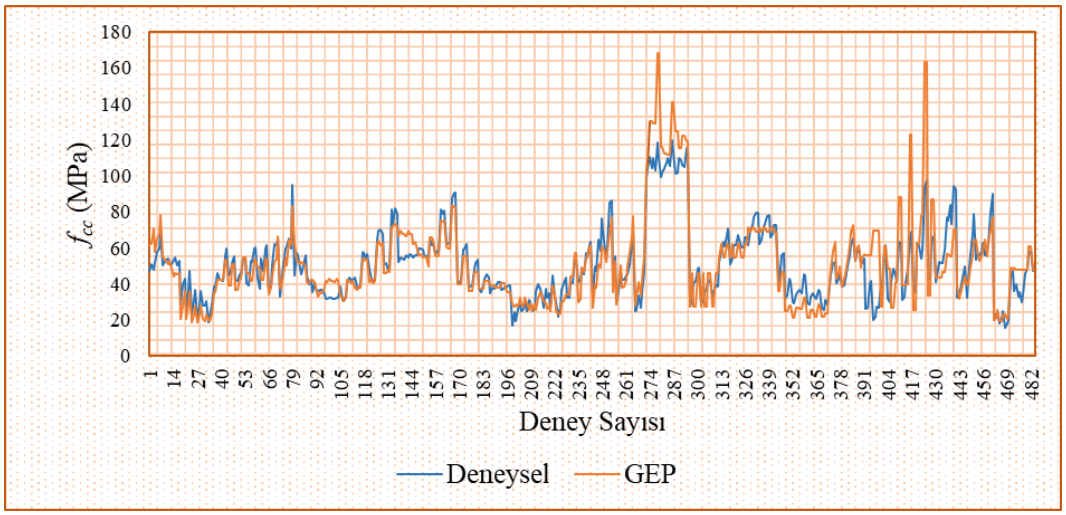
Ayrıca f_{cc} için deneysel sonuçlarla farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların sonuçları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de grafiksel olarak betimlenmiştir. Şekillerin incelenmesinden deneysel sonuçlarla en uyumlu modelin (R^2=0.876) bu çalışmada önerilen GEP modeli olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 3.3'de 484 deney verisi için GEP model ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.1 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 1



Şekil 3.2 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 2



Şekil 3.3 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için GEP modelin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

ε_{cc} için literatürden derlenen 299 deney verisi kullanılarak yapılan istatistiksel karşılaştırılmalara göre; GEP modeline ait bağıntının R^2=0.884, COV=0.580, M=1.132, SD=0.656, $MAPE$=36.445 ve RMS=0.006 değerleri ile literatürde önerilen bağıntılara kıyasla en duyarlı sonucu verdiği görülmüştür.

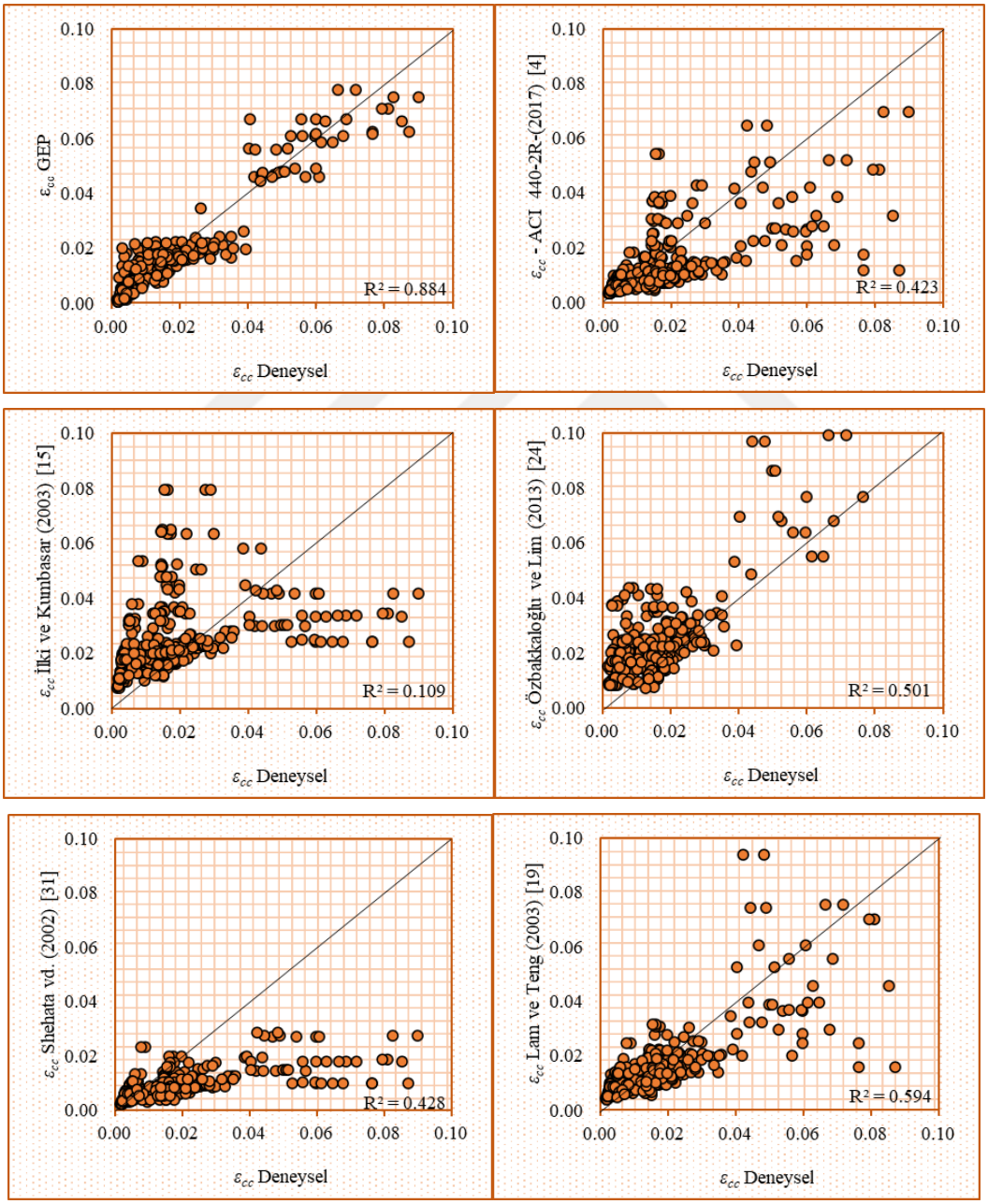
Tablo 3.3 ε_{cc} için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması

Yıl	Araştırmacı	Deney Sayısı	R^2	COV	M	SD	$MAPE$	$RMSE$
2023	GEP Model	299	0.884	0.580	1.132	0.656	36.445	0.006
2017	ACI 440-2R [4]	299	0.423	0.627	1.016	0.637	52.176	0.014
2003	İlki ve Kumbasar [15]	299	0.109	0.729	2.157	1.573	130.496	0.020
2013	Özbakkaloglu ve Lim [24]	299	0.501	0.841	2.325	1.955	138.387	0.040
2002	Shehata vd. [31]	299	0.428	0.720	0.731	0.526	52.752	0.018
2003	Lam ve Teng [19]	299	0.594	0.595	1.217	0.724	52.741	0.012
2010	Wu ve Wei [37]	299	0.497	0.752	0.844	0.635	56.264	0.018
2013	Benzaid ve Mesbah [6]	299	0.218	0.803	0.663	0.532	58.466	0.021

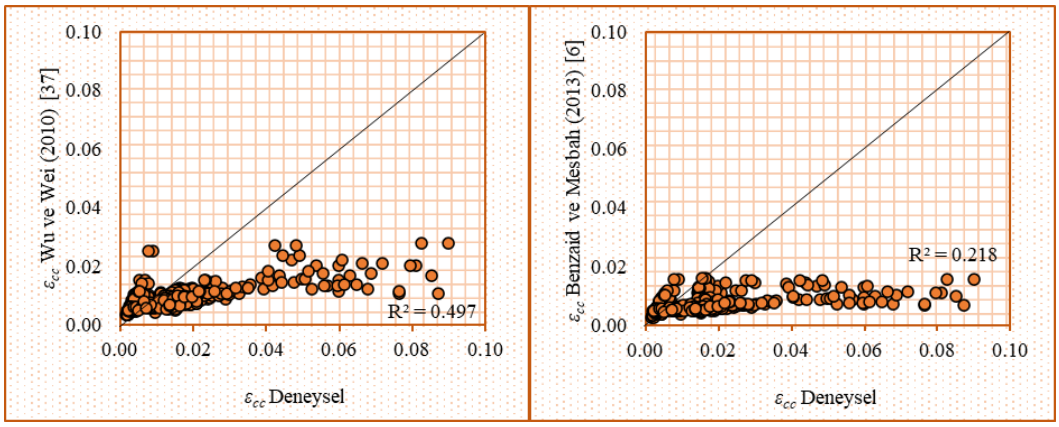
İstatistiksel olarak belirleme katsayısı değerinin 1'e ve varyasyon katsayısı değerinin 0' a yakın olması istenilmektedir. Tablo 3.3'te görüldüğü üzere istenilen

sonuca en yakın değerler GEP Model'den elde edilmiştir. İlki ve Kumbasar'ın değerleri istenilen sonuca en uzak değerlerdir.

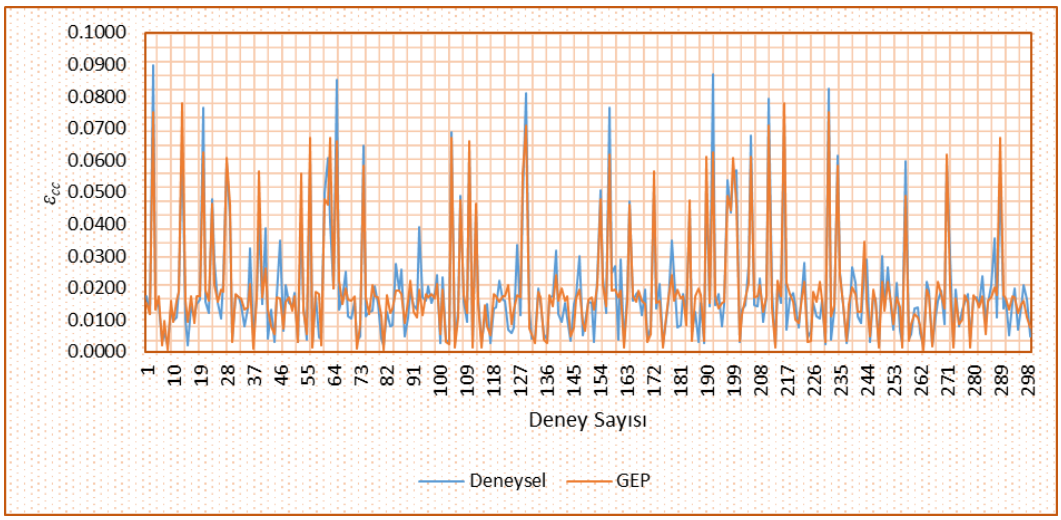
Ayrıca ε_{cc} için deneysel sonuçlarla farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların sonuçları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Deneysel sonuçlarla en uyumlu modelin (R^2=0.884) bu çalışmada önerilen GEP modeli olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 3.6'da 299 deney verisi için GEP model ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.4 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 1



