

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON DOLGULU ÇELİK TÜPLÜ DAİRESEL KESİTLİ
KOLONLARIN EKSENEL YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİN
TAHMİNİ

Fatih ÇIBUK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Sema ALACALI

Mayıs, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON DOLGULU ÇELİK TÜPLÜ DAİRESEL KESİTLİ KOLONLARIN
EKSENEL YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİN TAHMİNİ**

Fatih ÇIBUK tarafından hazırlanan tez çalışması 08.05.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** 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 Beton Dolgulu Çelik Tüplü Dairesel Kesitli Kolonların Eksenel Yük Taşıma Kapasitesinin Tahmini 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.

Fatih ÇIBUK

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında desteklerini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bilgisi ve yol göstericiliği ile bana her konuda yardımcı olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Sema ALACALI'ya çok teşekkür ederim.

Kıymetli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren hocalarım Sayın Prof. Dr. Güray ARSLAN ve Sayın Prof. Dr. Cem AYDEMİR'e teşekkür ederim.

2210-A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı vasıtasıyla maddi ve manevi desteklerinden dolayı Tübitak Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığına (BİDEB) teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını yürüttüğüm süreç boyunca benden manevi desteğini esirgemeyen başta annem ve babam olmak üzere tüm aile büyüklerime teşekkürü borç bilirim.

Fatih ÇIBUK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	3
1.2 Tezin Amacı	19
1.3 Hipotez	19
2 BETON DOLDURULMUŞ ÇELİK TÜPLÜ KOLONLAR (CFST)	20
2.1 Beton Dolgulu Çelik Tüplü Kolonların Avantaj ve Dezavantajları	21
2.2 Beton Dolgulu Çelik Tüplü Kolonların Kullanım Alanları	23
2.1 Deney Verilerinin Analizi	25
3 MEVCUT BAĞINTILAR	40
3.1 Mevcut Yönetmelik Ve Araştırmacıların Önerdikleri Bağıntılar	40
3.1.1 ACI 318.....	40
3.1.2 GB 50936	41
3.1.3 AISC.....	41
3.1.4 Giakoumelis vd.....	42
3.1.5 Güneyisi vd.	42
3.1.6 Wang vd.....	43
3.1.7 Tran vd.	44
3.1.8 Zarringol vd.	44
3.1.9 Naser vd.....	45
4 GEN İFADESİ PROGRAMLAMA (GEP)	46
4.1 Genetik Operatörler	48
4.1.1 Replikasyon.....	48
4.1.2 Mutasyon	48
4.1.3 Transpozisyon	49
4.1.4 Rekombinasyon.....	49

4.2 Gen İfadesi Programlama (GEP) ile Model Tahmini	50
4.2.1 Tüm Durumdaki Kolonlar İçin Model Tahmini.....	51
4.2.2 Narin Olmayan Kolonlar İçin Model Tahmini	55
4.2.3 Narin Kolonlar İçin Model Tahmini.....	60
5 ÖNERİLEN BAĞINTILARIN İSTATİSTİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI	65
5.1 İstatistiksel Ölçütler	65
5.2 Narinlik Etkisinin Sonuçlara Etkisi	66
5.3 Tüm Kolonlar İçin Türetilen Bağıntıların Karşılaştırılması	71
5.4 Narin Olmayan Kolonların Karşılaştırılması	74
5.5 Narin Kolonların Karşılaştırılması	78
6 DUYARLILIK ANALİZİ VE PARAMETRİK ÇALIŞMA	83
6.1 Tüm Kolonlar İçin Türetilen Bağıntı	83
6.2 Narin Olmayan Kolon Bağıntısı	86
6.3 Narin Kolon Bağıntısı	88
7 SONUÇ	91
KAYNAKÇA	93
A DAİRESEL KESİTLİ BETON DOLGULU ÇELİK TÜPLÜ KOLON DENEY VERİLERİ	105
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	144

SİMGE LİSTESİ

A_c	Beton Alanı
A_s	Çelik Alanı
D	Çelik Tüpün Çapı
E_s	Elastisite Modülü
f'_c	Beton Silindirik Basınç Dayanımı, MPa
f_{cu}	Beton Küp Basınç Dayanımı, MPa
f_u	Çelik Akma Dayanımı
L	Deney Numunesinin Boyu
N	Eksenel Yük Taşıma Kapasitesi
$P - \Delta$	Yük - Yerdeğiştirme
R^2	Belirleme Katsayısı
t	Çelik Tüpün Kalınlığı
η_a	Çelik Kuşatma Katsayısı
η_c	Beton Kuşatma Katsayısı
γ_{sm}	Malzeme Güvenlik Katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute)
AIJ	Japon Mimarlık Enstitüsü (Architectural Institute of Japan)
AISC	Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (American Institute of Steel Construction)
ANN	Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network)
AS/NZS	Avustralya/Yeni Zelenda Yönetmeliği (Australian / New Zealand Code)
ASTM	Amerika Standartları
BPNN	Geri Yayılımlı Sinir Ağı (Back Propagation Neural Network)
BS 5400	İngiliz Yönetmeliği
CCR	Beton Katkı Oranı
CECS28	Çin Yönetmeliği
CFST	Beton Dolgulu Çelik Tüp (Concrete Filled Steel Tube)
CISC	Kanada Çelik Yapılar Enstitüsü (Canadian Institute of Steel Construction)
Cov	Varyasyon Katsayısı (Coefficient of Variation)
DI	Süneklik İndeksi
DIN	Alman Standartları
DL	Derin Öğrenme (Deep Learning)
DL/T	Çin Yönetmeliği (Chinese Industry Standard)
DT	Karar Ağacı (Decision Tree)
EC4	Avrupa Yönetmeliği (Eurocode 4)
EN	Avrupa Standartları
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
GB 50936	Çin Yönetmeliği (Chinese Code)
GEP	Gen İfadesi Programlama (Gene Expression Programming)
GPR	Gauss Süreci Regresyonu (Gaussian Process Regression)
GTB	Gradyan Ağacı Artırma (Gradient Tree Boosting)

M	Ortalama Değer (Mean)
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error)
ML	Makine Öğrenimi (Machine Learning)
MLR	Çoklu Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression)
MPa	Megapaskal
MSE	Ortalama Kare Hatası
NBC	Kanada Ulusal Yapı Kodu (National Building of Canada)
R	Belirleme Katsayısı (Coefficient of Determination)
RBFNN	Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağı (Radial Basis Function Neural Network)
RF	Rastgele Orman (Random Forest)
RMSE	Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Error)
SA	Duyarlılık Analizi (Sensitive Analysis)
SD	Standart Sapma (Standard Deviation)
SI	Dayanım Artırma İndeksi
SVM	Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine)
UHPCFST	Ultra Yüksek Performanslı Beton Dolgulu Çelik Tüplü Kolon
UHSC	Ultra Yüksek Dayanımlı Beton
TSI	Türkiye Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon.....	20
Şekil 2.2 Kanton Kulesi.....	23
Şekil 2.3 Pingnan 3. Köprüsü.....	24
Şekil 2.4 Zhoushan elektrik iletim kulesi	25
Şekil 2.5 Çelik tüpün çapının dağılımı	33
Şekil 2.6 Çelik tüpün kalınlığının dağılımı	34
Şekil 2.7 Deney numunelerinin boyunun dağılımı	35
Şekil 2.8 Çelik tüpün akma dayanımının dağılımı.....	36
Şekil 2.9 Dolgu betonun silindirik basınç dayanımının dağılımı.....	37
Şekil 2.10 Eksenel yük taşıma kapasitesinin dağılımı.....	38
Şekil 2.11 Kolonların narinlik oranlarının dağılımı	39
Şekil 4.1 Örnek gen ifade ağacı	47
Şekil 4.2 Akış şeması	51
Şekil 4.3a Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 1 ifade ağacı.....	52
Şekil 4.3b Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 2 ifade ağacı.....	53
Şekil 4.3c Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 3 ifade ağacı	53
Şekil 4.3d Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 4 ifade ağacı.....	53
Şekil 4.3e Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 5 ifade ağacı.....	54
Şekil 4.4 GEP model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	54
Şekil 4.5a Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 1 ifade ağacı.....	56
Şekil 4.5b Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 2 ifade ağacı.....	57
Şekil 4.5c Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 3 ifade ağacı	57
Şekil 4.5d Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 4 ifade ağacı.....	57
Şekil 4.5e Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 5 ifade ağacı.....	58
Şekil 4.5f Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 6 ifade ağacı.....	58
Şekil 4.5g Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 7 ifade ağacı.....	58
Şekil 4.6 GEP model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	59
Şekil 4.7a Narin kolon bağıntısına ait GEN 1 ifade ağacı	61
Şekil 4.7b Narin kolon bağıntısına ait GEN 2 ifade ağacı	61
Şekil 4.7c Narin kolon bağıntısına ait GEN 3 ifade ağacı	61

Şekil 4.7d	Narin kolon bağıntısına ait GEN 4 ifade ağacı	62
Şekil 4.7e	Narin kolon bağıntısına ait GEN 5 ifade ağacı	62
Şekil 4.7f	Narin kolon bağıntısına ait GEN 6 ifade ağacı	62
Şekil 4.7g	Narin kolon bağıntısına ait GEN 7 ifade ağacı	63
Şekil 4.8	GEP model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	63
Şekil 5.1	Narinlik etkisinin karşılaştırılma durumları	67
Şekil 5.2	Tüm kolonlar için türetilen bağıntıların istatistiksel karşılaştırılması...	72
Şekil 5.3	Hataların yüzdelerik dağılımları	74
Şekil 5.4	Narin olmayan kolonların istatistiksel karşılaştırılması	75
Şekil 5.5	Deneysel ve bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması	76
Şekil 5.6	Hataların yüzdelerik dağılımları	78
Şekil 5.7	Narin olmayan kolonların istatistiksel karşılaştırılması	79
Şekil 5.8	Hataların yüzdelerik dağılımları	81
Şekil 5.9	Deneysel ve bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması	82
Şekil 6.1	Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait duyarlılık analizi	83
Şekil 6.2	Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait parametrik çalışması	84
Şekil 6.3	Narin olmayan kolonlar için duyarlılık analizi	86
Şekil 6.4	Narin olmayan kolonlar için parametrik çalışma	86
Şekil 6.5	Narin kolonlar için duyarlılık analizi	88
Şekil 6.6	Narin kolonlar için parametrik çalışma	89

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri	26
Tablo 2.2	Narin olmayan ve narin kolonlara ilişkin değişkenlerin veri aralıkları	32
Tablo 4.1	Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait GEP parametreleri	52
Tablo 4.2	Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEP parametreleri.....	56
Tablo 4.3	Narin kolon bağıntısına ait GEP parametreleri	60
Tablo 5.1	İstatistiksel Ölçütler	66
Tablo 5.2	Durum 1 ve 2 için hata oranlarının değerlendirilmesi	67
Tablo 5.3	Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar için mevcut bağıntılar	68
Tablo 5.4	Tüm kolonlar için türetilen bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması	71
Tablo 5.5	Tüm kolonlar için türetilen bağıntıların hata oranlarının karşılaştırılması	73
Tablo 5.6	Narin olmayan kolonlar için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması	74
Tablo 5.7	Narin olmayan kolonlar için bağıntıların hata oranlarının karşılaştırılması	77
Tablo 5.8	Narin kolonlar için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması ...	79
Tablo 5.9	Narin kolonlar için bağıntıların hata oranlarının karşılaştırılması	80

Beton Doldurulmuş Çelik Tüplü Dairesel Kesitli Kolonların Eksenel Yük Taşıma Kapasitesinin Tahmini