Şekil 3.5 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 2

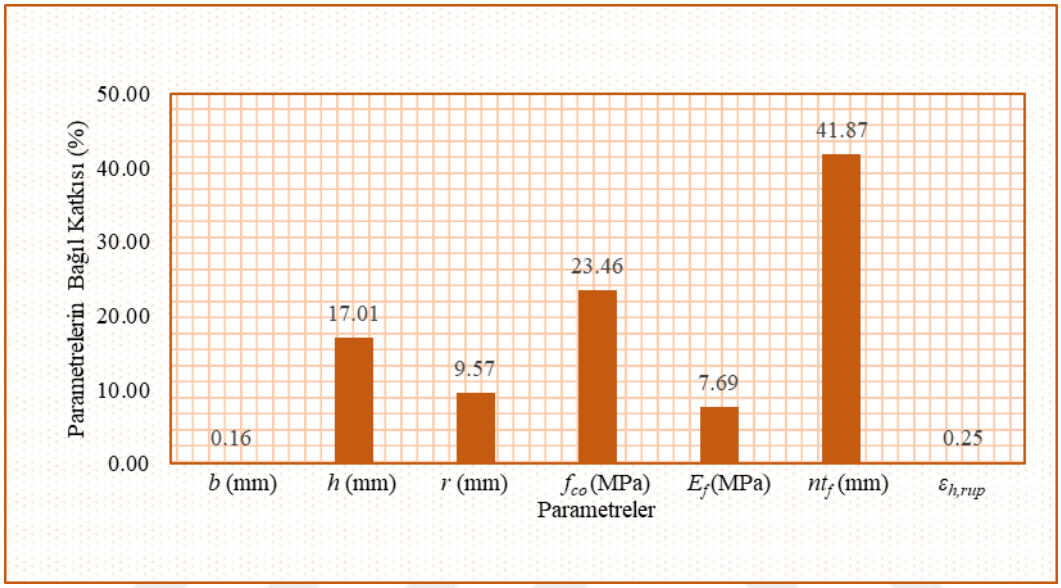


Şekil 3.6 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için GEP modelin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

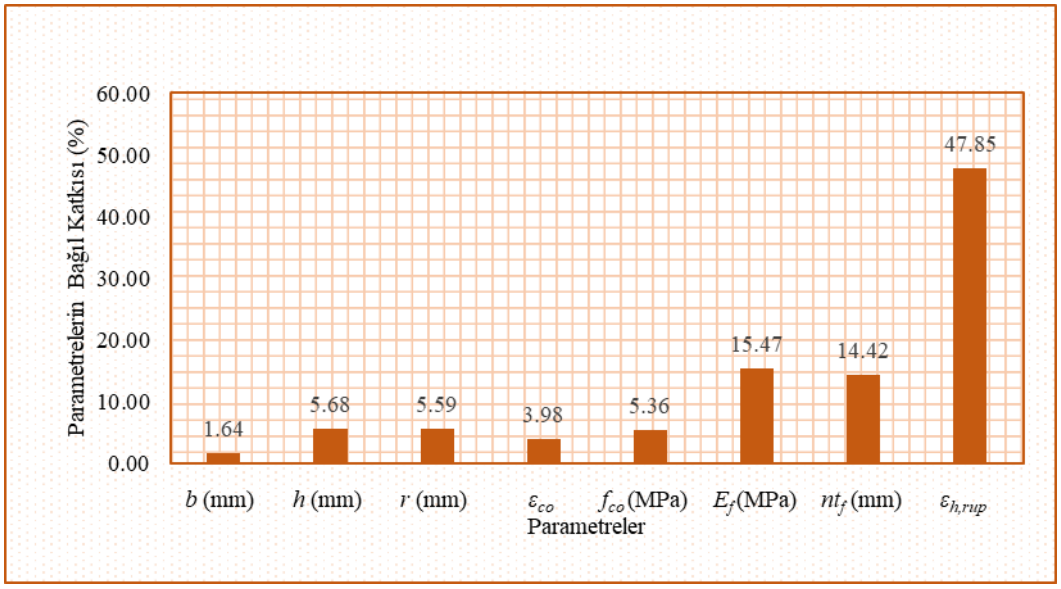
3.2 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, bir sistem veya model içindeki belirli parametrelerin veya giriş değişkenlerinin değerlerindeki değişikliklerin, sistem çıkışları üzerindeki etkilerini değerlendiren bir analiz yöntemidir. Bu analiz, sistem davranışını anlamak, sistem performansını optimize etmek veya tasarım süreçlerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle matematiksel modeller, simülasyonlar veya hesaplamalı yöntemlerle gerçekleştirilen duyarlılık analizi, mühendislik, finans ve çevre bilimleri gibi çeşitli disiplinlerde önemli bir araştırma ve geliştirme aracıdır. Analizin sonuçları, sistemlerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine, karar verme süreçlerinin geliştirilmesine ve genel olarak bilimsel anlayışın derinleştirilmesine katkıda bulunmaktadır [29].

Gen İfadesi Programı kullanılarak türetilen bağıntıların duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda türetilen bağıntılarda sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için en etkili parametrenin %41.87'lik bağıl katkısı ile FRP kalınlığı (nt_f), sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için ise en etkili parametrenin %47.85'lik bağıl katkısı ile FRP'nin göçme anında etkili şekil değiştirme değeri ($\varepsilon_{h,rup}$) olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.7 Sargılı betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için GEP model duyarlılık analizi



Şekil 3.8 Sargılı betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için GEP model duyarlılık analizi

4
SONUÇ

Bu çalışmada, eksenel yük etkisindeki lif takviyeli polimer ile sargılı dikdörtgen kesitli beton kolonların basınç dayanımı ve şekil değiştirme değerleri için Gen İfadesi Programlama (GEP) kullanılarak iki model türetilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut yönetmelik ve farklı araştırmacıların önerdikleri bağıntılarla karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar edilmiştir:

- Betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için GEP ile türetilen bağıntının sonuçlarının R^2=0.876, COV=0.150, M=1.017, SD=0.153, $MAPE$=11.625 ve $RMSE$=7.128 istatistiksel değerleri ile diğer mevcut bağıntılarla karşılaştırıldığında deneysel sonuçlara en yakın olduğu, diğer bir anlatımla en güvenilir bağıntı olduğu görülmüştür. Benzaid ve Mesbaha ait olan bağıntının sonuçlarının ise R^2=0.671, COV=0.247, M=0.882, SD=0.218, $MAPE$=19.934 ve $RMSE$=15.158 istatistiksel değerleri ile diğer mevcut bağıntılara göre deneysel sonuçlarla en uyumsuz olduğu görülmüştür.
- Betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için GEP ile türetilen bağıntının sonuçlarının R^2=0.884, COV=0.580, M=1.132, SD=0.656, $MAPE$=36.445 ve $RMSE$=0.006 istatistiksel değerleri ile deneysel sonuçlarla en uyumlu olduğu gözlenmiştir. İlki ve Kumbasara ait olan bağıntının ise R^2=0.109, COV=0.729, M=2.157, SD=1.573, $MAPE$=130.496 ve $RMSE$=0.020 istatistiksel değerleri ile deneysel sonuçlarla en uyumsuz olduğu gözlenmiştir.
- GEP Modelinin inşaat mühendisliği çalışmalarında, yüksek belirleme katsayısı, düşük hata değerleri ve uyumlu istatistiksel ölçütlerle geleneksel regresyon analizine göre güçlü bir araç olarak güvenle kullanılabileceği anlaşılmıştır.
- GEP modeli ile türetilen bağıntıların sonuçları literatürden toplanmış dikdörtgen kesitli beton deney numuneleri için geçerlidir. Veri tabanı genişletilerek kolonun basınç dayanımı ve şekil değiştirme modeli için daha duyarlı modeller geliştirilebilir.
- Farklı araştırmacılar tarafından betonun basınç dayanımı (f_{cc}) için türetilmiş bağıntılarının sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırıldığında

100 MPa üzerinde beton basınç dayanımına sahip numunelerde standart sapmanın arttığı gözlenmiştir. Bu durum yüksek beton basınç dayanıma sahip beton numuneleri için farklı bağıntı türetilmesinin yüksek dayanımlı beton numunelerin özelliklerinin daha doğru bir şekilde modellenerek daha güvenilir tahminler sağlanabilmesine olanak sağlar.

- Betonun şekil değiştirme değeri (ε_{cc}) için türetilen bağıntıların sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırıldığında 0.04 üzerinde betonun şekil değiştirme değerine sahip numunelerde standart sapmanın arttığı gözlenmiştir. Şekil değiştirme değerinin 0.04 üzerinde olduğu numuneler için farklı bağıntı türetilebilir.
- Betonarme kolonlarda, narinlik etkisi, taşıma gücünü etkileyen önemli bir parametredir. Dolayısıyla ileride yapılacak araştırmalarda betonun gerilme şekil değiştirme ilişkisinin belirlenmesinde narinlik etkisinin de göz önüne alınması daha duyarlı modellerin türetilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Abbasnia R., & Ziaadiny H. (2015). Experimental investigation and strength modeling of CFRP-confined concrete rectangular prisms under axial monotonic compression. Mater. Struct. 2015, 48, 485–500.

[2] Alacali, S. (2022). A prediction model for strength and strain of CFRP-confined concrete cylinders using gene expression programming, Comput. Concrete, 30(6), 377-391.

[3] Al-Salloum Y.A. (2007). Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with FRP composite laminates. Compos. Part B Eng., 38(5), 640–650.

[4] American Concrete Institute 440-2R (2017). Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.

[5] Ayman M. (2004). Composites: Construction Materials For The New Era, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), 45-58, 2004.

[6] Benzaid R., & Mesbah H.A. (2013). Strength model for square concrete columns confined by external CFRP sheets. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 46, No. 1. 111-135.

[7] Diego A., Arteaga A., & Fernandez J. (2019). Strengthening of square concrete columns with composite materials. Investigation on the FRP jacket ultimate strain. Compos B Eng 2019;162:454–60.

[8] Ferreira C. (2006). Gene-expression programming: Mathematical modeling by an artificial intelligence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[9] Gepsoft GeneXproTools 5.0. Data Modeling and Analysis Software, 2023.

[10] Goldberg D. E., & Holland J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. Machine learning, 3(2), 95-99.

[11] Grosan C., & Abraham A. (2006). Evolving computer programs for knowledge discovery. International Journal of System Management 4(2), 7–24.

[12] Han Q., Yuan W., Bai Y., & Du X. (2020). Compressive behavior of large rupture strain (LRS) FRP-confined square concrete columns: experimental study and model evaluation. Mater Struct 2020;53(4):1–20.

[13] Hany N.F., Hantouche E.G., and Harajli M.H. (2015). Axial stress-strain model of CFRP-confined concrete under monotonic and cyclic loading. J Compos Constr 2015;19(6):04015004.

[14] Harajli M.H., & Hantouche E. (2006). Stress-strain model for fiber-reinforced polymer jacketed concrete columns. ACI Struct. J., 103(5), 672-682.

[15] İlki A., & Kumbasar N. (2003). Compressive behaviour of carbon fibre composite jacketed concrete with circular and non-circular cross-sections. J. Earthq. Eng., 7(3), 381–406.

[16] Isleem H.F., Wang D., & Wang Z. (2018). Modeling the axial compressive stress-strain behavior of CFRP-confined rectangular RC columns under monotonic and cyclic loading. Composite Structures, 185, 229-240.

[17] Koza J.R. (1992). Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, A Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.

[18] Kumutha R., Vaidyanathan R., & Palanichamy M.S. (2007). Behaviour of reinforced concrete rectangular columns strengthened using GFRP. Cement Concr Compos 2007;29(2007):609-15.

[19] Lam L., & Teng J.G. (2003). Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete. Constr. Build. Mater., 17(6–7), 471–489.

[20] Masia M.J., Gale T.N., & Shrive N.G. (2004). Size effects in axially loaded square-section concrete prisms strengthened using carbon fibre reinforced polymer wrapping. Can. J. Civ. Eng., 31(1), 1–13.

[21] Naderpour H., Nagai K., Fakharian P., & Haji M. (2019). Innovative models for prediction of compressive strength of FRP-confined circular reinforced concrete columns using soft computing methods. Composite Structures 215, 69-84.

[22] Nistico N., & Monti G. (2013). RC square sections confined by FRP: analytical prediction of peak strength. Compos B Eng 2013;45:127–37.

[23] Özbakkaloğlu T., & Lim J.C. (2007). Concrete-filled square FRP tubes under axial compression. Asia-Pasific Conferance on FRP in Structures.

[24] Özbakkaloğlu T., & Lim J.C. (2013). Behavior of square and rectangular ultra high-strength concrete-filled FRP tubes under axial compression. Composites Part B: Engineering 54:97–111.

[25] Pessiki S., Harries K.A., Kestner J.T., Sause R., & Ricles J.M. (2001). Axial behavior of reinforced concrete columns confined with FRP jackets. J Compos Construct 2001;5:237–45.

[26] Quinlan J.R. (1986). Induction of decision trees. Machine learning, 1(1), 81-106.

[27] Rochette P., & Labossiere P. (2000). Axial testing of rectangular column models confined with composites. J. Compos. Constr., 10.1061/(ASCE)1090-0268(2000)4:3(129), 129-136.

[28] Rousakis T.C., Karabinis A.I., & Kiousis, P.D. (2007). FRP-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modelling. Eng. Struct., 29(7), 1343–1353.

[29] Sağmanlı M., & Lüle A. (1997). Belirsiz ortamlarda karar verme: Duyarlılık Analizi. Dergi Park, Haziran, 1997. ss. (49-55).

[30] Sahu N.P. (2014). Study on aramid fibre and comparison with other composite materials, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, 1:303–6.

[31] Shehata I.A.E.M., Carneiro L.A.V., & Shehata, L.C.D. (2002). Strength of short concrete columns confined with CFRP sheets. Mater. Struct., 35(1), 50–58.

[32] Shishegaran A., Varaee H., Rabczuk T., & Shishegaran G., (2021). High correlated variables creator machine: Prediction of the compressive strength of concrete. Computers and Structures 247, 106479.

[33] Tao Z., Yu Q., & Zhong Y.Z. (2008). Compressive behaviour of CFRP-confined rectangular concrete columns. Mag. Concrete Res., 60(10), 735–745.

[34] Wang D.Y., Wang Z.Y., Smith S.T., & Yu T. (2016). Size effect on axial stress-strain behavior of CFRP-confined square concrete columns. Construct Build Mater 2016;118:116–26.

[35] Wang L.M., & Wu Y.F. (2008). Effect of corner radius on the performance of CFRP-confined square concrete columns: Test. Eng Struct 2008;30:493–505.

[36] Wang Z.Y., Wang D.Y., Smith S.T., & Lu D.G. (2012). CFRP- confined square RC columns. I: Experimental investigation. J. Com-pos. Constr., 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000245, 150–160.

[37] Wu Y.F., & Wei Y.Y. (2010). Effect of cross-sectional aspect ratio on the strength of CFRP-confined rectangular concrete columns. Eng. Struct., 32(1), 32–45.

[38] Yeh F.Y., & Chang K.C. (2012) Size and shape effects on strength and ultimate strain in FRP confined rectangular concrete columns. Journal of Mechanics 28(4): 677–690.

[39] Youssef M.N., Feng M.Q., & Mosallam A.S. Stress-strain model for concrete confined by FRP composites. Composites Part B 2007;38(2007):614-28.

[40] Zeng J.J., Guo Y.C., Gao W.Y., Li J.Z., & Xie J.H. (2017). Behavior of partially and fully FRP-confined circularized square columns under axial compression. Construction and Building Materials 152, 319-332.

[41] Zeng J.J., Lin G., Teng J.G., & Li L.J. (2018). Behavior of large-scale FRP-confined rectangular RC columns under axial compression. Engineering 174, 629-645.

[42] Zeng J.J., Zhuge Y., Liang S.D., & Bai Y.L. (2022). Durability assessment of PEN/PET FRP composites based on accelerated aging in alkaline solution/seawater with different temperatures. Construction and Building Materials 126992.

[43] Zhu J.Y., Lin G., Teng J.G., Chan T.M., Zeng J.J., & Li L.J. (2020). FRP-confined square concrete columns with section curvilinearization under axial compression. J Compos Construct 2020;24:04020004.

A
EK

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları

Kaynak	Deney Nu. (484)	FRP Tipi	b (mm)	h (mm)	r (mm)	f_{co} (MPa)	E_f (MPa)	nt_f (mm)	$\varepsilon_{h,rup}$	f_{cc} (MPa)
Rochette ve Labossière (2000) [27]	1	C	152	152	38	42	83000	0.9	0.0078	47.5
	2	C	152	152	25	43.9	83000	1.2	0.0078	50.9
	3	C	152	152	25	43.9	83000	1.5	0.0078	47.9
	4	C	152	152	25	35.8	83000	1.2	0.0078	52.3
	5	C	152	152	25	35.8	83000	1.5	0.0078	57.6
	6	C	152	152	38	35.8	83000	1.2	0.0078	59.4
	7	C	152	152	38	35.8	83000	1.5	0.0078	68.7
	8	A	152	203	5	43	14000	1.26	0.0088	50.7
	9	A	152	203	5	43	14000	2.52	0.0088	51.6
	10	A	152	203	5	43	14000	3.78	0.0088	53.8
	11	A	152	203	5	43	14000	5.04	0.0088	54.2
	12	A	152	203	25	43	14000	1.26	0.0088	51.2
	13	A	152	203	25	43	14000	2.52	0.0088	51.2
	14	A	152	203	25	43	14000	3.78	0.0088	53.3
	15	A	152	203	25	43	14000	5.04	0.0088	55
	16	A	152	203	38	43	14000	2.52	0.0088	50.7
	17	A	152	203	38	43	14000	3.78	0.0088	52.9
Harajli ve Hantouche (2006) [14]	18	C	132	132	15	18.3	230000	0.13	0.0078	28.9
	19	C	132	132	15	18.3	230000	0.26	0.0078	40
	20	C	132	132	15	18.3	230000	0.39	0.0078	43.1
	21	C	132	132	15	18.3	230000	0.13	0.0078	25.4

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	22	C	132	132	15	18.3	230000	0.26	0.0078	36.8
	23	C	132	132	15	18.3	230000	0.39	0.0078	47
	24	C	102	176	15	18.3	230000	0.13	0.0078	23.5
	25	C	102	176	15	18.3	230000	0.26	0.0078	31
	26	C	102	176	15	18.3	230000	0.39	0.0078	36.5
	27	C	102	176	15	18.3	230000	0.13	0.0078	21.5
	28	C	102	176	15	18.3	230000	0.26	0.0078	27.8
	29	C	102	176	15	18.3	230000	0.39	0.0078	36.4
	30	C	79	214	15	18.3	230000	0.13	0.0078	27.8
	31	C	79	214	15	18.3	230000	0.26	0.0078	28.4
	32	C	79	214	15	18.3	230000	0.39	0.0078	30.4
	33	C	79	214	15	18.3	230000	0.13	0.0078	18.5
	34	C	79	214	15	18.3	230000	0.26	0.0078	22
	35	C	79	214	15	18.3	230000	0.39	0.0078	28.9
Rousakis vd. (2007) [28]	36	C	200	200	30	33	240000	0.12	0.0081	38.4
	37	C	200	200	30	33	240000	0.12	0.0081	38.78
	38	C	200	200	30	33	240000	0.36	0.0081	45.9
	39	C	200	200	30	33	240000	0.36	0.0081	42.39
	40	C	200	200	30	33	240000	0.36	0.0081	42.55
	41	C	200	200	30	33	240000	0.36	0.0081	41.82
	42	C	200	200	30	33	240000	0.6	0.0081	55.6
	43	C	200	200	30	33	240000	0.6	0.0081	59.45
	44	G	200	200	30	33	65000	0.84	0.0146	44.6
	45	G	200	200	30	33	65000	0.84	0.0146	47.42
	46	G	200	200	30	33	65000	1.26	0.0146	51.9
	47	G	200	200	30	33	65000	1.26	0.0146	55.49
	48	C	200	200	30	34	240000	0.12	0.0081	42.2
	49	C	200	200	30	34	240000	0.12	0.0081	41.91

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	50	C	200	200	30	34	240000	0.36	0.0081	45.2
	51	C	200	200	30	34	240000	0.36	0.0081	45.6
	52	C	200	200	30	34	240000	0.6	0.0081	54.6
	53	C	200	200	30	34	240000	0.6	0.0081	54.9
	54	G	200	200	30	38	65000	0.42	0.0146	40.3
	55	G	200	200	30	38	65000	0.42	0.0146	39.0
	56	G	200	200	30	38	65000	0.84	0.0146	52.8
	57	G	200	200	30	38	65000	0.84	0.0146	52.4
	58	G	200	200	30	38	65000	1.26	0.0146	59.8
	59	G	200	200	30	38	65000	1.26	0.0146	60.1
	60	G	200	200	30	40	65000	0.42	0.0146	43.1
	61	G	200	200	30	40	65000	0.42	0.0146	37.7
	62	G	200	200	30	40	65000	0.84	0.0146	54.2
	63	G	200	200	30	40	65000	0.84	0.0146	47.1
	64	G	200	200	30	40	65000	1.26	0.0146	59.5
	65	G	200	200	30	40	65000	1.26	0.0146	61.5
Lam ve Teng (2003) [19]	66	C	150	150	15	33.7	257000	0.17	0.0092	35
	67	C	150	150	25	33.7	257000	0.17	0.0092	39.4
	68	C	150	150	15	33.7	257000	0.34	0.0092	50.4
	69	C	150	150	25	33.7	257000	0.34	0.0092	61.9
	70	C	150	150	15	33.7	257000	0.51	0.0092	61.6
	71	C	150	150	25	33.7	257000	0.51	0.0092	66
	72	C	200	200	15	33.7	257000	0.17	0.0103	33
	73	C	150	150	25	33.7	257000	0.17	0.0103	39
	74	C	150	150	15	33.7	257000	0.34	0.0103	50.8
	75	C	150	150	25	33.7	257000	0.34	0.0103	60
	76	C	150	150	15	24	257000	0.51	0.0103	61