Fatih ÇIBUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sema ALACALI

Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların kullanımı son yıllarda köprülerde ve yüksek katlı yapılarda giderek artmaktadır. Eksenel basınç kuvveti etkisindeki beton dolgulu çelik tüplü kolonlarda, beton dolgunun çelik tüpün burkulmasını geciktirmesi veya önlemesi, çelik tüpün de betonun yanıl deformasyonunu sınırlandırması nedeniyle geleneksel betonarme kolonlara göre daha yüksek dayanım ve süneklik elde edilebilmektedir. Ayrıca beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlarda kolon boyunun enkesit çap uzunluğuna oranını ifade eden narinlik oranı (L/D), eksenel yük taşıma kapasitesini etkileyen önemli bir parametredir. Narinlik oranının artması kolonun burkulma etkisiyle eksenel yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada narinlik etkisi de gözönüne alınarak beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerinin daha duyarlı tahmin edilmesine ilişkin bağıntıların türetilmesi hedeflenmiştir. Böylece literatürden toplanmış 1060 adeti narin olmayan ($L/D < 4$) ve 805 adeti narin ($L/D \geq 4$) olmak üzere toplam 1865 adet beton doldurulmuş çelik tüplü dairesel kesitli kolon numunesine ilişkin deneysel veri tabanı oluşturulmuştur. Kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerini tahmin etmek amacıyla tüm deney numuneleri göz önüne alınarak türetilen global

bağıntının yanısıra, narinlik etkisinin eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini irdelemek amacıyla $L/D < 4$ olan narin olmayan (kısa kolon) ve $L/D \geq 4$ olan narin kolonlar için ayrı bağıntılar türetilmiştir. Bağıntıların türetilmesinde son yıllarda sıklıkla başvuru alan makine öğrenimi algoritmalarından Gen İfadesi Programlama (GEP) kullanılmıştır. Gen İfadesi Programlama ile bağıntı türetme evresinde, çelik tüpün çapı (D), çelik tüpün kalınlığı (t), deney numunesinin boyu (L), çelik tüpün akma dayanımı (f_y) ve silindirik beton basınç dayanımı (f'_c) girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Türetilen bağıntıların sonuçları literatürdeki farklı yönetmelikler ve araştırmacıların önerdikleri bağıntıların sonuçları ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en güvenilir bağıntıların Gen İfadesi Programlama (GEP) kullanılarak elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca türetilen bağıntılardaki her bir parametrenin kolonun eksenel kuvvet taşıma gücü üzerindeki katkısını belirlemek amacıyla parametrik çalışma ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenimi (ML), gen ifadesi programlama (GEP), beton doldurulmuş çelik tüplü kolon (CFST), duyarlılık analizi (SA).

Prediction of Axial Load Carrying Capacity of Concrete-Filled Steel Tube Circular Section Columns

Fatih ÇIBUK

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sema ALACALI

The use of concrete-filled steel tube columns has been increasing in recent years in bridges and high-rise structures. In concrete filled steel tube columns under axial compressive forces, higher strength and ductility can be obtained compared to conventional reinforced concrete columns due to the fact that the concrete filling delays or prevents buckling of the steel tube and the steel tube limits the lateral deformation of the concrete. In addition, slenderness ratio (L/D), which is the ratio of the column length to the cross-sectional diameter length, is an important parameter affecting the axial load carrying capacity of concrete filled steel tube columns. An increase in the slenderness ratio can lead to a reduction in the axial load carrying capacity of the column due to buckling. Therefore, the aim of this study is to derive relations for accurate prediction of axial load carrying capacity of concrete filled steel tube columns considering the slenderness effect. Thus, an experimental database of 1865 concrete filled steel tube column specimens, 1060 non-slender ($L/D < 4$) and 805 slender ($L/D \geq 4$) specimens collected from the literature, was established. In addition to the global relation derived for all specimens to predict the axial load capacity of the columns, separate relations were derived for non-slender columns with $L/D < 4$ and

slender columns with $L/D \geq 4$ to investigate the effect of slenderness on axial load carrying capacity. Gene Expression Programming (GEP), one of the most frequently used machine learning algorithms in recent years, was used to derive the relations. In the relation derivation with Gene Expression Programming, the diameter of the steel tube (D), the thickness of the steel tube (t), the length of the test specimen (L), the yield strength of the steel tube (f_y) and the compressive strength of the cylindrical concrete (f'_c) were used as input parameters. The results of the derived relations were statistically compared with the results of the relations proposed by different regulations and researchers in the literature. As a result of the comparison, it was observed that the most reliable relations were obtained using Gene Expression Programming (GEP). In addition, parametric study and sensitivity analysis were performed to determine the contribution of each parameter in the derived relations on the axial force bearing capacity of the column.

Keywords: Machine Learning (ML), gene expression programming (GEP), concrete filled steel tube columns (CFST), sensitivity analysis (SA).

Köprülerin, kulelerin ve yüksek katlı yapıların inşası, gelişmiş taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımıyla gerçekleştirilebilir. Bu hedef doğrultusunda beton ve çelik malzemelerin üstün özellikleri birleştirilerek yüksek dayanım ve sünekliğe sahip kompozit kolonlar elde edilmiştir. Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlar, çelik tüpün betonun yanal deformasyonunu sınırlandırması ve betonun da çelik tüpte oluşabilecek yerel burkulmaları engellemesi nedeniyle yüksek dayanım ve sünekliğin elde edilebildiği taşıyıcı elemanlardır. Çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi, kullanılan çelik malzemenin özelliklerine, kolonun kesit boyutlarına ve tasarım parametrelerine bağlı değişir. Bu tip kolonlarda kalıp maliyetinin ortadan kalkması ile zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmakta, ayrıca taşıyıcı eleman boyutlarının küçülmesi sayesinde mimari açıdan da daha etkin alanlar elde edilebilmektedir [1]. Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin duyarlı tahmin edilmesi, yapı elemanlarının optimum boyutlarda tasarlanmasını sağlayarak gereksiz malzeme kullanımını önler ve maliyetleri azaltır. Bunun yanı sıra, yapı elemanlarının mimari esnekliğini artırarak daha işlevsel ve etkileyici tasarımların gerçekleştirilmesine olanak sağlar.

Literatürde eksenel yük taşıma kapasitesine etki eden ana parametrelerin belirlenmesi için birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu en etkili parametrelerin çelik tüpün çapı (D), çelik tüpün kalınlığı (t), deney numunesinin boyu (L), çelik tüpün akma dayanımı (f_y) ve betonun silindirik basınç dayanımı (f_c') olduğu görülmüştür. Ayrıca dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonlarda narinlik etkisi, yapı elemanının boyutları ve geometrisi ile ilgili olup yapı elemanının dayanıklılığını ve taşıma kapasitesini etkileyen parametrelerden biridir. Özellikle narinlik etkisi arttıkça kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi azalabileceği için yapı elemanlarının boyutlandırılması aşamasında bu etkinin hesaba katılması yapı elemanlarının güvenli bir şekilde tasarlanmasını sağlar. Narinlik etkisini belirten uzunluk /çap (L/D) oranının kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan etkisi olduğu anlaşılmış,

narin olmayan kolonlarda ($L/D < 4$) taşıma gücünün çeliğin akması veya betonun ezilmesi ile, narin kolonlarda ($L/D \geq 4$) ise kırılmanın kolonun burkulma stabilitesine bağlı olarak limit duruma ulaşılmadan gerçekleştiği gözlenmiştir [2]. Bu çalışmada dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerinin tahmin edilmesine ilişkin bağıntıların türetilmesinde narinlik etkisi de göz önüne alınarak narin olmayan ($L/D < 4$) ve narin ($L/D \geq 4$) kolonlar için ayrı bağıntılar türetilmiştir. Bağıntıların türetilmesinde literatürden toplanmış 1060 adet narin olmayan ($L/D < 4$) ve 805 adet narin ($L/D \geq 4$) olmak üzere toplam 1865 adet dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolon numunesine ilişkin deneysel veri tabanı oluşturulmuştur.

Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmini için literatürde Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318) [3], Çin Yönetmeliği (GB 50936) [4], Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC) [5], Japon Mimarlık Enstitüsü (AIJ) [6], Avrupa Yönetmeliği (EC4) [7] ve Avustralya/Yeni Zelanda (AS/NZS) [8] yönetmeliklerinde farklı bağıntılar mevcuttur. Ayrıca literatürde farklı araştırmacıların önerdikleri ampirik bağıntılar da yer almaktadır. Ayrıca son yıllarda gelişen teknoloji ile eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmin edilmesine yönelik olarak makine öğrenimi programları ön plana çıkmaktadır. Bu algoritmalarından Yapay Sinir Ağları (ANN), Geri Yayımlı Sinir Ağı (BPNN), Genetik Algoritma (GA), Gradyan Ağırtırma (GTB), Rastgele Orman (RF), Destek Vektör Makinesi (SVM), Karar Ağırtırma (DT), Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağı (RBFNN), Gauss Süreci Regresyonu (GPR) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) modelleri günümüzde umut verici yapay zeka yöntemlerinden sayılabilir. Anılan algoritmaların temeli veri setindeki girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkileri öğrenme sürecine dayanır. Bu algoritmalar, veri setindeki desenleri tanımlamak, öğrenmek ve sonrasında yeni girdilerle çıktıları tahmin etmek için kullanılır. Temel olarak bir makine öğrenme modeli, veri setindeki belirli bir gözlem verildiğinde, bu gözlemin doğru çıktısını veya yanıtını tahmin etmek için öğrenme işlemini gerçekleştirir [9].

Bu çalışmada eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmininde Gen İfade Programlama (GEP) tercih edilmiştir. GEP, sembolik ifadeleri kullanarak karmaşık ilişkileri modelleyebilme esnekliği sağlar ve genel bir çözüm sunarak farklı

problemlere kolayca uyarlanabilir. Ayrıca, evrimsel hesaplama tekniklerini kullanarak karmaşık ilişkileri daha etkili bir şekilde modelleyebilir ve veriye dayalı öğrenme ile doğrudan veri setiyle etkileşim içinde olarak daha geniş veri çeşitliliğinde geliştirilebilir. Çalışma kapsamında Gen ifadesi programlama ile en uygun tahmin sonuçlarını veren modelin elde edilmesi için kromozom sayısı, baş ve gen sayıları, bağlantı şekli ve seçilen matematiksel fonksiyonların bağıntı üzerindeki ağırlıkları değiştirilerek deneme yanılma yöntemi ile işlemler çok kez tekrarlatılmış, en duyarlı tahmin sonuçlarını veren çözüme ait gen ifade ağaçlarından yararlanarak ilgili bağıntılar elde edilmiştir. Elde edilen bağıntıların sonuçları literatürdeki tahmin sonuçlarıyla istatistiksel ölçütler gözönüne alınarak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel ölçütler olarak R^2 (Belirleme Katsayısı), Cov (Varyasyon Katsayısı), M (Ortalama Değer), SD (Standart Sapma), $MAPE$ (Ortalama Mutlak Yüzde Hata) ve $RMSE$ (Hata Kareler Ortalamasının Karekökü) değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, türetilen bağıntılar için duyarlılık analizi ve parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi, taşıma gücü bağıntılarındaki değişkenlerin katkılarını belirlemek için yapılmış olup parametrik çalışma ile de değişkenlerin bağıntıların içindeki uyumlarının yeterliliği kanıtlanmıştır. Bu analizler, türetilen modellerin ve bağıntıların güvenilirliğini ve uygunluğunu değerlendirmek için önemli araçlar olarak kullanılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlar üzerinde yapılan deneysel araştırmalar 20. yüzyılın ortalarına kadar dayanmaktadır. Konuyla ilgili yapılan çalışmaların başlıcaları bu bölümde kronolojik olarak özetlenmiştir.