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	77	C	150	150	25	24	257000	0.51	0.0103	65
	78	C	150	150	15	24	257000	0.68	0.0103	60
	79	C	150	150	15	41.5	257000	0.85	0.0103	95
	80	C	150	225	25	41.5	257000	0.68	0.0103	45
	81	C	150	225	15	41.5	257000	0.68	0.0103	57
Masia vd. (2004) [20]	82	C	100	100	25	25.5	230000	0.26	0.0078	55.9
	83	C	100	100	25	22.8	230000	0.26	0.0078	48.7
	84	C	100	100	25	25.1	230000	0.26	0.0078	45.7
	85	C	100	100	25	23.8	230000	0.26	0.0078	50.7
	86	C	100	100	25	21.7	230000	0.26	0.0078	56.2
	87	C	125	125	25	23.7	230000	0.26	0.0078	45
	88	C	125	125	25	22.9	230000	0.26	0.0078	39.9
	89	C	125	125	25	25.7	230000	0.26	0.0078	42.1
	90	C	125	125	25	25.5	230000	0.26	0.0078	35.5
	91	C	125	125	25	24.3	230000	0.26	0.0078	40.2
	92	C	150	150	25	24.5	230000	0.26	0.0078	35.7
	93	C	150	150	25	21.3	230000	0.26	0.0078	36.2
	94	C	150	150	25	24.8	230000	0.26	0.0078	36.6
	95	C	150	150	25	23.6	230000	0.26	0.0078	36.5
	96	C	150	150	25	25.3	230000	0.26	0.0078	36
Wang ve Wu (2008) [35]	97	C	150	150	0	31.4	219000	0.17	0.0104	32
	98	C	150	150	0	31.2	219000	0.17	0.0104	32
	99	C	150	150	0	32.3	219000	0.17	0.0104	32.7
	100	C	150	150	0	31.7	219000	0.17	0.0104	32.2
	101	C	150	150	0	31.4	219000	0.34	0.0104	32.1
	102	C	150	150	0	31.2	219000	0.34	0.0104	31.8
	103	C	150	150	0	32.3	219000	0.34	0.0104	32.7

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	104	C	150	150	0	31.7	219000	0.34	0.0104	32.2
	105	C	150	150	15	32.9	219000	0.17	0.0104	38.8
	106	C	150	150	15	32.2	219000	0.17	0.0104	31
	107	C	150	150	15	30.7	219000	0.17	0.0104	30.8
	108	C	150	150	15	31.9	219000	0.17	0.0104	33.6
	109	C	150	150	15	32.9	219000	0.34	0.0104	40.5
	110	C	150	150	15	32.2	219000	0.34	0.0104	43.6
	111	C	150	150	15	30.7	219000	0.34	0.0104	42.4
	112	C	150	150	15	31.9	219000	0.34	0.0104	42.2
	113	C	150	150	30	32.6	219000	0.17	0.0104	43.4
	114	C	150	150	30	31.1	219000	0.17	0.0104	38.8
	115	C	150	150	30	33.1	219000	0.17	0.0104	37.1
	116	C	150	150	30	32.3	219000	0.17	0.0104	39.8
	117	C	150	150	30	32.6	219000	0.34	0.0104	58.1
	118	C	150	150	30	31.1	219000	0.34	0.0104	57.5
	119	C	150	150	30	33.1	219000	0.34	0.0104	53.8
	120	C	150	150	30	32.3	219000	0.34	0.0104	56.5
	121	C	150	150	45	30.1	219000	0.17	0.0104	48.3
	122	C	150	150	45	32.6	219000	0.17	0.0104	42.1
	123	C	150	150	45	29.3	219000	0.17	0.0104	40.8
	124	C	150	150	45	30.7	219000	0.17	0.0104	43.7
	125	C	150	150	45	30.1	219000	0.34	0.0104	64.6
	126	C	150	150	45	32.6	219000	0.34	0.0104	69.4
	127	C	150	150	45	29.3	219000	0.34	0.0104	70.1
	128	C	150	150	45	30.7	219000	0.34	0.0104	68
	129	C	150	150	60	30.9	219000	0.17	0.0104	50.9
	130	C	150	150	60	31.1	219000	0.17	0.0104	51.7

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	131	C	150	150	60	33.5	219000	0.17	0.0104	47.3
	132	C	150	150	60	31.8	219000	0.17	0.0104	50
	133	C	150	150	60	30.9	219000	0.34	0.0104	81.1
	134	C	150	150	60	31.1	219000	0.34	0.0104	73.6
	135	C	150	150	60	33.5	219000	0.34	0.0104	82.1
	136	C	150	150	60	31.8	219000	0.34	0.0104	78.9
	137	C	150	150	0	51.2	226000	0.17	0.0100	52.4
	138	C	150	150	0	53.3	226000	0.17	0.0100	54.6
	139	C	150	150	0	52	226000	0.17	0.0100	54.1
	140	C	150	150	0	52.1	226000	0.17	0.0100	53.7
	141	C	150	150	0	51.2	226000	0.34	0.0100	56.2
	142	C	150	150	0	53.3	226000	0.34	0.0100	55
	143	C	150	150	0	52	226000	0.34	0.0100	56.7
	144	C	150	150	0	52.1	226000	0.34	0.0100	55.9
	145	C	150	150	15	54.7	226000	0.17	0.0100	55
	146	C	150	150	15	55.2	226000	0.17	0.0100	56.1
	147	C	150	150	15	52.5	226000	0.17	0.0100	56.2
	148	C	150	150	15	54.7	226000	0.34	0.0100	59.6
	149	C	150	150	15	55.2	226000	0.34	0.0100	59.6
	150	C	150	150	15	52.5	226000	0.34	0.0100	59
	151	C	150	150	30	53.5	226000	0.17	0.0100	56.2
	152	C	150	150	30	53.1	226000	0.17	0.0100	55.5
	153	C	150	150	30	49.4	226000	0.17	0.0100	56
	154	C	150	150	30	53.5	226000	0.34	0.0100	65.2
	155	C	150	150	30	53.1	226000	0.34	0.0100	61.4
	156	C	150	150	30	49.4	226000	0.34	0.0100	62.5
	157	C	150	150	45	53.2	226000	0.17	0.0100	56.4

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	158	C	150	150	45	51.5	226000	0.17	0.0100	58.4
	159	C	150	150	45	53.3	226000	0.17	0.0100	57.9
	160	C	150	150	45	53.2	226000	0.34	0.0100	81.3
	161	C	150	150	45	51.5	226000	0.34	0.0100	78.8
	162	C	150	150	45	53.3	226000	0.34	0.0100	80.9
	163	C	150	150	60	53.9	226000	0.17	0.0100	62.4
	164	C	150	150	60	52	226000	0.17	0.0100	62.7
	165	C	150	150	60	52.3	226000	0.17	0.0100	62.8
	166	C	150	150	60	53.9	226000	0.34	0.0100	87.9
	167	C	150	150	60	52	226000	0.34	0.0100	90.9
	168	C	150	150	60	52.3	226000	0.34	0.0100	90.4
Wu ve Wei (2010) [37]	169	C	150	150	30	35.3	229000	0.17	0.0096	40.5
	170	C	150	150	30	35.3	229000	0.17	0.0096	40.7
	171	C	150	150	30	35.3	229000	0.17	0.0096	42.5
	172	C	150	150	30	35.3	229000	0.34	0.0096	59.2
	173	C	150	150	30	35.3	229000	0.34	0.0096	59.6
	174	C	150	150	30	35.3	229000	0.34	0.0096	62.3
	175	C	150	188	30	35.3	229000	0.17	0.0096	38
	176	C	150	188	30	35.3	229000	0.17	0.0096	38.9
	177	C	150	188	30	35.3	229000	0.17	0.0096	39.4
	178	C	150	188	30	35.3	229000	0.34	0.0096	48.8
	179	C	150	188	30	35.3	229000	0.34	0.0096	51.9
	180	C	150	188	30	35.3	229000	0.34	0.0096	53.3
	181	C	150	225	30	35.3	229000	0.17	0.0096	37.6
	182	C	150	225	30	35.3	229000	0.17	0.0096	35.6
	183	C	150	225	30	35.3	229000	0.17	0.0096	39.2
	184	C	150	225	30	35.3	229000	0.34	0.0096	43

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	185	C	150	225	30	35.3	229000	0.34	0.0096	45.2
	186	C	150	225	30	35.3	229000	0.34	0.0096	43.4
	187	C	150	260	30	35.3	229000	0.17	0.0096	35.2
	188	C	150	260	30	35.3	229000	0.17	0.0096	37.8
	189	C	150	260	30	35.3	229000	0.17	0.0096	37.6
	190	C	150	260	30	35.3	229000	0.34	0.0096	38.9
	191	C	150	260	30	35.3	229000	0.34	0.0096	41.4
	192	C	150	260	30	35.3	229000	0.34	0.0096	41.3
	193	C	150	300	30	35.3	229000	0.17	0.0096	36.6
	194	C	150	300	30	35.3	229000	0.17	0.0096	37.7
	195	C	150	300	30	35.3	229000	0.17	0.0096	38
	196	C	150	300	30	35.3	229000	0.34	0.0096	38.6
	197	C	150	300	30	35.3	229000	0.34	0.0096	39.1
	198	C	150	300	30	35.3	229000	0.34	0.0096	39.3
Wang vd. (2012) [36]	199	C	305	305	30	25.5	240000	0.17	0.0095	17.2
	200	C	305	305	30	25.5	240000	0.34	0.0095	24.4
	201	C	305	305	30	25.5	240000	0.17	0.0095	19.4
	202	C	305	305	30	25.5	240000	0.34	0.0095	26
	203	C	305	305	30	25.5	240000	0.51	0.0095	29.2
	204	C	305	305	30	25.5	240000	0.17	0.0095	24.9
	205	C	305	305	30	25.5	240000	0.34	0.0095	26.2
	206	C	305	305	30	25.5	240000	0.51	0.0095	31.1
	207	C	204	305	20	25.5	240000	0.17	0.0095	25
	208	C	204	305	20	25.5	240000	0.34	0.0095	31.4
	209	C	204	305	20	25.5	240000	0.17	0.0095	29.7
	210	C	204	305	20	25.5	240000	0.34	0.0095	25.3
	211	C	204	305	20	25.5	240000	0.17	0.0095	26.9

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	212	C	204	305	20	25.5	240000	0.34	0.0095	36.1
	213	C	100	100	10	25.7	240000	0.17	0.0095	40.1
	214	C	200	200	28	24.6	240000	0.34	0.0095	37.6
	215	C	300	300	42	22.7	240000	0.51	0.0095	35.2
	216	C	400	400	45	21.1	240000	0.68	0.0095	26.8
	217	C	150	150	20	25.4	240000	0.17	0.0095	37.6
	218	C	300	300	35	22.7	240000	0.34	0.0095	32.5
	219	C	175	175	25	25.2	240000	0.17	0.0095	35
	220	C	350	350	45	21.9	240000	0.34	0.0095	26.7
	221	C	175	175	25	25.2	240000	0.34	0.0095	44.6
	222	C	350	350	40	21.9	240000	0.68	0.0095	33.1
	223	C	200	200	25	24.6	240000	0.17	0.0095	29.8
	224	C	400	400	55	21.1	240000	0.34	0.0095	21.7
Shehata vd. (2002) [31]	225	C	150	150	10	23.7	235000	0.17	0.0078	27.4
	226	C	150	150	10	23.7	235000	0.34	0.0078	36.5
	227	C	150	150	10	29.5	235000	0.17	0.0078	40.4
	228	C	150	150	10	29.5	235000	0.34	0.0078	43.7
İlki ve Kumbasar (2003) [15]	229	C	250	250	40	32.8	230000	0.17	0.0078	32.7
	230	C	250	250	40	32.8	230000	0.17	0.0078	32.3
	231	C	250	250	40	32.8	230000	0.51	0.0078	41.4
	232	C	250	250	40	32.8	230000	0.51	0.0078	40.6
	233	C	250	250	40	32.8	230000	0.85	0.0078	56.7
	234	C	250	250	40	32.8	230000	0.85	0.0078	53.6
Al-Salloum (2007) [3]	235	C	150	150	5	28.7	75000	1.2	0.0065	41.2
	236	C	150	150	5	30.9	75000	1.2	0.0065	42.5
	237	C	150	150	25	31.8	75000	1.2	0.0065	48.3
	238	C	150	150	25	28.5	75000	1.2	0.0065	45.6

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	239	C	150	150	38	27.7	75000	1.2	0.0065	57
	240	C	150	150	38	30.3	75000	1.2	0.0065	55
	241	C	150	150	50	26.7	75000	1.2	0.0065	61.7
	242	C	150	150	50	28.3	75000	1.2	0.0065	63.7
Tao vd. (2008) [33]	243	C	150	150	20	22	239000	0.17	0.0098	33.5
	244	C	150	150	20	22	239000	0.34	0.0098	49.6
	245	C	150	150	20	19.5	239000	0.34	0.0098	47.2
	246	C	150	150	35	22	239000	0.34	0.0098	64.8
	247	C	150	150	35	19.5	239000	0.34	0.0098	58.7
	248	C	150	150	50	22	239000	0.34	0.0098	76.6
	249	C	150	150	50	19.5	239000	0.34	0.0098	63.6
	250	C	150	150	20	49.5	239000	0.17	0.0098	54.2
	251	C	150	150	20	49.5	239000	0.34	0.0098	61.4
	252	C	150	150	35	49.5	239000	0.34	0.0098	84.9
	253	C	150	150	50	49.5	239000	0.34	0.0098	86.1
Pessiki vd. (2001) [25]	254	C	152	152	38	26.4	38100	1	0.0078	41.4
	255	C	152	152	38	26.4	38100	2	0.0078	55.1
Zeng vd. (2017) [40]	256	C	168	168	25	24.3	259700	0.17	0.0091	29.6
	257	C	168	168	25	24.3	259700	0.34	0.0091	36.0
	258	C	290	435	25	43.4	240000	0.34	0.0089	46.5
	259	C	290	435	25	37.4	240000	0.68	0.0089	42.1
	260	C	290	435	45	34.1	240000	0.68	0.0089	42.2
	261	C	290	435	65	34.1	240000	0.68	0.0089	44.9
	262	C	290	435	45	30.8	240000	1.36	0.0089	45.2
	263	C	290	435	65	30.8	240000	1.36	0.0089	51.1
	264	C	290	435	45	34.1	240000	2.04	0.0089	63.9
	265	C	290	435	65	34.1	240000	2.04	0.0089	68.4

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

Özbakkaloğlu ve Lim (2013) [24]	266	C	200	200	10	26.7	240000	0.36	0.0081	24.7
	267	C	200	200	20	26.7	240000	0.36	0.0081	25.9
	268	C	200	200	40	26.7	240000	0.36	0.0081	33.8
	269	C	200	200	10	26.7	240000	0.6	0.0081	26.9
	270	C	200	200	20	26.7	240000	0.6	0.0081	35
	271	C	200	200	40	26.7	240000	0.6	0.0081	47.2
	272	C	150	150	15	105.2	240000	1.17	0.0081	98.6
	273	C	150	150	15	105.2	240000	1.17	0.0081	104.
	274	C	150	150	30	107.3	240000	1.17	0.0081	110.
	275	C	150	150	30	107.3	240000	1.17	0.0081	104.
	276	C	150	150	15	110.5	240000	1.87	0.0081	110.
	277	C	150	150	15	110.5	240000	1.87	0.0081	103.
	278	C	150	150	30	110.8	240000	1.87	0.0081	118.
	279	C	150	150	30	110.8	240000	1.87	0.0081	109.
	280	C	125	187.	15	105.2	240000	1.17	0.0081	99.1
	281	C	125	187.	15	105.2	240000	1.17	0.0081	102
	282	C	125	187.	30	107.3	240000	1.17	0.0081	104.
	283	C	125	187.	30	107.3	240000	1.17	0.0081	107.
	284	C	125	187.	15	110.5	240000	1.87	0.0081	109.
	285	C	125	187.	15	110.5	240000	1.87	0.0081	105.
	286	C	125	187.	30	110.8	240000	1.87	0.0081	119.
	287	C	125	187.	30	110.8	240000	1.87	0.0081	112.
	288	C	112.5	225	15	105.2	240000	1.17	0.0081	101.
	289	C	112.5	225	15	105.2	240000	1.17	0.0081	102.
	290	C	112.5	225	30	107.3	240000	1.17	0.0081	109.
	291	C	112.5	225	30	107.3	240000	1.17	0.0081	108.
	292	C	112.5	225	15	110.5	240000	1.87	0.0081	106.
	293	C	112.5	225	15	110.5	240000	1.87	0.0081	104.

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	294	C	112.5	225	30	110.8	240000	1.87	0.0081	115.
	295	C	112.5	225	30	110.8	240000	1.87	0.0081	112.
Benzaid ve Mesbah (2013) [6]	296	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	27.6
	297	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	32.0
	298	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	40.4
	299	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	41.5
	300	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	48.8
	301	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	49.4
	302	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	28.8
	303	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	31.9
	304	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	35.7
	305	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	37.7
	306	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	41.3
	307	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	42.3
	308	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	33.1
	309	C	140	140	16	26	34000	1	0.0073	34.6
	310	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	39.8
	311	C	140	140	16	26	34000	3	0.0073	38.5
	312	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	52.5
	313	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	58.2
	314	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	63.4
	315	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	60.6
	316	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	67.3
	317	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	70.8
	318	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	50.7
	319	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	54.1
	320	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	61.8

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	321	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	61.3
	322	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	67.1
	323	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	64.6
	324	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	60.1
	325	C	140	140	16	50	34000	1	0.0073	60.1
	326	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	65.6
	327	C	140	140	16	50	34000	3	0.0073	65.8
	328	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	61.3
	329	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	70.3
	330	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	72.8
	331	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	76.8
	332	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	79.5
	333	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	79.6
	334	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	62.3
	335	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	64.6
	336	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	72.0
	337	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	73.5
	338	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	77.3
	339	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	78.4
	340	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	65.7
	341	C	140	140	16	62	34000	1	0.0073	67.7
	342	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	72.5
	343	C	140	140	16	62	34000	3	0.0073	72.5
Yeh ve Chang (2012) [38]	344	C	150	150	30	20.6	230540	0.28	0.0078	44.3
	345	C	150	150	30	20.6	230540	0.28	0.0078	40.8
	346	C	150	150	30	20.6	230540	0.42	0.0078	55.7
	347	C	150	150	30	20.6	230540	0.42	0.0078	57.0

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	348	C	300	300	30	20.6	230540	0.42	0.0078	31.5
	349	C	300	300	30	20.6	230540	0.42	0.0078	33.7
	350	C	300	300	30	20.6	230540	0.56	0.0078	42.8
	351	C	300	300	30	20.6	230540	0.56	0.0078	40.9
	352	C	450	450	30	20.6	230540	0.42	0.0078	30.1
	353	C	450	450	30	20.6	230540	0.42	0.0078	29.2
	354	C	450	450	30	20.6	230540	0.98	0.0078	34.3
	355	C	450	450	30	20.6	230540	0.98	0.0078	36.4
	356	C	150	225	30	20.6	230540	0.28	0.0078	36.7
	357	C	150	225	30	20.6	230540	0.28	0.0078	35.0
	358	C	150	225	30	20.6	230540	0.42	0.0078	45.1
	359	C	150	225	30	20.6	230540	0.42	0.0078	44.5
	360	C	300	450	30	20.6	230540	0.42	0.0078	29.5
	361	C	300	450	30	20.6	230540	0.42	0.0078	28.4
	362	C	300	450	30	20.6	230540	0.84	0.0078	33.2
	363	C	300	450	30	20.6	230540	0.84	0.0078	34.8
	364	C	150	300	30	20.6	230540	0.28	0.0078	32.1
	365	C	150	300	30	20.6	230540	0.28	0.0078	31.5
	366	C	150	300	30	20.6	230540	0.56	0.0078	36.8
	367	C	150	300	30	20.6	230540	0.56	0.0078	35.8
	368	C	300	600	30	20.6	230540	0.56	0.0078	26.9
	369	C	300	600	30	20.6	230540	0.56	0.0078	25.4
	370	C	300	600	30	20.6	230540	1.12	0.0078	31.1
	371	C	300	600	30	20.6	230540	1.12	0.0078	28.8
Abbasnia ve Ziaadiny (2015) [1]	372	C	150	150	13.6	32	246000	0.35	0.0089	39.1
	373	C	150	150	22.6	32	246000	0.35	0.0089	45.5
	374	C	150	150	34.5	34	246000	0.35	0.0089	51.4

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	375	C	150	150	42	34	246000	0.35	0.0089	52.2
	376	C	120	180	18.1	35	246000	0.35	0.0089	40.6
	377	C	120	180	27.6	32	246000	0.35	0.0089	42.7
	378	C	120	180	34.5	32	246000	0.35	0.0089	46.2
	379	C	90	180	13.6	34	246000	0.35	0.0089	38.6
	380	C	90	180	22.6	32	246000	0.35	0.0089	38.9
	381	C	90	180	26.8	32	246000	0.35	0.0089	42.4
	382	C	150	150	13.6	49	246000	0.35	0.0089	49.6
	383	C	150	150	22.6	51.5	246000	0.35	0.0089	56.0
	384	C	150	150	34.5	51.5	246000	0.35	0.0089	62.2
	385	C	150	150	42	50	246000	0.35	0.0089	65.0
	386	C	120	180	18.1	50	246000	0.35	0.0089	52.8
	387	C	120	180	27.6	51.5	246000	0.35	0.0089	56.3
	388	C	120	180	34.5	50	246000	0.35	0.0089	60.5
	389	C	90	180	13.6	49	246000	0.35	0.0089	51.4
	390	C	90	180	22.6	49	246000	0.35	0.0089	51.7
	391	C	90	180	26.8	49	246000	0.35	0.0089	54.0
Han vd. (2020) [12]	392	PEN	150	150	0	24.9	27000	1.27	0.0303	26.4
	393	PEN	150	150	0	24.9	27000	1.27	0.0303	27.1
	394	PEN	150	150	0	24.9	27000	2.54	0.0303	40.6
	395	PEN	150	150	0	24.9	27000	2.54	0.0303	41.8
	396	PET	150	150	0	24.9	17900	0.84	0.0434	20
	397	PET	150	150	0	24.9	17900	0.84	0.0434	22.2
	398	PET	150	150	0	24.9	17900	1.68	0.0434	27.5
	399	PET	150	150	0	24.9	17900	1.68	0.0434	27
	400	PEN	150	150	15	24.8	27000	1.27	0.0303	40.4
	401	PEN	150	150	15	24.8	27000	1.27	0.0303	38.6