1957 yılında Kloppel ve Goder [10] 46, 1964 yılında Salani ve Sims [11] 12, 1966 yılında Chapman ve Neogi [12] 16 adet içi boş ve beton dolgulu çelik tüplü kolon numunelerinin eksenel basınç altındaki davranışlarını deneysel olarak inceleyerek kolonun göçmesine neden olan eksenel kuvvetin tahmini için bağıntı türetmişlerdir. Anılan araştırmacıların çalışmaları konuyla ilgili yapılan ilk deneysel çalışmalara örnek teşkil etmektedir.

Salani ve Sims (1964) [11], apı 1 ile 3 in arasında değişen 12 adet harç dolgulu elik tüplü kolonun basınç kuvveti altındaki elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada eksenel yük kapasitelerinin deneysel değerleri tanjant modülü formülünden elde edilen teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

Gardner ve Jacobson (1967) [13], gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada betonla doldurulmuş elik tüplü kolonların taşıma gücü sonuçlarını Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318-63), Kanada Ulusal Yapı Kodu (NBC) ve Kloppel&Goder tarafından önerilen bağıntılar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca uzun kolonların burkulma yükünü tahmin etmeye çalışmışlardır.

Furlong (1967) [14], beton dolgulu elik tüplü kolonları kullanmanın avantaj ve dezavantajlarını tartışarak elik tüpün betonu çevrelemesi sayesinde optimum dayanım ve rijitliğin elde edildiğini, beton dolgu sayesinde elik tüpün burkulmadan akma dayanımına ulaştığını göstermiştir.

Knowles ve Park (1969) [15], geniş bir narinlik oranı aralığını kapsayan eksenel ve eksantrik yüklü elik tüplü kolonların son limit dayanımını araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada içi boş elik tüpler ve betonla doldurulmuş elik tüpler karşılaştırılarak, elik tüpün betona uyguladığı yanal basıncın narinlik oranına etkisi irdelenmiştir. Ayrıca eksantrik yüklü beton doldurulmuş elik tüplü kolonların eksenel kuvvet taşıma kapasitesinin tahmini için düz çizgi etkileşim formülü oluşturulmuştur.

Tang vd. (1982) [16], farklı elik oranlarına sahip beton dolgulu elik tüplü kolonların eksenel kuvvet deneylerine dayanarak çekirdek beton dayanımı, narinlik oranı, kolonların temel yapısal davranışını ve basınç göçme mekanizmasını incelemiş, eksenel ve küçük eksantrik yük altındaki beton dolgulu kolonların pratik mühendislik tasarımlarının kullanımına yönelik bağıntılar sunmuşlardır.

Zhanshuan ve Cai [17] (1984) tarafından kolon boyunun enkesit çapına oranı olarak ifade edilen L/D' nin 4'ten küçük olduğu 57 adet eksenel yüklü beton dolgulu elik tüplü kısa kolonun test sonuçlarını çalışmalarında sunarak, kısa kolonların çalışma mekanizmasını incelemişlerdir. Prof. A.E.Gvozdev'e ait limit

denge yöntemi, kolonların son limit dayanımına ilişkin bağıntıyı türetmek için kullanılmıştır. Önerilen bağıntının sonuçları, L/D 'nin 4'ten küçük olduğu literatürde mevcut olan bağıntılarla karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Lin (1988) [18] tarafından eksenel yüklere maruz kalan beton dolgulu soğukta şekillendirilmiş çelik tüplü kolonların davranışını ve dayanımını açıklamak için toplam 18 numune test edilmiştir. Bu araştırmada dikkate alınan değişkenler arasında beton basınç dayanımı (f'_c), soğukta şekillendirilmiş çeliğin şekli ve kalınlığı (t) ile numunenin uzunluk/genişlik oranı (L/D) yer almıştır. Deney sonuçları, dolgulu betonun eksenel kapasitesinin ve kırılma sonrası kalan dayanımının, soğukta şekillendirilmiş çeliğin kalınlığının ve kesitin şeklinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Dairesel soğukta şekillendirilmiş çelik kesitin, dolgu betonun ezilmesinden önce ve sonra beton üzerinde daha iyi sargı etkisi sağladığı görülmüştür. Ayrıca deney sonuçlarına dayanarak, beton dolgulu soğukta şekillendirilmiş çelik kolonun eksenel kapasitesini hesaplamak amacıyla sınırlama katsayısını içeren bir denklem önerilmiştir.

Ben Kato (1996) [19], beton doldurulmuş dairel ve kare kesitli çelik tüplü kolonlar ile beton kaplanmış H çelik profil kolonların eksenel kuvvet altındaki burkulma dayanımları üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaları sırasında 37 adet dairel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deney numunesi kullanılmış ve kolonların eksenel yük taşıma kapasiteleri için bir bağıntı önerilmiştir.

O'Shea ve Bridge (1998) [20], normal ve yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş değişen çap/kalınlık (D/t) oranlarına sahip beş farklı dairel çelik tüplü kolon üzerinde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada çelik tüpün lokal burkulmasının davranışa hâkim olduğunu göstermişlerdir. Bu amaçla çelik tüplerde 50 MPa ve 80 MPa'lık farklı iki beton basınç dayanımı kullanılmıştır. Normal dayanımlı betonlarda ince yada kalın et kalınlığındaki çelik tüpün kullanılması normal dayanımlı betonların dayanımında artışa neden olurken, ince et kalınlığına sahip çelik tüplerin kullanılması durumunda yüksek dayanımlı betonların dayanımında artış gözlenmemiştir.

Han (2000) [21], gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, eksenel yüke maruz beton dolgulu çok ince tüplü kolonlar ile dairesel kesitli içi boş tüplü kolonların davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 11 adet beton dolgulu elik tüplü kolon ve 4 adet içi boş tüplü kolon olmak üzere toplamda 15 adet numune üzerinde detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, beton dolgunun elik tüplü kolonların basınç dayanımını arttırdığını göstermiştir. Ayrıca, beton dolgulu elik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin, normal uzunluktaki kolonlar için AIJ, EC4 ve DL/T 5085 yönetmeliklerinde önerilen bağıntılarla ihtiyatlı bir şekilde tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Giakoumelis ve Lam (2004) [22] tarafından beton basınç dayanımı (f'_c) değerleri 30, 60 ve 100 MPa olan ve çap/kalınlık oranları (D/t) 22.9 ile 30.5 arasında değişen 15 farklı dairesel kesitli beton doldurulmuş elik tüplü kolonlar üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Söz konusu deneylerde, numunelerin eksenel yük-yerdeğiştirme ilişkileri detaylı bir şekilde incelenmiş, elde edilen deney sonuçları, mevcut yönetmeliklere uygun olarak belirlenen eksenel kuvvet taşıma kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, yüksek dayanımlı betonlarda beton büzülmesinden kaynaklanan etkinin kritik olduğu, normal dayanımlı betonlarda ise ihmal edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) ve Avustralya Yönetmeliklerinde (ACI/AS) ngrlen bağıntılar, elik tüpün betonu kuşatma etkisini dikkate alan bir katsayı kullanılarak revize edilmiştir.

Gupta vd. (2007) [23], elik tüpün çapının (D), ap/kalınlık oranı (D/t), beton sınıfı ve betona uçucu kül ilavesinin eksenel kuvvet taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla betonun içeriğinde farklı oranlarda uçucu kül miktarları bulunan narinlik oranı $3 < L/D < 8$ ve çap/kalınlık oranı $25 < D/t < 39$ arasında değişen 72 adet deney numunesi incelenmiş, elde edilen eksenel yük taşıma kapasiteleri Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından önerilen bağıntı ile karşılaştırılmıştır. Daha küçük çap/kalınlık oranına (D/t) sahip kolonlarda elik tüpün betona daha iyi bir kuşatma etkisi sağladığı, aksine çap/kalınlık oranı (D/t) arttıka yük taşıma kapasitesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Beton dolgulu elik tüplü kolonların yük taşıma mekanizmasını incelemek için doğrusal olmayan bir sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Bu

model, yük-deformasyon eğrilerinin ve göçme modlarının deneysel ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması ile doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre betondaki uçucu kül hacmi oranının %0'dan %20 seviyesine kadar artırılması ile yük taşıma kapasitesinde düşüş meydana gelirken, bu oranın %25'in üzerine çıkarılması ile yük taşıma kapasitesinde artış gözlenmiştir.

Liang ve Fragomeni (2009) [24], eksenel basınç kuvveti altındaki dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kısa kolonların doğrusal ve elastik olmayan analizi ile tasarımı için genel bir fiber eleman modeli sunmuştur. Beton için farklı yanal sargılama basıncı modellerinin doğrulukları incelenmiştir. Normal dayanımlı betonlar için geliştirilen mevcut sargılama basıncı modellerinin, yüksek dayanımlı betona sahip kolonlarda yanal sınırlama basınçlarını genellikle olduğundan fazla tahmin ettiği görülmüştür. Bu nedenle hem normal hem de yüksek dayanımlı dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonlarda eksenel basınç kuvvetine maruz kalan beton için daha doğru bir bünye modeli önerilmiştir. Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kısa kolonların eksenel yükleme altındaki doğrusal olmayan davranışını simüle etmek için fiber eleman modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen fiber eleman modeline ait tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Fiber eleman modelinin ve tasarım formülünün eksenel yüklü dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonların nihai dayanımını ve davranışını yeterli düzeyde tahmin ettiği ve normal ve yüksek dayanımlı dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonların tasarımında kullanılabileceği gösterilmiştir. Çap-kalınlık (D/t) oranının, beton basınç dayanımlarının (f'_c) ve çelik akma dayanımlarının (f_y) dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların dayanımı ve sünekliği üzerindeki etkilerini araştırmak için kapsamlı parametrik çalışmalar yapılmıştır. Çelik tüpün çap/kalınlık (D/t) oranının artırılması beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonların nihai dayanımlarının artmasına bunu yanı sıra kesit ve süneklik performanslarını da azalttığı gösterilmiştir. Beton basınç dayanımının orantılı olarak artırılması nihai eksenel yükleri artırmakta ancak kesit ve süneklik performansını azaltmaktadır. Ayrıca, dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonların nihai eksenel yüklerinin çelik akma dayanımının (f_y) artmasıyla orantılı olarak arttığı gözlenmiştir.

Lu ve Zhao (2010) [25], literatürden 250 adet beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verisini derlemiştir. Derlenen veriler yardımı ile AIJ, ACI/AS/AISC, Eurocode4 ve DL/T yönetmeliklerinin uygulanabilirliği incelenmiştir. İncelemelere dayanarak mevcut yönetmeliklerden geliştirilmiş 4 adet yeni ampirik model önerilerek mevcut yönetmelik bağıntılarında yer alan sınırlamalar yerine yeni beton basınç dayanımı (f'_c), çelik akma dayanımı (f_y) ve çap/kalınlık (D/t) oranı sınır değerleri öngörülmüştür.

Chitawadagi vd. (2010) [26], çelik tüpün çapı (D), çelik tüpün et kalınlığı (t), dolgu betonunun basınç dayanımı (f'_c) ve çelik tüpün uzunluğundaki (L) değişimlerin dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi ve eksenel kısalma üzerindeki etkisini araştırmıştır. D/t oranı 22.3-50.8 ve L/D oranı 7.8-22.5 aralığında olan 81 adet beton dolgulu çelik tüplü kolonun deney sonuçlarına göre eksenel yük taşıma kapasitesi ve eksenel kısalma üzerindeki en etkili parametrenin çelik tüpün çapı (D) olduğu görülmüştür. Kullanılan deney sayısını azaltmak için Taguchi'nin L9 ortogonal dizilimi yaklaşımı kullanılmış, minimum sayıda deneyle geliştirilen regresyon modelleri ile eksenel yük taşıma kapasitesi ve eksenel kısalma değerleri makul bir doğrulukla tahmin edilmiştir.

Olivieira vd. (2010) [27], 32 adet eksenel yüklü beton doldurulmuş çelik tüplü kolonu deneysel olarak incelemişlerdir. Kolonlar 30, 60, 80 ve 100 MPa basınç dayanımlarına (f'_c) sahip betonlarla doldurulmuş, kolonların uzunluk/çap (L/D) oranları 3, 5, 7 ve 10 olacak şekilde düzenlenmiştir. L/D oranı 3'ten büyük olan narin kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmin değerlerini düzeltmek için bir düzeltme faktörü önerilmiş, düzeltme faktörünün etkisinin anlaşılabilmesi için literatürdeki 63 deney numunesinin sonuçları ile analitik modellerin tahminleri karşılaştırılmış ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Kwon vd. (2011) [28], beton dolgu, çelik tüp ve bu iki malzemenin beraber kullanımı ile elde edilen beton dolgulu çelik tüplü kolonların arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Dairesel içi boş çelik ve dairesel beton dolgulu çelik tüplü kolonların basınç kuvveti altındaki davranışlarını incelemiştir. Çap/kalınlık (D/t) oranı 45-140 aralığında değişen 9 adet numune hazırlanmıştır. Ayrıca çelik tüpün

sargılama etkisi de incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları beton dolgulu kolonların lokal burkulma dayanımlarının içi boş kolonlara kıyasla önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada çap/kalınlık (D/t) oranının artmasıyla mevcut yönetmelik bağıntılarının tahmin sonuçlarının güvenilirliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Dundu (2012) [29], gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, uzunlukları 1000-2500 mm ve uzunluk/çap (L / D) oranı 5.16-21.77 aralığında değişen 24 adet beton doldurulmuş çelik tüplü narin kolonun aksel basınç kuvveti altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmanın sonunda, göçme etkisinin yüksek narinlik oranına sahip kolonlarda eğilmeli burkulma, düşük narinlik oranına sahip kolonlarda ise, betonun ezilmesi ve çelik tüpün akması nedeniyle meydana geldiği gözlenmiştir.

Tan Kefeng vd. (2012) [30], uzunluk/çap (L/D) oranı 3.5 olan yüksek dayanımlı beton dolgulu çelik tüplü kısa kolonların mekanik özelliklerini incelemiştir. Toplam 20 numuneden oluşan deneysel çalışmada çelik tüplü kolonu doldurmak için kullanılan betonun küp basınç dayanımı $54 < f_{cu} < 116$ MPa arasında değişmektedir. Küp basınç dayanımını (f_{cu}) silindirik basınç dayanımına (f'_c) dönüştürme işlemi 0.73 katsayısı ile çarpılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları çelik tüpün beton üzerindeki sargılama etkisinin sünekliği ve basınç dayanımını önemli ölçüde artırabildiğini göstermiştir.

Abed vd. (2013) [31], beton basınç dayanımları (f'_c) 44 MPa, 60 MPa ve çap/kalınlık oranı (D/t) 20, 32 ve 54 olacak şekilde 6 adet dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deneyinin aksel kuvvet altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yüksek çap/kalınlık (D/t) oranları için dolgu betonun dayanımı arttıkça kolonun sünekliğinin azaldığı ancak düşük çap/kalınlık (D/t) oranları için bunun tersinin doğru olduğu belirtilmiştir. Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC), Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), Avustralya Yönetmeliği (AS) ve Avrupa Yönetmeliği (Eurocode 4) bağıntıları ile yapılan tahminlerin deneysel sonuçlardan sapmalarının çap/kalınlık (D/t) oranı arttıkça arttığı belirlenmiştir.

Güler vd. (2013) [32], tarafından gerçekleştirilen çalışmada, aksel basınç kuvvetine maruz kalan dairesel kesitli ultra yüksek performanslı beton dolgulu

elik tüplü kolonların (UHPCFT) deneysel analizini sunulmuştur. Çalışma kapsamında, 12 adet beton dolgulu ve 8 adet i boş elik tüplü kolon olmak üzere toplamda 20 deney numunesi kullanılmış, performans değerlendirmesi için beton katkı oranı (CCR), dayanım artırma indeksi (SI) ve süneklik indeksi (DI) gibi ölçütler, numunelerin çap/kalınlık (D/t) oranına bağlı olarak incelenmiştir. Deney sonuçları, elik tüp kalınlığının 2.5 mm'den 3.65 mm'ye çıkarılmasının, süneklik indeksini (DI) %69 ve dayanım artırma indeksini (SI) %5 oranında artırdığını göstermiştir. Betonun i boş elik tüpe doldurulmasının getirdiği avantajı temsil eden beton katkı oranı (CCR), ince kesitler için daha kalın kesitlere göre daha kritiktir ve betonun sağladığı fayda daha fazladır. elik tüp kalınlığının 3.65 mm'den 2.5 mm'ye düőürülmesi durumunda beton katkı oranında (CCR) ortalama %36 artış görülmüştür. elik tüp kalınlığının artırılmasının, UHPCFT kolonlarının tepe yükünden sonraki süneklik performansını önemli ölçüde iyileőtirdiėi, ancak eksenel taşıma kapasitesini artırmaya herhangi bir katkı sağlamadığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Eurocode 4, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), Avustralya Yönetmeliği (AS) ve Japon Mimarlık Enstitüsü (AIJ) kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Eurocode 4 bağıntısı yardımıyla tahmin edilen eksenel kuvvet taşıma kapasitesi değerlerinin deneysel sonuçlara oranla ortalama %15 daha fazla olduğu gözlenmiştir. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) ve Avustralya Yönetmeliği (AS) bağıntıları ile ultra yüksek performanslı beton dolgulu elik tüplü kolonların (UHPCFT) eksenel kuvvet taşıma kapasitelerinin tahmininde 0.85'lik bir azaltma katsayısının kullanılmasından dolayı kapasitelerin deneysel sonuçlara oranla ortalama %20 daha düşük olduğu grlmőtr. Japon Mimarlık Enstitüsü (AIJ) bağıntısı ile eksenel kuvvet taşıma kapasitelerin ise deneysel taşıma kuvveti kapasitesi değerlerine oranla ortalama %11 daha düşük değerler elde edilmiştir.

Yang vd. (2013) [33], beton doldurulmuş elik tüplü kolonların donma ve zlmeye maruz kaldıktan sonraki davranışlarını deneysel olarak incelemiőtlerdir. Deney numunelerinin 15 adeti dairesel ve 15 adeti kare kolon numunesidir. Test sonuçları genel olarak donma ve zlmeye maruz kalmayan beton dolgulu elik tüplü kolonların, donma ve zlmeye maruz kalanlara göre daha iyi performans

sergilediği görülmüştür. Ayrıca donma ve çözülme çevrimlerinin sayısının artması kolonların nihai dayanımının ve elastisite modülünün azaldığını göstermiştir.

Ahmadi vd. (2014) [34], 272 deney verisi kullanarak Yapay Sinir Ağları (ANN) ile eksenel yük taşıma kapasitesinin tahminine ilişkin bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımda kolonun boyu (L), çelik tüpün çapı (D), çelik tüpün kalınlığı (t) ve akma dayanımı (f_y) ile betonun basınç dayanımı (f'_c) girdi parametreleri kullanılarak kolonların dayanım tahmini için farklı nöron sayısına sahip ağlar oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar mevcut araştırmacıların bağıntılarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Lu vd. (2015) [35], düz beton ve çelik lif takviyeli betonla doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel kuvvet altındaki davranışını incelemek için 36 deneyden oluşan bir çalışma sunmuştur. Deney numuneleri %0, %0.6, %0.9 ve %1.2 çelik lif hacim yüzdeleri içermektedir. Deneysel sonuçlar çelik liflerin göçme modunu değiştirmedığını ancak yerel burkulmaları geciktirerek sünekliğini artırdığını ve göçmeyi geciktirdiğini göstermiştir. Ayrıca betona çelik liflerin eklenmesinin çelik tüpün kalınlığını artırmaktan daha etkili ve ekonomik olduğu gösterilmiştir.

Güneyisi vd. (2016) [36], dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesini tahmin etmek amacıyla yeni bir formülasyon sunmayı hedeflemişlerdir. Eksenel yük taşıma kapasitesini tahmin etmek için literatürde genellikle kullanılan ampirik bağıntılara rağmen, genetik algoritma tabanlı bir formülasyonun eksik olduğu bir boşluğa dikkat çekmektedirler. Bu çalışmada, 314 adet deneysel veri derlenmiş ve gen ifadesi programlama (GEP) kullanılarak bir bağıntı geliştirilmiştir. Elde edilen bağıntı, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC), Japon Mimarlık Enstitüsü (AIJ), Avrupa Yönetmeliği (EC4), Çin Yönetmeliği (DL/T), Kanada Çelik Yapılar Enstitüsü (CISC) yönetmelikleri ile Giakoumelis ve Lam, Sakino vd., Goode ve Narayanan, Han vd., Hatzigeorgious ve Lu/Zhao bağıntılarıyla istatistiksel parametreler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, GEP modelinin mevcut formüllerden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ve daha düşük hata oranlarına sahip olduğunu göstermiştir.

Ekmekyapar ve Al-Eliwi (2016) [37], kolon parametrelerinin etkisini araştırmak için 18 adet beton doldurulmuş elik tüplü kolon numunesini incelemişlerdir. Deney numenelerinde  uzunluk/ap (L/D) (2.62, 5.25 ve 7.87) oranı, iki çap/kalınlık (D/t) (19.37 ve 41.71) oranı, iki elik kalitesi (f_y) (235 ve 355 MPa) ve üç beton basınç dayanımlı (f'_c) kalitesi (56.20, 66.75 ve 107.20 MPa) kullanmıştır. Tahminlerin uygulama sınırlarını genişletmek için literatürden 239 deney verisi toplanmıştır. Elde edilen veriler Avrupa Yönetmeliği (EC4) ve Amerikan elik Yapılar Enstitüsü (AISC-360) yönetmeliklerinin tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, uzunluk/ap (L/D) oranının beton dolgulu elik tüplü kolonların taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan önemli bir etkiye sahip olduğunu, çap/kalınlık (D/t) oranının ise kolon göçme davranışı üzerinde doğrudan bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Zhu vd. (2016) [38], eksenel basınç kuvveti etkisi altında büyük çaplı beton dolgulu yüksek dayanımlı elik tüplü kolonların davranışını incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada kullanılan üç kolonun geometrik özellikleri özdeş olup çapları 550 mm, uzunlukları 1000 mm ve tp kalınlıkları 16 mm'dir. Deneysel çalışmada yüksek dayanımlı Q550 eliği ve C30 betonu kullanılmış, sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçlar Avrupa Yönetmeliği (EC4), Çin Yönetmeliği (CECS 28) ve İngiliz Yönetmeliğinde (BS 5400) ngrlen bağıntılar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçların yönetmelik bağıntı tahminleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Eksenel basınç kuvvetine maruz kalan üç kolonda gözlenen göçme modlarının benzerlik gösterdiği, kolonların st ve alt uçlarında bükülme, orta bölgede ise genişleme olduğu gözlenmiştir. Bu bulgular, beton dolgulu elik tüplü kolonların eksenel basınç altındaki davranışlarını anlamak ve tasarımı süreçlerini iyileştirmek adına önemli bir katkı sağlamıştır.