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	402	PEN	150	150	15	24.8	27000	2.54	0.0303	59.2
	403	PEN	150	150	15	24.8	27000	2.54	0.0303	61.6
	404	PET	150	150	15	24.8	17900	0.84	0.0434	31.7
	405	PET	150	150	15	24.8	17900	0.84	0.0434	29.8
	406	PET	150	150	15	24.8	17900	1.68	0.0434	41.7
	407	PET	150	150	15	24.8	17900	1.68	0.0434	48.6
	408	PEN	150	150	25	24.6	27000	1.27	0.0303	44.9
	409	PEN	150	150	25	24.6	27000	1.27	0.0303	41.2
	410	PEN	150	150	25	24.6	27000	2.54	0.0303	63.5
	411	PEN	150	150	25	24.6	27000	2.54	0.0303	63
	412	PET	150	150	25	24.6	17900	0.84	0.0434	31.3
	413	PET	150	150	25	24.6	17900	0.84	0.0434	33.1
	414	PET	150	150	25	24.6	17900	1.68	0.0434	41.4
	415	PET	150	150	25	24.6	17900	1.68	0.0434	48.7
	416	PEN	150	150	40	23.4	27000	2.54	0.0303	66.5
	417	PEN	150	150	40	23.4	27000	2.54	0.0303	69
	418	PET	150	150	40	23.4	17900	0.84	0.0434	37.5
	419	PET	150	150	40	23.4	17900	0.84	0.0434	35.5
	420	PET	150	150	40	23.4	17900	1.68	0.0434	62.7
	421	PET	150	150	40	23.4	17900	1.68	0.0434	61.1
	422	PEN	150	150	60	24.6	27000	1.27	0.0303	54.1
	423	PEN	150	150	60	24.6	27000	1.27	0.0303	58.8
	424	PEN	150	150	60	24.6	27000	2.54	0.0303	93.6
	425	PEN	150	150	60	24.6	27000	2.54	0.0303	97.4
	426	PET	150	150	60	24.6	17900	0.84	0.0434	42.4
	427	PET	150	150	60	24.6	17900	0.84	0.0434	43.8
	428	PET	150	150	60	24.6	17900	1.68	0.0434	63.9
	429	PET	150	150	60	24.6	17900	1.68	0.0434	66.7

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

Diego vd. (2019) [7]	430	C	150	150	20	41	237000	0.13	0.0092	41.2
	431	C	150	150	20	41	237000	0.13	0.0092	44.8
	432	C	150	150	40	41	237000	0.13	0.0092	52.5
	433	C	150	150	40	41	237000	0.13	0.0092	51.5
	434	C	150	150	20	41	237000	0.26	0.0092	51.4
	435	C	150	150	20	41	237000	0.26	0.0092	58.9
	436	C	150	150	40	41	237000	0.26	0.0092	77
	437	C	150	150	40	41	237000	0.26	0.0092	75.1
	438	C	150	150	20	41	237000	0.39	0.0092	84.1
	439	C	150	150	20	41	237000	0.39	0.0092	73.2
	440	C	150	150	40	41	237000	0.39	0.0092	94.6
	441	C	150	150	40	41	237000	0.39	0.0092	92.6
Nistico ve Monti (2013) [22]	442	C	150	150	0	31.7	230000	0.17	0.0078	32.2
	443	C	150	150	15	31.9	230000	0.17	0.0078	33.6
	444	C	150	150	30	32.3	230000	0.17	0.0078	39.8
	445	C	150	150	45	30.7	230000	0.17	0.0078	43.7
	446	C	150	150	60	31.8	230000	0.17	0.0078	50
	447	C	150	150	0	31.7	230000	0.34	0.0078	32.2
	448	C	150	150	15	31.9	230000	0.34	0.0078	42.2
	449	C	150	150	30	32.3	230000	0.34	0.0078	56.5
	450	C	150	150	45	30.7	230000	0.34	0.0078	68
	451	C	150	150	60	31.8	230000	0.34	0.0078	78.9
	452	C	150	150	0	52.1	230000	0.17	0.0078	53.7
	453	C	150	150	15	54.1	230000	0.17	0.0078	55.8
	454	C	150	150	30	52	230000	0.17	0.0078	55.9
	455	C	150	150	45	52.7	230000	0.17	0.0078	57.6
	456	C	150	150	60	52.7	230000	0.17	0.0078	62.6
	457	C	150	150	0	52.1	230000	0.34	0.0078	55.9

Tablo EK.1 (f_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	458	C	150	150	15	54.1	230000	0.34	0.0078	59.4
	459	C	150	150	30	52	230000	0.34	0.0078	63
	460	C	150	150	45	52.7	230000	0.34	0.0078	80.3
	461	C	150	150	60	52.7	230000	0.34	0.0078	89.8
Hany vd. (2015) [13]	462	C	160	160	10	18.5	230000	0.13	0.0078	19.8
	463	C	160	160	10	18.5	230000	0.26	0.0078	22.9
	464	C	160	160	10	18.5	230000	0.39	0.0078	24.6
	465	C	140	180	10	17.6	230000	0.13	0.0078	18
	466	C	140	180	10	17.6	230000	0.26	0.0078	21.5
	467	C	140	180	10	17.6	230000	0.39	0.0078	24.8
	468	C	130	200	10	20.2	230000	0.13	0.0078	16
	469	C	130	200	10	20.2	230000	0.26	0.0078	18
	470	C	130	200	10	20.2	230000	0.39	0.0078	19.8
Isleem vd. (2015) [16]	471	C	200	300	30	46.3	240000	0.34	0.0085	43.6
	472	C	200	300	30	46.3	240000	0.51	0.0085	47.4
	473	C	200	300	30	46.3	240000	0.34	0.0085	36
	474	C	200	300	30	46.3	240000	0.51	0.0085	40
	475	C	200	400	40	46.3	240000	0.51	0.0085	33.1
	476	C	200	400	40	46.3	240000	0.68	0.0085	35.4
	477	C	200	400	40	46.3	240000	0.51	0.0085	30
	478	C	200	400	40	46.3	240000	0.68	0.0085	34
Zhu vd. (2020) [43]	479	C	150	150	25	31.8	234000	0.34	0.0087	46.2
	480	C	150	150	25	31.8	234000	0.34	0.0087	48.3
	481	C	150	150	25	32	234000	0.51	0.0087	56.7
	482	C	150	150	25	32	234000	0.51	0.0087	58.2
	483	C	300	300	50	25.7	246000	0.68	0.0102	47.1
	484	C	300	300	50	25.7	246000	0.68	0.0102	47.9

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları

Kaynak	Deney Nu. (299)	FRP Tipi	b (mm)	h (mm)	r (mm)	ε_{co}	f_{co} (MPa)	E_f (MPa)	nt_f (mm)	$\varepsilon_{h,rup}$	ε_{cc}
Rousakis vd. (2007) [28]	1	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.12	0.0081	0.0045
	2	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.12	0.0081	0.0036
	3	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.36	0.0081	0.0077
	4	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.36	0.0081	0.0051
	5	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.36	0.0081	0.0042
	6	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.36	0.0081	0.0031
	7	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.6	0.0081	0.011
	8	C	200	200	30	0.0017	33	240000	0.6	0.0081	0.0166
	9	G	200	200	30	0.0017	33	65000	0.84	0.0146	0.0077
	10	G	200	200	30	0.0017	33	65000	0.84	0.0146	0.0105
	11	G	200	200	30	0.0017	33	65000	1.26	0.0146	0.0104
	12	G	200	200	30	0.0017	33	65000	1.26	0.0146	0.0161
	13	C	200	200	30	0.0019	34	240000	0.12	0.0081	0.0029
	14	C	200	200	30	0.0019	34	240000	0.12	0.0081	0.0039
	15	C	200	200	30	0.0019	34	240000	0.36	0.0081	0.0088
	16	C	200	200	30	0.0019	34	240000	0.36	0.0081	0.0084
	17	C	200	200	30	0.0019	34	240000	0.6	0.0081	0.014
	18	C	200	200	30	0.0019	34	240000	0.6	0.0081	0.0107
	19	G	200	200	30	0.0022	38	65000	0.42	0.0146	0.0037
	20	G	200	200	30	0.0022	38	65000	0.42	0.0146	0.0043
	21	G	200	200	30	0.0022	38	65000	0.84	0.0146	0.0093
	22	G	200	200	30	0.0022	38	65000	0.84	0.0146	0.0031
	23	G	200	200	30	0.0022	38	65000	1.26	0.0146	0.0206
	24	G	200	200	30	0.0022	38	65000	1.26	0.0146	0.0131
	25	G	200	200	30	0.0015	40	65000	0.42	0.0146	0.0022
	26	G	200	200	30	0.0015	40	65000	0.42	0.0146	0.0097

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	27	G	200	200	30	0.0015	40	65000	0.84	0.0146	0.0044
	28	G	200	200	30	0.0015	40	65000	0.84	0.0146	0.0153
	29	G	200	200	30	0.0015	40	65000	1.26	0.0146	0.013
	30	G	200	200	30	0.0015	40	65000	1.26	0.0146	0.0071
İlki ve Kumbasar (2003) [15]	31	C	250	250	40	0.0017	32.8	230000	0.51	0.0078	0.019
	32	C	250	250	40	0.0017	32.8	230000	0.51	0.0078	0.018
	33	C	250	250	40	0.0017	32.8	230000	0.85	0.0078	0.029
	34	C	250	250	40	0.0017	32.8	230000	0.85	0.0078	0.024
Wang ve Wu (2008) [35]	35	C	150	150	30	0.002	32.6	219000	0.17	0.0104	0.0133
	36	C	150	150	45	0.002	30.1	219000	0.17	0.0104	0.015
	37	C	150	150	60	0.002	30.9	219000	0.17	0.0104	0.0186
	38	C	150	150	30	0.002	31.1	219000	0.17	0.0104	0.0172
	39	C	150	150	45	0.002	32.6	219000	0.17	0.0104	0.0136
	40	C	150	150	60	0.002	31.1	219000	0.17	0.0104	0.018
	41	C	150	150	30	0.002	33.1	219000	0.17	0.0104	0.0144
	42	C	150	150	45	0.002	29.3	219000	0.17	0.0104	0.0155
	43	C	150	150	60	0.002	33.5	219000	0.17	0.0104	0.017
	44	C	150	150	15	0.002	32.9	219000	0.34	0.0104	0.0247
	45	C	150	150	30	0.002	32.6	219000	0.34	0.0104	0.0253
	46	C	150	150	45	0.002	30.1	219000	0.34	0.0104	0.024
	47	C	150	150	60	0.002	30.9	219000	0.34	0.0104	0.0302
	48	C	150	150	30	0.002	31.1	219000	0.34	0.0104	0.0267
	49	C	150	150	45	0.002	32.6	219000	0.34	0.0104	0.0298
	50	C	150	150	60	0.002	31.1	219000	0.34	0.0104	0.0265
	51	C	150	150	15	0.002	30.7	219000	0.34	0.0104	0.027
	52	C	150	150	30	0.002	33.1	219000	0.34	0.0104	0.0198
	53	C	150	150	45	0.002	29.3	219000	0.34	0.0104	0.0271
	54	C	150	150	60	0.002	33.5	219000	0.34	0.0104	0.0326