Zhi-Bin Wang vd. (2017) [39], 270 dairesel ve 229 dikdörtgen kesitli beton doldurulmuş elik tüplü kolon deney verisini sonlu elemanlar yaklaşımı ile modelleyerek dairesel ve dikdörtgen kesitler için ayrı bağıntılar önermişlerdir. Mevcut tasarımı yönetmeliklerindeki yaklaşımlarında çeşitli kısıtlamalar bulunduğu, çalışmada önerilen modelin dairesel kesitli kolon modeli için kullanılabilme aralıklarının çap/kalınlık oranı için $12 < D/t < 150$, elik tüpün

akma gerilmesi için $175 < f_y < 960$ MPa ve silindirik beton basınç dayanımı için $20 < f'_c < 120$ MPa olmak üzere geniş bir parametre aralığında kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Yuyin Wang vd. (2017) [40], eksenel basınç kuvvetine maruz kalan dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kısa kolonların boyut etkisini araştırmak için farklı çap ($150 \text{ mm} \leq d \leq 460 \text{ mm}$) ve çelik oranlarına ($\%4.0 \leq \alpha = \frac{A_s}{A_c} \leq \%10.0$) sahip 36 adet kolonu test etmiştir. Deney sonuçları, numunelerin pik eksenel gerilmesinin ve süneklik katsayısının kolon çapının artmasıyla azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Numunelerin çapı arttığında kompozit elastisite modülü değerlerinin neredeyse sabit kaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca boyut etkisinin çelik oranı arttıkça azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir.

Zhou vd. (2017) [41], ultra yüksek dayanımlı beton dolgulu çelik tüplü kısa kolonların basınç kuvveti altındaki davranışlarını incelemiştir. Numunelerin çelik oranı ve çelik dayanımı arttıkça çelik tüpün sargı etkisinin arttığı, çelik tüpün sınırlama etkisinin ultra yüksek dayanımlı betonun (UHSC) gevrek kırılma modunu etkili bir şekilde değiştirerek sünekliğini ve yük taşıma kapasitelerini büyük ölçüde geliştirdiğini göstermiştir.

Chen vd. (2018) [42], ultra yüksek performanslı betonla doldurulmuş çelik tüplü kolonların (UHPCFST) yük-şekil değiştirme ilişkisi, eksenel basınç dayanımı ve göçme modları üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerin 9'ar adeti beton dolgulu dairesel ve kare, 3'er adeti dolgusuz dairesel ve kare kesitli kolon numunelerinden oluşmaktadır. Ayrıca çalışmada sunulan veri tabanı dikkate alınarak yapılan regresyon analizi ile ultra yüksek performanslı betonla doldurulmuş çelik tüplü kolonların (UHPCFST) eksenel basınç dayanımını tahmin etmek için yeni bir model önerilmiştir.

Ren vd. (2018) [43], kumul kumu içeren beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel basınç kuvveti altındaki davranışını incelemişlerdir. Tüp kalınlığının, kesit boyutlarının ve beton dolgunun kolonların davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deney numunesi olarak 10 adet beton dolgulu dairesel, 2 adet dolgusuz dairesel, 10 adet beton dolgulu kare ve 2 adet dolgusuz kare kolon numunesi kullanılmıştır. Deney sonuçları, geleneksel beton dolgulu çelik tüplü

kolonlar ile kumlu beton içeren kolonların benzer sünek davranış sergilediğini ve yüksek basınç kuvveti altında dışa doğru burkulma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Kolonun basınç kuvveti altında rijitlik ve dayanımının tüp kalınlığı (t) ve tüp çapının (D) küçülmesiyle azaldığı, beton dolgu etkisiyle arttığı gözlenmiştir. Bunun yanısıra kolonun sünekliğinin, tüp kalınlığı (t) ve beton dolgunun varlığı ile azaldığı, tüp çapının (D) azalmasıyla arttığı görülmüştür. Beton dolguda kumul kumu kullanımının belirgin bir zararlı etkisi gözlenmemiştir. Bu durum çöllere yakın bölgelerde normal kum yerine kumul kumu kullanmanın uygun olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut yönetmeliklerin çerçevesinde değerlendirilmiş ve bu bağlamda kumul kumu içeren beton dolgulu çelik tüplü kolonların tahmini için önerilen bağıntıların tatmin edici sonuçlar ortaya koyduğu anlaşılmıştır.

Zhou vd. (2018) [44], 15 adet dairesel kesitli beton doldurulmuş yüksek dayanımlı çelik tüplü kolon (CFHST) numunesi üzerinde çap/kalınlık (D/t) oranının etkisine odaklanan deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çap/kalınlık (D/t) oranı 50 ile 130 arasında değişen 15 deney numunesi eksenel basınç kuvveti altında test edilmiştir. Çap/kalınlık (D/t) oranının kırılma modu, yük-deformasyon ilişkisi ve eksenel basınç dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Liang vd. tarafından önerilen fiber eleman yöntemi, yük-eksenel deformasyon eğrilerini tahmin etmek için revize edilmiş ve daha sonra literatürden toplanan 215 adet beton dolgulu çelik tüplü kolon verisi ile yük taşıma kapasitesi doğrulanmıştır. Yüksek dayanımlı çelik tüp tarafından sağlanan sargılama etkisiyle betonun dayanımı ve sünekliğinin arttığı gözlenmiş, çelik tüpün eksenel gerilmesinin betonun kesme göçmesinden önce akma gerilmesine ulaşması nedeniyle çap/kalınlık (D/t) oranı 125'ten az olan CFHST'de plastik kesit tasarımının hala uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Liao vd. (2019) [45], deniz kumu içeren beton dolgulu paslanmaz çelik tüplü kolonların eksenel basınç kuvveti altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Doğal nehir kumu betonu, tuzdan arındırılmış deniz kumu betonu ve doğal deniz kumu betonu olmak üzere üç tip beton ile doldurulmuş 24 adet dairesel ve 24 adet kare numune test edilmiştir. Nehir kumu içeren beton dolgulu çelik tüplü kolonlarla karşılaştırıldığında hem tuzdan arındırılmış deniz kumu

betonu hem de doğal deniz kumu betonu içeren kolonlarda belirgin bir süneklik azalması gözlemlenmiştir.

Yan vd. (2019) [46], 11 adet dairesel ve 12 adet kare kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonun 20° , -30° , -60° , -80° C sıcaklıklarda eksenel basınç kuvveti altındaki davranışlarını incelemiştir. Elde edilen eksenel kuvvet taşıma kapasitesi değerleri mevcut yönetmelik bağıntıları sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalar düşük sıcaklıkların genellikle kolonların basınç dayanımını ve rijitliklerini artırdığını ancak sünekliklerini azalttığını ortaya koymuştur.

Tran vd. (2019) [47], literatürden derlenen 258 adet dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verisini kullanarak yapay sinir ağları (ANN) yöntemi ile eksenel basınç kapasitesi tahmini için bir bağıntı elde etmiştir. Elde edilen bağıntı mevcut yönetmelik ve araştırmacıların önerdikleri bağıntılar ile hata oranlarının yüzdelik dağılımları açısından karşılaştırılmıştır. Eksenel yük taşıma kapasitesine katkıda bulunan ana faktörleri incelemek için kararlılık analizi, duyarlılık analizi ve parametrik çalışma yapılmıştır. Duyarlılık analizi ve parametrik çalışma sonucu çelik tüpün çapının (D) en duyarlı parametre olduğu anlaşılmıştır.

Tran vd. (2020) [48], ultra yüksek dayanımlı betona sahip beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel basınç kapasitesini tahmin etmek için yapay sinir ağı (ANN) modelini geliştirmiştir. Bu amaçla ABAQUS programı kullanılarak 768 sonlu eleman modelinden oluşan bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Elde edilen yapay sinir ağı (ANN) modeli literatürdeki deneylerle doğrulanmıştır. Önerilen yapay sinir ağı (ANN) modelinin performansı Avustralya/Yeni Zelanda Yönetmelikleri (AS/NZS 5100), Avrupa Yönetmeliği (EC4), Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC) ve Çin Yönetmeliği (GB 50936) gibi mevcut yapısal tasarım kodları ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel karşılaştırmalar sonucu önerilen yapay sinir ağları (ANN) modelinin diğerlerine kıyasla daha üstün bir performans sergilediği görülmüş ve modelin kullanımı için grafik arayüzü aracı geliştirilmiştir.

Zarringol vd. (2020) [49], 1287 adet dikdörtgen ve 1804 adet dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deney verisini incelemiştir. 1804 dairesel kesitli kolonun 1305 adedi eksenel yüklü, 499 adedi ise eksantrik yüklü kolon grubuna ayrılmıştır. Yapay sinir ağları (ANN) yardımıyla eksenel ve eksantrik

yüklü kolon grupları için ayrı bağıntılar türetilmiştir. Türetilen bağıntılar Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC 360-16), Avrupa Yönetmeliği (EC4) ve Avustralya/Yeni Zelanda Yönetmeliği (AS/NZS 5100) ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre yapay sinir ağları (ANN) ile elde edilen bağıntıların, en düşük ortalama kare hatası (MSE) ile deneysel sonuçlarıyla en iyi uyuma sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca önerilen denklemler için Monte Carlo simülasyonu kullanılarak dayanım azaltma katsayıları hesaplanmıştır. Önerilen dayanım azaltma faktörlerinin uygulanması ile geliştirilen yapay sinir ağları (ANN) tabanlı denklemlerle tasarlanan beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonların daha güvenilir şekilde tasarlanabileceği vurgulanmıştır.

Cai vd. (2020) [50], çimento üretimine bağlı küresel ısınmayı ve karbon ayak izini azaltma amacıyla daha düşük çimento içerikli eko-beton kullanılarak elde edilen 40 adet beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deney verisini oluşturmuşlardır. Geleneksel beton yerine eko-beton kullanılması durumunda, eksenel basınç dayanımında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Eko-beton veya geleneksel beton kullanıldığında benzer eksenel yük-gerilme eğrileri ve göçme modları elde edilmiştir. Elde edilen kolonlara ait eksenel yük taşıma kapasitesi sonuçları, mevcut yönetmeliklerle karşılaştırılmıştır. Hem geleneksel beton hem de eko-beton kullanıldığında, mevcut tasarım kodlarının eksenel basınç dayanımı için geçerli olduğu görülmüştür.

Guan vd. (2020) [51], doğal kum ve imal edilmiş kumdan elde edilen betonun eksenel yük taşıma kapasitesi üzerinde 4 parametrenin etkilerini gözlemlemek için 63 deney numunesini tasarlamışlardır. Bahsedilen parametreler 1-) kum kaynağı, 2-) taş tozu içeriği, 3-) çelik tüpün çap/kalınlık (D/t) oranı, 4-) beton dolgunun basınç dayanımıdır. Test sonuçları imal edilmiş kumdan elde edilen beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel basınç dayanımının çelik tüpün çap/kalınlık (D/t) oranının azaltılması veya beton dolgunun basınç dayanımının (f'_c) artırılmasıyla arttığını ancak kum üretiminde kullanılan taş türünden veya taş tozu içeriğinin önemli oranda etkilenmediğini ve ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen eksenel yük taşıma gücü sonuçları Avrupa Yönetmeliği (EC4), Japon Mimarlık Enstitüsü (AIJ 2008) ve Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü

(AISC 360-16) bağıntıları ile karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda yönetmeliklerin ihtiyatlı tahminler yapabildiği gözlenmiştir.

Wei vd. (2020) [52], dairesel kesitli yüksek dayanımlı beton doldurulmuş çelik tüplü kısa kolonlar üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Literatürden derledikleri 87 deney numunesi ve deneysel olarak gerçekleştirdikleri 20 deney numunesinin eksenel yük taşıma kapasitesi değerlerini mevcut yönetmeliklerle karşılaştırmışlardır. Deney sonuçları dairesel kesitli yüksek dayanımlı beton dolgulu çelik tüplü kısa kolonların dayanımlarının artan çelik akma dayanımı (f_y) ve beton basınç dayanımı (f'_c) ile arttığını ancak artan çap/kalınlık (D/t) oranı ile azaldığını göstermiştir.