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	55	C	150	150	60	0.002	53.9	225700	0.17	0.0100	0.0094
	56	C	150	150	60	0.002	52	225700	0.17	0.0100	0.0094
	57	C	150	150	60	0.002	52.3	225700	0.17	0.0100	0.0091
	58	C	150	150	45	0.002	53.2	225700	0.34	0.0100	0.0141
	59	C	150	150	45	0.002	51.5	225700	0.34	0.0100	0.0109
	60	C	150	150	60	0.002	52	225700	0.34	0.0100	0.0166
	61	C	150	150	45	0.002	53.3	225700	0.34	0.0100	0.0126
	62	C	150	150	60	0.002	52.3	225700	0.34	0.0100	0.016
Wang vd. (2016) [34]	63	C	100	100	10	0.002	25.7	240000	0.17	0.0095	0.0228
	64	C	200	200	28	0.002	24.6	240000	0.34	0.0095	0.0193
	65	C	300	300	42	0.002	22.7	240000	0.51	0.0095	0.0282
	66	C	400	400	45	0.002	21.1	240000	0.68	0.0095	0.0188
	67	C	150	150	20	0.002	25.4	240000	0.17	0.0095	0.0223
	68	C	300	300	35	0.002	22.7	240000	0.34	0.0095	0.0184
	69	C	175	175	25	0.002	25.2	240000	0.17	0.0095	0.0174
	70	C	350	350	45	0.002	21.9	240000	0.34	0.0095	0.0114
	71	C	175	175	25	0.002	25.2	240000	0.34	0.0095	0.0233
	72	C	350	350	40	0.002	21.9	240000	0.68	0.0095	0.0281
	73	C	200	200	25	0.002	24.6	240000	0.17	0.0095	0.0111
	74	C	400	400	55	0.002	21.1	240000	0.34	0.0095	0.0143
Masia vd. (2004) [20]	75	C	125	125	25	0.002	24.4	230000	0.26	0.0078	0.0162
	76	C	125	125	25	0.002	24.4	230000	0.26	0.0078	0.0155
	77	C	125	125	25	0.002	24.4	230000	0.26	0.0078	0.0172
	78	C	150	150	25	0.002	23.9	230000	0.26	0.0078	0.0106
	79	C	150	150	25	0.002	23.9	230000	0.26	0.0078	0.0109
	80	C	150	150	25	0.002	23.9	230000	0.26	0.0078	0.0152
Pessiki vd. (2001) [25]	81	C	152	152	38	0.002	26.4	38100	1	0.0078	0.0133
	82	C	152	152	38	0.002	26.4	38100	2	0.0078	0.017

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

Tao vd. (2008) [33]	83	C	150	150	35	0.002	49.5	241000	0.34	0.0091	0.0208
Al-Salloum (2007) [3]	84	C	150	150	38	0.002	27.7	75000	1.2	0.0065	0.0079
	85	C	150	150	38	0.002	30.3	75000	1.2	0.0065	0.0079
	86	C	150	150	50	0.002	26.7	75000	1.2	0.0065	0.0111
	87	C	150	150	50	0.002	28.3	75000	1.2	0.0065	0.0111
Zeng vd. (2017) [40]	88	C	168	168	25	0.0024	24.3	259700	0.17	0.0091	0.0038
	89	C	168	168	25	0.0024	24.3	259700	0.34	0.0091	0.0069
	90	C	290	435	25	0.0025	43.4	240000	0.34	0.0089	0.0094
	91	C	290	435	25	0.0025	37.4	240000	0.68	0.0089	0.0143
	92	C	290	435	45	0.0025	34.1	240000	0.68	0.0089	0.0216
	93	C	290	435	65	0.0025	34.1	240000	0.68	0.0089	0.023
	94	C	290	435	45	0.0025	30.8	240000	1.36	0.0089	0.0248
	95	C	290	435	65	0.0025	30.8	240000	1.36	0.0089	0.0262
	96	C	290	435	45	0.0025	34.1	240000	2.04	0.0089	0.0387
	97	C	290	435	65	0.0025	34.1	240000	2.04	0.0089	0.0437
Özbakkaloğlu ve Lim (2013) [24]	98	C	200	200	10	0.0022	26.7	240000	0.36	0.0081	0.0175
	99	C	200	200	20	0.0022	26.7	240000	0.36	0.0081	0.0212
	100	C	200	200	40	0.0022	26.7	240000	0.36	0.0081	0.0239
	101	C	200	200	10	0.0022	26.7	240000	0.6	0.0081	0.035
	102	C	200	200	20	0.0022	26.7	240000	0.6	0.0081	0.0335
	103	C	200	200	40	0.0022	26.7	240000	0.6	0.0081	0.0358
	104	C	150	150	15	0.0035	105	240000	1.17	0.0081	0.0182
	105	C	150	150	15	0.0035	105	240000	1.17	0.0081	0.0206
	106	C	150	150	30	0.0035	107	240000	1.17	0.0081	0.015
	107	C	150	150	30	0.0035	107	240000	1.17	0.0081	0.0143
	108	C	150	150	15	0.0035	110	240000	1.87	0.0081	0.0393
	109	C	150	150	15	0.0035	110	240000	1.87	0.0081	0.0174

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	110	C	150	150	30	0.0035	110.8	240000	1.87	0.0081	0.0162
	111	C	150	150	30	0.0035	110.8	240000	1.87	0.0081	0.0197
	112	C	125	187.5	15	0.0035	105.2	240000	1.17	0.0081	0.0192
	113	C	125	187.5	15	0.0035	105.2	240000	1.17	0.0081	0.0146
	114	C	125	187.5	30	0.0035	107.3	240000	1.17	0.0081	0.015
	115	C	125	187.5	30	0.0035	107.3	240000	1.17	0.0081	0.0147
	116	C	125	187.5	15	0.0035	110.5	240000	1.87	0.0081	0.022
	117	C	125	187.5	15	0.0035	110.5	240000	1.87	0.0081	0.03
	118	C	125	187.5	30	0.0035	110.8	240000	1.87	0.0081	0.0175
	119	C	125	187.5	30	0.0035	110.8	240000	1.87	0.0081	0.0163
	120	C	112.5	225	15	0.0035	105.2	240000	1.17	0.0081	0.0175
	121	C	112.5	225	15	0.0035	105.2	240000	1.17	0.0081	0.0149
	122	C	112.5	225	30	0.0035	107.3	240000	1.17	0.0081	0.0146
	123	C	112.5	225	30	0.0035	107.3	240000	1.17	0.0081	0.0145
	124	C	112.5	225	15	0.0035	110.5	240000	1.87	0.0081	0.0276
	125	C	112.5	225	15	0.0035	110.5	240000	1.87	0.0081	0.0291
	126	C	112.5	225	30	0.0035	110.8	240000	1.87	0.0081	0.0164
	127	C	112.5	225	30	0.0035	110.8	240000	1.87	0.0081	0.0155
Benzaid ve Mesbah (2013) [6]	128	C	140	140	16	0.0022	26	34000	1	0.0073	0.0056
	129	C	140	140	16	0.0022	26	34000	3	0.0073	0.0061
	130	C	140	140	16	0.0043	26	34000	1	0.0073	0.0054
	131	C	140	140	16	0.0043	26	34000	1	0.0073	0.0068
	132	C	140	140	16	0.0043	26	34000	3	0.0073	0.009
	133	C	140	140	16	0.0043	26	34000	3	0.0073	0.0078
	134	C	140	140	16	0.0011	26	34000	1	0.0073	0.0019
	135	C	140	140	16	0.0011	26	34000	3	0.0073	0.0029
	136	C	140	140	16	0.0018	26	34000	1	0.0073	0.0025
	137	C	140	140	16	0.0018	26	34000	1	0.0073	0.003

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	138	C	140	140	16	0.0018	26	34000	3	0.0073	0.0043
	139	C	140	140	16	0.0018	26	34000	3	0.0073	0.0045
	140	C	140	140	16	0.001	26	34000	1	0.0073	0.0018
	141	C	140	140	16	0.001	26	34000	1	0.0073	0.0023
	142	C	140	140	16	0.001	26	34000	3	0.0073	0.0043
	143	C	140	140	16	0.001	26	34000	3	0.0073	0.003
	144	C	140	140	16	0.0034	50	34000	1	0.0073	0.004
	145	C	140	140	16	0.0034	50	34000	3	0.0073	0.0067
	146	C	140	140	16	0.0041	50	34000	1	0.0073	0.0043
	147	C	140	140	16	0.0041	50	34000	1	0.0073	0.0065
	148	C	140	140	16	0.0041	50	34000	3	0.0073	0.0078
	149	C	140	140	16	0.0041	50	34000	3	0.0073	0.006
	150	C	140	140	16	0.0014	50	34000	1	0.0073	0.0021
	151	C	140	140	16	0.0014	50	34000	3	0.0073	0.0028
	152	C	140	140	16	0.0021	50	34000	1	0.0073	0.0029
	153	C	140	140	16	0.0021	50	34000	1	0.0073	0.003
	154	C	140	140	16	0.0021	50	34000	3	0.0073	0.0032
	155	C	140	140	16	0.0021	50	34000	3	0.0073	0.0033
	156	C	140	140	16	0.0014	50	34000	1	0.0073	0.0019
	157	C	140	140	16	0.0014	50	34000	1	0.0073	0.0019
	158	C	140	140	16	0.0014	50	34000	3	0.0073	0.0032
	159	C	140	140	16	0.0014	50	34000	3	0.0073	0.0026
	160	C	140	140	16	0.0036	62	34000	1	0.0073	0.0037
	161	C	140	140	16	0.0036	62	34000	3	0.0073	0.0049
	162	C	140	140	16	0.0038	62	34000	1	0.0073	0.0039
	163	C	140	140	16	0.0038	62	34000	1	0.0073	0.0039
	164	C	140	140	16	0.0038	62	34000	3	0.0073	0.005
	165	C	140	140	16	0.0038	62	34000	3	0.0073	0.0053