Zhang vd. (2020) [53], ultra yüksek dayanımlı beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların (UHPCFST) eksenel yük taşıma kapasitesini incelemek amacıyla 4 adet eksenel yüklü dairesel, 6 adet eksantrik yüklü dairesel, 4 adet eksenel yüklü kare ve 6 adet eksantrik yüklü kare kolon numunesini deneysel olarak incelemişlerdir. Söz konusu numunelerin başlangıç eksantrikliği ve narinlik oranı arttıkça, kolonun başlangıç rijitliği ve yük taşıma kapasitesinin azaldığı görülmüştür.

Naser vd. (2021) [54], Genetik algoritma (GA) ve Gen ifadesi programlama (GEP) yardımı ile dairesel ve dörtgen kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü eksenel veya eksantrik yüke maruz kalan kolonların taşıma kapasitesinin tahmini için ayrı ayrı bağıntılar türetmişlerdir. Bağıntı türetme işlemi aşamasında literatürden derlenen 1245 eksenel ve 485 eksantrik yüklü dairesel kesitli ile 979 eksenel ve 394 eksantrik yüklü dörtgen beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deney veri setinden yararlanılmıştır. Genetik algoritma (GA) ve Gen ifadesi programlama (GEP) ile elde edilen bağıntıların performansları Avrupa Yönetmeliği (EC4), Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC 360-16) ve Yeni Zelanda Yönetmeliği (AS 2327) sonuçlarıyla istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada genetik algoritma (GA) ile elde edilen bağıntıların belirleme katsayısı (R^2) değerlerinin Gen ifadesi programlama (GEP) ile elde edilen bağıntılara göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Vu vd. (2021) [55], 1017 adet deney verisini kullanarak makine öğrenimi (ML) yöntemlerinin performanslarını ölçmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Bu amaçla gradyan ağacı artırma (GTB), rastgele orman (RF), destek vektör makinesi (SVM), karar ağacı (DT) ve derin öğrenme (DL) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan makine öğrenimi (ML) algoritmaları arasında gradyan ağacı artırma (GTB) algoritmasının daha hızlı ve daha doğru tahminler verdiği anlaşılmıştır. Daha sonra gradyan ağacı artırma (GTB) algoritması ile elde edilen sonuçlar Avrupa Yönetmeliği (EC4), Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC 360-16), Avustralya Yönetmelikleri (ASNZS 2327) ile Wang vd. ve Tran vd. tarafından önerilen bağıntılar ile hata oranlarının dağılımları açısından karşılaştırmıştır. Gradyan ağacı artırma (GTB) ile elde edilen sonuçların yönetmelik ve araştırmacıların bağıntılarına göre daha duyarlı tahminler verdiği anlaşılmıştır.

Ibanez vd. (2021) [56], 10 adet dairesel, 4 adet kare ve 4 adet dikdörtgen beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deney verisi üzerinde beton basınç dayanımının eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deney numuneleri kendi aralarında uzunluk (L), çap (D), çelik akma dayanımları (f_y) özdeş, ancak tüp kalınlığı (t) farklı olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Ayrılan gruplardaki kolonlar hem normal hem de yüksek dayanımlı betonlarla doldurularak sonuçlara etkisi gözlenmiştir. Dairesel kesitli kolonlarla yüksek dayanımlı beton kullanımının hem ince hem de kalın tüp kalınlığında betonun dayanıma katkısını arttırdığını, ancak dikdörtgen numunelerde bu katkının gözlenmediği görülmüştür. Deney sonuçları Avrupa Yönetmeliği (EC4), Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC), Çin Yönetmeliği (DBJ) ve Avustralya Yönetmeliği (AS) bağıntılarının tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsüne (AISC) göre elde edilen bağıntının en duyarlı sonuçları verdiği anlaşılmıştır.

Hou ve Zhou (2022) [9], beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel basınç dayanımını tahmin etmede makine öğrenimi (ML) algoritmalarının performanslarını karşılaştırmıştır. Geri yayımlı sinir ağı (BPNN), genetik algortima (GA-BPNN), radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı (RBFNN), Gauss süreci regresyonu (GPR) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri kurulmuş ve tahmin sonuçları değerlendirilmiştir. Literatür çalışması ile elde edilen 2045 deney verisi narinlik oranına göre kısa kolon ($L/D < 4$) ve uzun kolon ($L/D \geq 4$)

olarak iki ayrı veri setine bölünmüştür. Gauss süreci regresyonu (GPR) hem kısa kolon hem de uzun koloların eksenel kuvvet kapasitesinin tahmininde daha yüksek doğruluk ve minimum hata oranı ile en iyi performansı göstermiştir.

Bhartiya vd. (2023) [57], beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların döngüsel (tekrarlı) eksenel basınç yüklemesi altında beton sınıfı, narinlik oranı (L/D) ve beton yaşının etkilerini araştırmak için 27 adet numunenin deneysel incelemesini çalışmalarında sunmuştur. Deneyler uzunluk (L), çap (D) ve kalınlığa (t) göre 4 ayrı gruba ayrılmıştır. Deneylerin uzunluk/çap (L/D) oranı 3-10 aralığında ve çap/kalınlık (D/t) oranı 13-26 aralığında seçilmiştir. Döngüsel testlerden elde edilen sonuçların monotonik yükleme altındaki yük-deformasyon davranışına benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca beton dolgulu çelik tüplü kolonların döngüsel yükler altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için modifiye edilmiş bir döngüsel sınırlama modeli önerilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

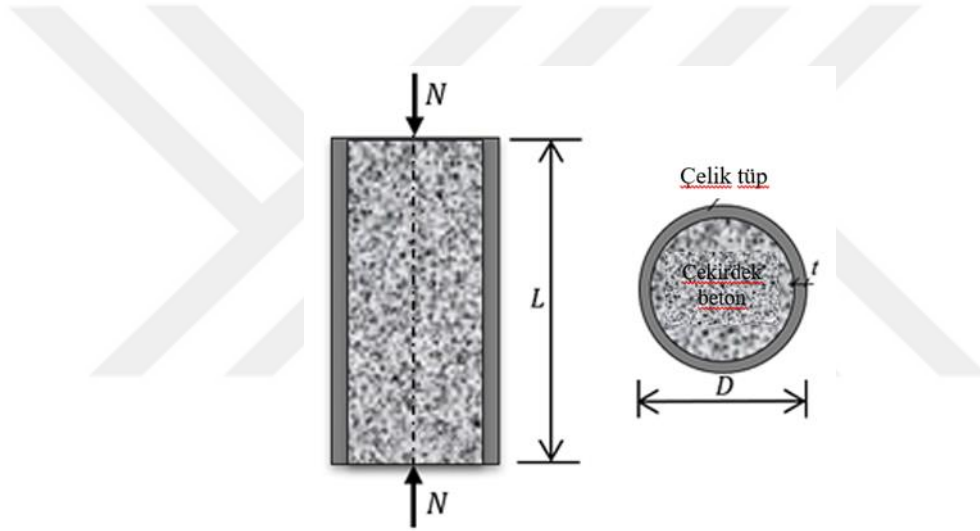
Bu çalışmada, literatürden elde edilen dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolon deney verileri kullanılarak deneysel verilere en yakın eksenel yük taşıma kapasitesi tahmin sonuçlarını veren bağıntının türetilmesi amaçlanmıştır. Bağıntı türetme işleminde makine öğrenimi algoritmalarından olan gen ifadesi programı (GEP) kullanılmıştır. Türetilen bağıntılar mevcut yönetmelik ve araştırmacıların konuyla ilgili önerdikleri bağıntılar ile istatistiksel parametreler gözetilerek karşılaştırılmış ve en güvenilir bağıntı elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tahmin sonuçlarının duyarlılığını artırmak amacıyla narinlik etkisi incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin en güvenilir şekilde tahmin edilebilmesi için deney verilerinin narin olmayan kolonlar ve narin kolonlar olarak iki ayrı veri setine bölünmesi ile elde edilen bağıntıların daha hassas sonuçlar verdiği düşünülmüştür.

2 BETON DOLDURULMUŞ ÇELİK TÜPLÜ KOLONLAR (CFST)

Beton doldurulmuş çelik tüplü (CFST) kolonlar hem betonun hem de çeliğin özelliklerini yapısında bulunduran üstün bir kompozit kolon çeşididir. Betonun çelik tüpün içine yerleştirilmesi ile kesitin dayanım ve rijitliği optimum çözümü sunar. Şekil 2.1’de dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların temsili gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon [9]

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların içindeki dolgu betonu; çimento, agrega (kum+çakıl), su ve gerekli hallerde amaca uygun olarak kullanılan katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Betonun kullanım amacı ve maruz kalacağı ortam etkilerine uygun olarak üretilebilmesi için bileşenlerinin katılım oranlarının bilinmesi gerekmektedir [58]. Katkı maddesi olarak uçucu kül veya çelik lif takviyesi içeren beton dolgu ile deniz kumu, nehir kumu, doğal kum ve imal edilmiş kumdan elde edilen beton dolguya ait deney verileri literatürden elde edilerek veri setine dahil edilmiştir. Silindirik beton basınç dayanımı (f'_c); 20

MPa'nın altında olan betonlar düşük dayanımlı, 20 ile 50 MPa aralığında normal dayanımlı, 50 ile 100 MPa aralığında yüksek dayanımlı ve 100 MPa'nın üzerinde ultra yüksek dayanımlı olarak sınıflandırılan betonlar bu çalışma kapsamında yer almaktadır.

Betonu dolguyu çevreleyen çelik tüp; dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil almış ve içerisinde demir (%96-98), karbon (%0.16-0.20), fosfor, kükürt, azot gibi bileşenler içeren yapı malzemesidir. Bu çalışma kapsamında çeliğin akma dayanımı ve kesit boyutları konusunda herhangi bir sınırlama yoktur. Fiber takviyeli polimer (FRP) gibi sargılarla güçlendirilmiş dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonlar veri tabanına dahil edilmemiştir. Literatürden derlenen deney veri setinde Türkiye (TSI), Avrupa (EN), Amerika (ASTM), İngiliz (BS), Çin (GB), Alman (DIN) Standartlarına ait çelik sınıfları kullanılmıştır.

2.1 Beton Dolgulu Çelik Tüplü Kolonların Avantaj ve Dezavantajları

Eksenel basınç kuvveti altındaki beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlarda; beton dolgu, çelik tüpün burkulmasını önleyebilir veya geciktirebilir. Çelik tüpün burkulması engellenerek yapıların dayanımı ve sünekliği artırılmaktadır. Beton basınç kuvveti etkisi ile yanal olarak genişleyerek çatlasa bile çelik tüpe dayandığından dolayı burkulmanın gecikmesi yine de meydana gelecektir. Beton çekirdeğin varlığı tüm yerel burkulma modlarını dışarıya doğru gerçekleşmeye zorlayacaktır, burkulma meydana gelmeden önce çelik tüpün akma dayanımına ulaşabilmesini sağlayan uygun kesitler seçilmelidir [59].

Beton dolguyu çevreleyen çelik tüp ise betonu sararak bir sınırlama etkisi oluşturur. Bu sınırlama etkisi beton çekirdeğin mukavemetini ve sünekliğini önemli ölçüde artırır [24]. Betona göre daha yüksek dayanıklılığa ve daha büyük elastisite modülüne sahip olan çeliğin kesit merkezinden en uzağa yerleştirilmesi sayesinde kesitin eğilme rijitliği artmaktadır. Daha küçük çaplı kolonlarla daha büyük eğilme rijitliği ve daha yüksek basınç dayanımı elde edilmektedir. Çelik tüplü kolonların taşıma gücü, kullanılan çelik malzemenin özelliklerine, kolonun kesit boyutlarına ve tasarım parametrelerine bağlı değişir.

Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar, deprem etkisine maruz yapılar için çokça tercih edilen tasarım şekli haline gelmiştir. Özellikle şiddetli depremlere maruz kalındığında, geleneksel betonarme kolonlarda örtü betonunun dökülmesinin engellenmesi sayesinde yapıda daha yüksek bir dayanıklılık sağlamaktadır. Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlar, geleneksel betonarme kolonlarla karşılaştırıldığında kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sık rastlanan donatı düzeni gibi sorunlarla karşılaşmamakta, bu özellik yapısal bütünlüğü ve performansı artırarak, daha güvenli bir yapı tasarımı oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, betonun yangına karşı dayanıklılığına rağmen, çelik malzemenin yangın dayanımı açısından zayıflığı bir dezavantaj olarak ön plana çıkmaktadır. Bu olumsuz durumu dengelemek amacıyla, içi boş çelik tüplü kolonlarla karşılaştırıldığında, beton dolgulu çelik tüplü kolonlarda yangına karşı direnç önemli ölçüde artmaktadır. Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar, içerdikleri beton dolgu malzemesi sayesinde yangın sırasında oluşabilecek yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık gösterir. Bu tasarım, çelik malzemenin doğal zayıflığına karşı bir çözüm sunarak, yapısal bütünlüğü ve güvenliğini artırmayı hedeflemektedir.

Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlarda kalıp maliyetinin ortadan kalkması ve hızlı montajı ile zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmaktadır. Taşıyıcı eleman boyutlarının küçülmesi sayesinde mimari açıdan da daha etkin alanlar elde edilebilmektedir. Daha küçük ve daha hafif taşıyıcı elemanların kullanımı ile temele aktarılan kuvvetler azalmakta ve böylece temel maliyetleri azalmaktadır.

Beton dolgulu çelik tüplü kolonların avantajlarının yanısıra tasarım ilkelerinin birçok ülke yönetmeliğinde eksik veya belirsiz olup, uygulanmış tasarımların yetersizliği dikkat çekmektedir. Ayrıca mevcut yönetmeliklerde yer alan kısıtlamalar, beton dolgulu çelik tüplü kolonların uygulama alanını daraltmaktadır. Bu tür kolonların kiriş, çapraz ve döşeme elemanlarıyla gerçekleştirilen bağlantıları genellikle kaynak veya bulonlu birleşimlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu bağlantıların karmaşıklığı ve uygulama zorluğu, bu tür kolonların tasarımında dezavantajlar oluşturmaktadır. Yüksek sünekliğe sahip beton dolgulu çelik tüplü kolonların yüksek yapılarda kullanımı sırasında 2. mertebe etkileri tasarımda önemli yer edinmektedir. Aşırı $P - \Delta$ etkilerinden kaçınmak sismik tasarımın en önemli kaygılarından biridir. Beton dolgunun içi boş

elik tüplere dökülmesi işleminden sonra betonda meydana gelebilecek arızaların onarılması da oldukça g c t r.

2.2 Beton Dolgulu elik Tüplü Kolonların Kullanım Alanları

Beton dolgulu elik tüplü kolonların kullanımı Bölüm 2.1’de belirtilen özellikleri sayesinde son yıllarda uzun açıklıklı köprüler, endüstriyel yapılar, stadyum, havaalanı, elektrik iletim kuleleri ve yüksek katlı yapılarda giderek artmaktadır. Bu alt bölümde, dünyanın farklı ülkelerinde beton dolgulu elik tüplü kolon kullanılan bazı yapı örneklerinden söz edilecektir.



Şekil 2.2 Kanton Kulesi [60]

Örneğın Çin’in Guangzhou  hrinde yer alan 600 metre yüksekliğindeki Kanton Kulesi beton dolgulu elik tüplü kolonlar kullanılarak inşa edilmiştir. Ana gövdesi 454 metre ve anten direği ise 146 metre yüksekliğindeki olan televizyon kulesi, Çin’in en uzun ikinci ve dünyanın ise en uzun üçüncü kulesi konumundadır. 16. Asya Oyunları için 2010 yılında açılmış olan bu yapı 2012 yılına kadar dünyanın en yüksek kulesi unvanına sahip olmuştur. Maksimum t p çapı 2000 mm ve maksimum et kalınlığı 50 mm olan toplam 24 adet eğimli dairesel kesitli beton dolgulu elik tüplü kolon kullanılmıştır [60].

Çin'in Guangxi Eyaletindeki Pingnan şehrinde 2020 yılında açılışı yapılan Pingnan 3. Köprüsünün yapımında beton dolgulu çelik tüplü kolonlardan faydalanılmıştır. 575 m açıklığa sahip olan köprü dünyanın en uzun açıklıklı kemer köprüsü unvanına sahiptir [61].



Şekil 2.3 Pingnan 3. Köprüsü [61]

Beton dolgulu çelik tüplü kolonların diğer bir örneği de, 2009 yılında Çin'in Zhoushan şehrinde inşa edilen bir elektrik iletim kulesidir. Kule 370 metre yüksekliğe sahiptir ve 210 metre yüksekliğe kadar çapı 2000 mm olan beton dolgulu çelik tüplü kolonlar kullanılmıştır [60].



Şekil 2.4 Zhoushan elektrik iletim kulesi [60]

2.3 Deney Verilerinin Analizi

Bu bölümde çalışmanın konusunu teşkil eden dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların aksel basınç dayanımına ilişkin bağıntının türetilmesinde göz önüne alınan literatürden derlenmiş deney numunelerini içeren deneysel veri tabanı hakkında bilgi verilecektir. Deneysel veri tabanı, 1957 yılından günümüze dek dünyanın birçok ülkesinde farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiş 1060 adeti narin olmayan ($L/D < 4$) ve 805 adeti narin ($L/D \geq 4$) kolonu içeren toplam 1865 adet dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon numunesinden oluşmaktadır. Veri tabanında yer alan numunelerin değişkenleri ve bu değişkenlere ilişkin değerlerin minimum ve maksimum sınırları Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Söz konusu parametreler çelik tüpün çapı (D), çelik tüpün kalınlığı (t), deney numunesinin boyu (L), çelik tüpün akma dayanımı (f_y), silindirik beton basınç dayanımı (f'_c) ve kolonun aksel kuvvet taşıma gücü (N) dır.

Beton dolgunun basınç dayanımı silindirik, kübik ve prizmatik numune boyutlarındaki testlerle ölçülmüştür. Deneylerin güvenilir şekilde kullanılabilmesi için beton dayanımlarının ortak bir ölçüm boyutuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Dünyanın farklı ülkelerinde farklı ebatlarda numuneler kullanılsa da en çok kabul gören numune ebatları 150×300 mm ebatında silindir ve

150 × 150 × 150 mm ebatındaki küp numunelerdir. Mevcut çalışmada küp basınç dayanımları, Çin Yönetmeliği (GB 50010) ile Goode ve Lam [62] tarafından önerilen denklem 2.1 yardımıyla silindirik basınç dayanımlarına dönüştürülmüştür.

$$f'_c = 0.8f_{cu} \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda f_{cu} ve f'_c sırasıyla betonun küp ve silindirik basınç dayanımını göstermektedir.

Tablo 2.1 Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri

Araştırmacı	Yıl	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	Deney Sayısı	Min/Max	Min/Max	Min/Max	Min/Max	Min/Max	Min/Max
Kloppel ve Goder [10]	1957	95	3.4	860	277	20.6	413
	46	216	12.8	2310	411	30.2	2923
Salani ve Sims [11]	1964	38.1	1.24	1524	532	17.93	106.8
	12	76.2	2.77			28.30	320.3
Chapman ve Neogi [12]	1966	127.1	1.63	406	270	21.3	1285
	16	355.6	11.18	2083	376	67.2	11460
Gardener ve Jacobson [13]	1967	76.43	1.68	152.35	363.28	20.89	244.65
	24	152.7	4.93	1676.40	633.42	43.44	2913.59
Furlong [14]	1967	114.3	1.55	914	294	21.4	623
	8	152.4	3.18		420	35.6	756
Gardner [63]	1968	168.3	2.62	305	200.2	18.2	689
	19	169.3	5	2135	338.1	37.1	1984
Knowles ve Park [15]	1969	82.55	1.40	508	406	41.5	224.6
	11	88.9	5.84	1727	490		991.9
Guiaux ve Janss [64]	1970	95	3.55	503.75	281.45	37.07	140.24
	24	219.25	6.5	4365	302.04	42.17	2804.7
Janss ve Ansjlin [65]	1974	275	5	1194	321	28	6813
	13	406	9	1621	626	38	8382
Zhong ve Wang [66]	1978	95	2	240	178.28	21.8	433.2
	54	500	12	5000	602.70	54.5	12838
SSRC Task group 20 [67]	1979	95	3.65	1050	292	21.10	529
	11	215.9	6	2310	392	30	2869
Tang vd. [16]	1982	76.5	1.5	153	232.3	9.9	344
	75	300	10	1994	602.7	55.65	5135
Zhanshuan ve Cai [17]	1984	96	2	200	235.36	9.17	843.37
	56	320	12	3700	410.90	52.96	7919.97
S.H. Cai [68]	1984	96	2	260	235.2	26.56	1044
	31	320	12	1100	410.6	46.57	7909
Cai ve Gu [69]	1985	108	4	324	324	27.22	210.7
	52			5560	339.11	28.99	1117.96
Sakino [70]	1985	100	0.52	200	244	17.95	237.32
	16	101.8	5.70		320	37.40	971

Tablo 2.1 Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri
(devamı)

Wang ve Yang [71]	1985 5	130.6 134.3	2.38 6.20	264	235	17.4 26.6	535 1006
Cheng vd. [72]	1988 5	48 165	3.5 4.5	192 660	223 304	33.2	273 1647
Lin [18]	1988 6	150	0.7 2.1	480 800	245.17	22.56 35.30	513 1073
Pan ve Liang [73]	1988 3	160 165	4.3 4.5	2420 3640	317.7	43.3	987 1561
Goode [74]	1989 4	86.49 89.27	2.74 4.05	270	226.7	30.2 48	412 605
Luksha ve Nesterovich [75]	1991 10	159 1020	5.07 13.25	477 3060	291.4 391.5	15 46	2230 46000
Masuo vd. [76]	1991 20	190.7 267.4	6 7	1150 4800	460.91 505.04	48.35 55.90	2059.4 5190
Sakino [77]	1991 12	174 179	3 9	360	248.5 283.31	22.16 45.70	1304.28 3216.58
Tsuji vd. [78]	1991 2	114.3	3.5 4.5	229	339 350	33.4	969 1069
Gu vd. [79]	1993 3	169	7.5	690 1768	360	70.8	2870 4190
Bergmann [80]	1994 2	323.9	5.6	1000 4000	443.9 478	92.3	10401 11481
Fujii [81]	1994 15	114	1.72 6.14	850 2750	266 486	24 37	353 1334
Kenny vd. [82]	1994 6	139.7 177.8	9.22 12.75	914.4 3048	593.66 681.92	38.41	2001.7 5524.7
Kilpatrick [83]	1994 9	76 101.7	2.2 2.4	266 356	380 390	57	420 775
Prion ve Boehme [84]	1994 4	152	1.7	500 900	270 328	73 85	1448 1895
Matsui [85]	1995 6	165.2	4.17	660.8 4956	358.7	40.9	800 1594
Kato [19]	1996 37	114.3 267.4	3.1 6.4	661 4956	340 505	48.6 74.9	293 5188
Tsuda vd. [86]	1996 6	165.2	4.5	661 4956	413.84	40.9	781.6 1562.2
Zha [87]	1996 4	133	4.5	1862 2793	325	42.2	715 882
Han [88]	1997 9	111.3 165.7	2 6.3	338 497	309.5 482.5	60.75	855 3123
O'Shea ve Bridge [20]	1998 6	190	1.11	656 664	203.1	94.7 110.3	2462 3140
Schneider ve ASCE [89]	1998 3	140 141.4	3 6.68	635	285 537	23.81 28.18	881 2715
Kilpatrick ve Rangan [90]	1999 1	101.5	2.4	2175	410	58	523