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	166	C	140	140	16	0.002	62	34000	1	0.0073	0.0027
	167	C	140	140	16	0.002	62	34000	3	0.0073	0.0029
	168	C	140	140	16	0.0021	62	34000	1	0.0073	0.0028
	169	C	140	140	16	0.0021	62	34000	1	0.0073	0.0028
	170	C	140	140	16	0.0021	62	34000	3	0.0073	0.0029
	171	C	140	140	16	0.0021	62	34000	3	0.0073	0.003
	172	C	140	140	16	0.0021	62	34000	1	0.0073	0.0019
	173	C	140	140	16	0.0021	62	34000	1	0.0073	0.0024
	174	C	140	140	16	0.0021	62	34000	3	0.0073	0.0039
	175	C	140	140	16	0.0021	62	34000	3	0.0073	0.0043
Yeh and Chang (2012) [38]	176	C	150	150	30	0.002	20.6	230540	0.28	0.0078	0.0189
	177	C	150	150	30	0.002	20.6	230540	0.28	0.0078	0.0156
	178	C	150	150	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0233
	179	C	150	150	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.023
	180	C	300	300	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.012
	181	C	300	300	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0153
	182	C	300	300	30	0.002	20.6	230540	0.56	0.0078	0.0178
	183	C	300	300	30	0.002	20.6	230540	0.56	0.0078	0.0191
	184	C	450	450	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0131
	185	C	450	450	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0133
	186	C	450	450	30	0.002	20.6	230540	0.98	0.0078	0.0153
	187	C	450	450	30	0.002	20.6	230540	0.98	0.0078	0.016
	188	C	150	225	30	0.002	20.6	230540	0.28	0.0078	0.0165
	189	C	150	225	30	0.002	20.6	230540	0.28	0.0078	0.0122
	190	C	150	225	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0194
	191	C	150	225	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.02
	192	C	300	450	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0131
	193	C	300	450	30	0.002	20.6	230540	0.42	0.0078	0.0137

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	194	C	300	450	30	0.002	20.6	230540	0.84	0.0078	0.0152
	195	C	300	450	30	0.002	20.6	230540	0.84	0.0078	0.0156
	196	C	150	300	30	0.002	20.6	230540	0.28	0.0078	0.0147
	197	C	150	300	30	0.002	20.6	230540	0.28	0.0078	0.0143
	198	C	150	300	30	0.002	20.6	230540	0.56	0.0078	0.0152
	199	C	150	300	30	0.002	20.6	230540	0.56	0.0078	0.0176
	200	C	300	600	30	0.002	20.6	230540	0.56	0.0078	0.012
	201	C	300	600	30	0.002	20.6	230540	0.56	0.0078	0.0126
	202	C	300	600	30	0.002	20.6	230540	1.12	0.0078	0.0143
	203	C	300	600	30	0.002	20.6	230540	1.12	0.0078	0.016
Abbasnia and Ziaadiny (2015) [1]	204	C	150	150	13.6	0.002	32	246000	0.35	0.0089	0.0205
	205	C	150	150	22.6	0.002	32	246000	0.35	0.0089	0.0185
	206	C	150	150	34.5	0.002	34	246000	0.35	0.0089	0.0171
	207	C	150	150	42	0.002	34	246000	0.35	0.0089	0.0136
	208	C	120	180	18.1	0.002	35	246000	0.35	0.0089	0.0172
	209	C	120	180	27.6	0.002	32	246000	0.35	0.0089	0.0153
	210	C	120	180	34.5	0.002	32	246000	0.35	0.0089	0.0143
	211	C	90	180	13.6	0.002	34	246000	0.35	0.0089	0.0187
	212	C	90	180	22.6	0.002	32	246000	0.35	0.0089	0.0165
	213	C	90	180	26.8	0.002	32	246000	0.35	0.0089	0.0198
	214	C	150	150	13.6	0.002	49	246000	0.35	0.0089	0.0079
	215	C	150	150	22.6	0.002	51.5	246000	0.35	0.0089	0.0137
	216	C	150	150	34.5	0.002	51.5	246000	0.35	0.0089	0.0112
	217	C	150	150	42	0.002	50	246000	0.35	0.0089	0.0101
	218	C	120	180	18.1	0.002	50	246000	0.35	0.0089	0.0105
	219	C	120	120	27.6	0.002	51.5	246000	0.35	0.0089	0.0084
	220	C	120	120	34.5	0.002	50	246000	0.35	0.0089	0.0115
	221	C	90	90	13.6	0.002	49	246000	0.35	0.0089	0.0104

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	222	C	90	90	22.6	0.002	49	246000	0.35	0.0089	0.0125
	223	C	90	90	26.8	0.002	49	246000	0.35	0.0089	0.0167
Han vd. (2020) [12]	224	PEN	150	150	1	0.0021	24.9	27000	1.27	0.0303	0.0419
	225	PEN	150	150	1	0.0021	24.9	27000	1.27	0.0303	0.0568
	226	PEN	150	150	1	0.0021	24.9	27000	2.54	0.0303	0.0538
	227	PEN	150	150	1	0.0021	24.9	27000	2.54	0.0303	0.0598
	228	PET	150	150	1	0.0021	24.9	17900	0.84	0.0434	0.0764
	229	PET	150	150	1	0.0021	24.9	17900	0.84	0.0434	0.0871
	230	PET	150	150	1	0.0021	24.9	17900	1.68	0.0434	0.0599
	231	PET	150	150	1	0.0021	24.9	17900	1.68	0.0434	0.0405
	232	PEN	150	150	15	0.0021	24.8	27000	1.27	0.0303	0.0477
	233	PEN	150	150	15	0.0021	24.8	27000	1.27	0.0303	0.0441
	234	PEN	150	150	15	0.0021	24.8	27000	2.54	0.0303	0.047
	235	PEN	150	150	15	0.0021	24.8	27000	2.54	0.0303	0.0608
	236	PET	150	150	15	0.0021	24.8	17900	0.84	0.0434	0.0764
	237	PET	150	150	15	0.0021	24.8	17900	0.84	0.0434	0.0598
	238	PET	150	150	15	0.0021	24.8	17900	1.68	0.0434	0.0628
	239	PET	150	150	15	0.0021	24.8	17900	1.68	0.0434	0.0852
	240	PEN	150	150	25	0.0021	24.6	27000	1.27	0.0303	0.0498
	241	PEN	150	150	25	0.0021	24.6	27000	1.27	0.0303	0.0507
	242	PEN	150	150	25	0.0021	24.6	27000	2.54	0.0303	0.049
	243	PEN	150	150	25	0.0021	24.6	27000	2.54	0.0303	0.0444
	244	PET	150	150	25	0.0021	24.6	17900	0.84	0.0434	0.0526
	245	PET	150	150	25	0.0021	24.6	17900	0.84	0.0434	0.0678
	246	PET	150	150	25	0.0021	24.6	17900	1.68	0.0434	0.0557
	247	PET	150	150	25	0.0021	24.6	17900	1.68	0.0434	0.0687
	248	PEN	150	150	40	0.0021	23.4	27000	2.54	0.0303	0.0423
	249	PEN	150	150	40	0.0021	23.4	27000	2.54	0.0303	0.0483

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	250	PET	150	150	40	0.0021	23.4	17900	0.84	0.0434	0.0595
	251	PET	150	150	40	0.0021	23.4	17900	0.84	0.0434	0.0559
	252	PET	150	150	40	0.0021	23.4	17900	1.68	0.0434	0.0811
	253	PET	150	150	40	0.0021	23.4	17900	1.68	0.0434	0.0794
	254	PEN	150	150	60	0.0021	24.6	27000	1.27	0.0303	0.0404
	255	PEN	150	150	60	0.0021	24.6	27000	1.27	0.0303	0.0516
	256	PEN	150	150	60	0.0021	24.6	27000	2.54	0.0303	0.0825
	257	PEN	150	150	60	0.0021	24.6	27000	2.54	0.0303	0.0899
	258	PET	150	150	60	0.0021	24.6	17900	0.84	0.0434	0.0647
	259	PET	150	150	60	0.0021	24.6	17900	0.84	0.0434	0.0614
	260	PET	150	150	60	0.0021	24.6	17900	1.68	0.0434	0.0664
	261	PET	150	150	60	0.0021	24.6	17900	1.68	0.0434	0.0717
Diego vd. (2019) [7]	262	C	150	150	20	0.002	41	237000	0.13	0.0092	0.0081
	263	C	150	150	20	0.002	41	237000	0.13	0.0092	0.0058
	264	C	150	150	40	0.002	41	237000	0.13	0.0092	0.0107
	265	C	150	150	40	0.002	41	237000	0.13	0.0092	0.0076
	266	C	150	150	20	0.002	41	237000	0.26	0.0092	0.0083
	267	C	150	150	20	0.002	41	237000	0.26	0.0092	0.0195
	268	C	150	150	40	0.002	41	237000	0.26	0.0092	0.0211
	269	C	150	150	40	0.002	41	237000	0.26	0.0092	0.0183
	270	C	150	150	20	0.002	41	237000	0.39	0.0092	0.0209
	271	C	150	150	20	0.002	41	237000	0.39	0.0092	0.0155
	272	C	150	150	40	0.002	41	237000	0.39	0.0092	0.0135
	273	C	150	150	40	0.002	41	237000	0.39	0.0092	0.0155
Nistico ve Monti (2013) [22]	274	C	150	150	1	0.002	31.7	230000	0.17	0.0078	0.0059
	275	C	150	150	15	0.002	31.9	230000	0.17	0.0078	0.0145
	276	C	150	150	30	0.002	32.3	230000	0.17	0.0078	0.0134
	277	C	150	150	45	0.002	30.7	230000	0.17	0.0078	0.0139

Tablo EK.2 (ε_{cc}) için sargılı dikdörtgen kesitli kolonların özellikleri ve deney sonuçları (devamı)

	278	C	150	150	60	0.002	31.8	230000	0.17	0.0078	0.0165
	279	C	150	150	1	0.002	31.7	230000	0.34	0.0078	0.0066
	280	C	150	150	15	0.002	31.9	230000	0.34	0.0078	0.0122
	281	C	150	150	30	0.002	32.3	230000	0.34	0.0078	0.0144
	282	C	150	150	45	0.002	30.7	230000	0.34	0.0078	0.0157
	283	C	150	150	60	0.002	31.8	230000	0.34	0.0078	0.0176
	284	C	150	150	1	0.002	52.1	230000	0.17	0.0078	0.005
	285	C	150	150	15	0.002	54.1	230000	0.17	0.0078	0.0151
	286	C	150	150	30	0.002	52	230000	0.17	0.0078	0.0134
	287	C	150	150	45	0.002	52.7	230000	0.17	0.0078	0.0151
	288	C	150	150	60	0.002	52.7	230000	0.17	0.0078	0.0128
	289	C	150	150	1	0.002	52.1	230000	0.34	0.0078	0.0071
	290	C	150	150	15	0.002	54.1	230000	0.34	0.0078	0.0146
	291	C	150	150	30	0.002	52	230000	0.34	0.0078	0.0137
	292	C	150	150	45	0.002	52.7	230000	0.34	0.0078	0.0165
	293	C	150	150	60	0.002	52.7	230000	0.34	0.0078	0.0137
Zhu vd. (2020) [43]	294	C	150	150	25	0.002	31.8	234000	0.34	0.0087	0.0177
	295	C	150	150	25	0.002	31.8	234000	0.34	0.0087	0.0197
	296	C	150	150	25	0.002	32	234000	0.51	0.0087	0.0217
	297	C	150	150	25	0.002	32	234000	0.51	0.0087	0.026
	298	C	300	300	50	0.002	25.7	246000	0.68	0.0102	0.0351
	299	C	300	300	50	0.002	25.7	246000	0.68	0.0102	0.0318

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Güney M., & Alacalı S. (2023). Lif Takviyeli Polimer ile Sargılı Dikdörtgen Kesitli Beton Kolonların Basınç Dayanımı ve Şekil Değiştirme Modelinin Gen İfadesi Programlama ile Tahmin Edilmesi. Cukurova 11th International Scientific Researches Conference. 851-875.