Tablo 2.1 Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri

(devamı)

Zhong [91]	1999 31	101.3 265	1.5 5.4	310 812	264.9 357.7	18.4 42.7	370 3789
Han[21]	2000 11	108	4.5	3510 4158	348.1	31.8 46.8	280 440
O'Shea ve Bridge [92]	2000 15	165 190	0.86 2.82	577.5 664.5	185.7 363.3	41 108	1350 3360
Elchalakani vd. [93]	2001 5	114.3	2.74 5.90	300	235 355	56.2 107.2	902 1819
Yamamoto vd. [94]	2002 26	101.3 318.5	3.03 10.37	305 955	335 452	23.2 52.2	632 9297
Johansson ve Gylltoft [95]	2002 1	159	4.8	650	433	64.5	2150
Bai ve Li [96]	2003 24	159 219	3.8 7	520 1640	273 379	24.2 38.2	1639 3278
Baochun vd. [97]	2003 3	219	4 6	1000	325	47.6 58	1931 2989
Chen ve Hikosaka [98]	2003 3	219	4 6	1000	325	47.6 58	1930.6 2989
Gopal ve Manoharan [99]	2003 2	76	2	1555	275	41.6	330 355
Han ve Yao [100]	2003 2	120	2.65	360 1400	340	36	769 816
Uenaka vd. [101]	2003 3	157.5 158.7	0.9 2.14	450	221 308	18.7	699.7 907.5
Wang ve Zhang [102]	2003 36	133.1 167.8	3.28 5.44	396 504	325.3 392	35.7 61.7	1140 2480
Han ve Yao [103]	2003 4	133	4.5	465 1862	325	42.2	715 882
Ghannam vd. [104]	2004 12	110 165	1.9 4.7	2200 2478	350 355	10 33.4	211 1058
Giakoumelis ve Lam [22]	2004 13	114.09 115.04	3.75 5.02	299.3 300.5	343 365	31.4 104.9	929 1787
Han ve Yao [105]	2004 21	100 200	3	300 2000	303.5	32 46.8	708 2383
Sakino vd. [106]	2004 36	108 450	2.96 6.47	324 1350	279 853	25.4 85.1	941 13776
Han vd. [107]	2005 26	60 250	1.87 2	180 750	282 404	85.2 90	312 4800
Zeghiche ve Chaoui [108]	2005 15	159.6 160.3	4.96 5.20	2000 4000	270 283	40 106	1091 2000
Baig vd. [109]	2006 2	111.25 160	2.5	750	250	58.60 62.26	526 1153
Wu vd. [103]	2006 10	165 219	2.72 4.78	500 650	350	34.08 61.76	1560 3400
Gupta vd. [23]	2007 72	47.28 112.56	1.87 2.89	340	360	19.73 40	145 822

Tablo 2.1 Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri

(devamı)

Yu vd. [110]	2007 17	165 219	2.43 4.78	510 650	350	42.6 77.2	1560 3600
Zhang [96]	2007 2	156 250	3	470 750	230	47.8	1245 2831
Zhang ve Liu [111]	2007 18	133.05 159.10	3.23 6.17	399 477	331.7 392	70.8 75.3	1851 3198
Yu vd. [112]	2008 10	100	1.9	300 3000	404	121.6	288 1170
Beck vd. [113]	2009 36	114.3	3.35 6	343 1143	287.33 342.95	22.50 105.45	599.3 1683.4
Park vd. [114]	2009 3	139.8	3.2 6.6	620	295 357	37.5	1252.4 1757.1
Chitawadagi vd. [26]	2010 81	44.45 63.50	1.25 2	350 700	250	42.4 60.7	45.2 280.2
Olivieira vd. [27]	2010 32	114.3	3.35 6	342.9 1143	287.33 342.95	32.68 105.45	563.6 1943.4
Perea vd. [115]	2010 6	323.85 508	6.35	5486 7924	328.19 337.15	38.61 91.01	1610.16 5013.14
Hu vd. [116]	2011 3	202 204	1 2	400	226 242	44.88 52.75	1104 1491
Kwon vd. [28]	2011 9	150 450	3.2	620 1888	265	25.4	1123 4540
Lee vd. [117]	2011 2	300 360	6 12	1580 1760	479 498	37.61	6888 9823
Liao vd. [118]	2011 2	180	3.8	740	360	51.28	2070 2110
Che vd. [119]	2012 5	127 136	1.5 6	381 408	330	54	866 1493
Dundu [29]	2012 24	114.85 193.70	3 3.5	1000 2500	345.2 488.2	25.6 32.1	566.1 1999.6
Tan vd. [30]	2012 20	108 133	1 7	378 465	232 429	39.4 84.7	1239 3404
Xue vd. [120]	2012 3	219	3 5	700	313	62.5	2647 3218
Yang vd. [121]	2012 2	150	3	675 900	324.4	52.6	1462 1489
Abed vd.[31]	2013 6	114 167	3.1 5.6	250 350	300	44 60	1042 1873
Chang vd. [122]	2013 3	111.64 113.64	1.90 3.64	400	259.6 261.3	47.8 56.7	666 1011
Guler vd. [32]	2013 7	75.84 76.21	2.48 3.31	300	278 305	145	752 841
Ho ve Lai [123]	2013 5	114 168	5 8	330	365	29.1 114.3	1876 3101
Portoles vd. [124]	2013 3	159	6	2135	394 487	37.7 120.1	1414 2792
Yang vd. [33]	2013 3	100	2 3.9	300	176.5 235.1	83.9	683 935.2
Lu vd. [125]	2014 1	128	4	400	248	44.9	1130
Ren vd. [126]	2014 2	164.97	2.92	595	389.3	61.4	1904 1984

Tablo 2.1 Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri

(devamı)

Wang vd. [127]	2014 1	160	3.46	480	363	78	2057
Wei vd. [128]	2014 4	133	3 7.5	400	364.9	34.7	1153 2249
Lu vd. [35]	2015 36	129 133	3 5	387 399	306	53.7 76.4	1068 1774
Niu ve Cao [129]	2015 1	508	8.76	1500	360.4	70.91	18529.6
Ekmekyapar ve AL-Eliwi [37]	2016 18	114.3	2.74 5.90	300 900	235 355	56.2 107.2	877.28 1989.86
Li vd. [130]	2016 4	102	2.94	702	320	61.7 74.2	824 983
Ye vd. [131]	2016 2	165	2.37	615	287.5	31.2	996 1008
Zhu vd. [38]	2016 3	557.65 559.40	16.53	994.85 997.50	546	31.7	28830 29590
Romero vd. [132]	2017 2	193.7	8	3315	444	40 142	1871 2703
Wang vd. [40]	2017 36	153 477	1.54 11.36	306 954	290 345	73.2	1823 20462
Wang vd. [133]	2017 12	215.9 632.1	2.6 11.2	657 1890	259.8 590.4	59.78	4030 29463
Xiong vd. [134]	2017 18	114.3 273	3.6 16	250 4195	300 428	51.6 193.3	2314 9187
Zhou vd. [41]	2017 9	127 203	4.2 9.6	480 800	349 427	84.2	2205 6010
Chen vd. [42]	2018 9	107.9 114.9	2.05 8.03	342	251.8 304.3	59 130.8	904 1748
Ding vd. [135]	2018 4	298 300	3.70 3.87	897 899	311	39.3 57.4	3534 5106
Ibanez vd. [136]	2018 10	100 168.3	2.5 3	300	317.80 445.52	33.39 94.68	703.3 2375.7
Li vd. [137]	2018 3	165	1.2 1.6	1200	375	34.9	800 885
Lin vd. [138]	2018 18	140 216.3	4.5 8.2	420 648.9	371.9 462.9	28 52	1275.3 3800.3
Liu vd. [139]	2018 4	200 260	2	600 780	264.3	57.1 66.8	1861 4060
Na vd. [140]	2018 1	168	6	2016	243	47.5	1620
Ren vd. [43]	2018 10	100 200	1.98 3.82	300 600	388 432	65.8	1087 3191
Xu vd. [141]	2018 17	159	3.92	477 1908	345.54 367.35	52.88 72.51	1778 2662
Zhou vd. [44]	2018 15	140.84 262	2.11 3.04	525 975	691 734	42.4 45.4	1550 4302
Zhu ve Chan [142]	2018 7	200	6	695	451	38 122.1	3503 5099
Alrebeh ve Ekmekyapar [143]	2019 1	114.3	3.05	320	380	48.69	960.87

Tablo 2.1 Veri setindeki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri

(devamı)

Tam vd. [144]	2019 6	220	4	1000	366	18.92 28.14	1666 2913
He ve Zhao [145]	2019 3	72.8 89.3	2.84 3.12	215 266	673 729	49.9 63.6	415 750
Liao vd. [45]	2019 24	159	2.88 4.50	480	383.9 401	42.2 58.7	1263 1745
Yan vd. [46]	2019 11	131.1 133.9	3.2 5.8	400	330 380	35 54	1273 1845
Ahmad vd. [146]	2020 15	87.1	1.9	250 350	255	26 36.22	325 435
Cai vd. [50]	2020 40	88.98 168.57	4.92 12.08	222 421	388 460	39.9 78.7	1000.7 5000
Gao vd. [147]	2020 6	90	1.9	270	359	37.2 56.1	522.2 659.1
Guan vd. [51]	2020 63	114	3 4	350	360 383	51 109	985 1857
Su vd. [148]	2020 13	88.8 133.4	2.98 3.98	266.5 399	980 1233	44.38 114.9	1400 4203
Tang vd. [149]	2020 6	113.6 114.8	3.02 6.84	402	279 355	31	807.9 1316
Tran vd. [48]	2020 14	114.3 219.1	3.6 10	250 600	300 428	148.8 193.3	2314 9187
Wei vd. [52]	2020 20	140	4.42 16.72	420	359 1153	52.5 125	3020 6339
Yan vd. [150]	2020 14	131.8 133.9	3.2 5.8	350	320 398	34 59.2	1064 1927
Zhang vd. [53]	2020 4	108.1 108.6	4.24 6.01	324	194.4 420.9	145.9	1782 2108
Ibanez vd. [56]	2021 10	101.6 160	2 6	300	336.27 446.91	33.39 94.68	582.7 2933.2
Xiong vd. [151]	2021 4	133	4	400	315.1	48.2 112.2	1413 2237
Yan vd. [152]	2021 3	140	2	500	413	28.16 43.84	1130 1420
Zeng vd. [153]	2021 2	219	6	600	353.49	42.47	3216 3258
Ma vd. [154]	2022 7	114	2	400	236.9	14.15 42.44	448.28 1001.82
Bhartiya vd. [57]	2023 26	60 140	4.5 5.4	420 600	360	32.8 43.1	286.4 1756.2

Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonlarda kolon boyunun enkesit çap uzunluğuna oranını ifade eden narinlik oranı (L/D), eksenel yük taşıma kapasitesini etkileyen önemli bir parametredir. Narinlik oranının artması kolonun burkulma etkisiyle eksenel yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olabilir. Uzunluk/çap (L/D) oranının kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Eksenel basınç yükü etkisindeki narin olmayan kolonlarda ($L/D < 4$) taşıma gücü,

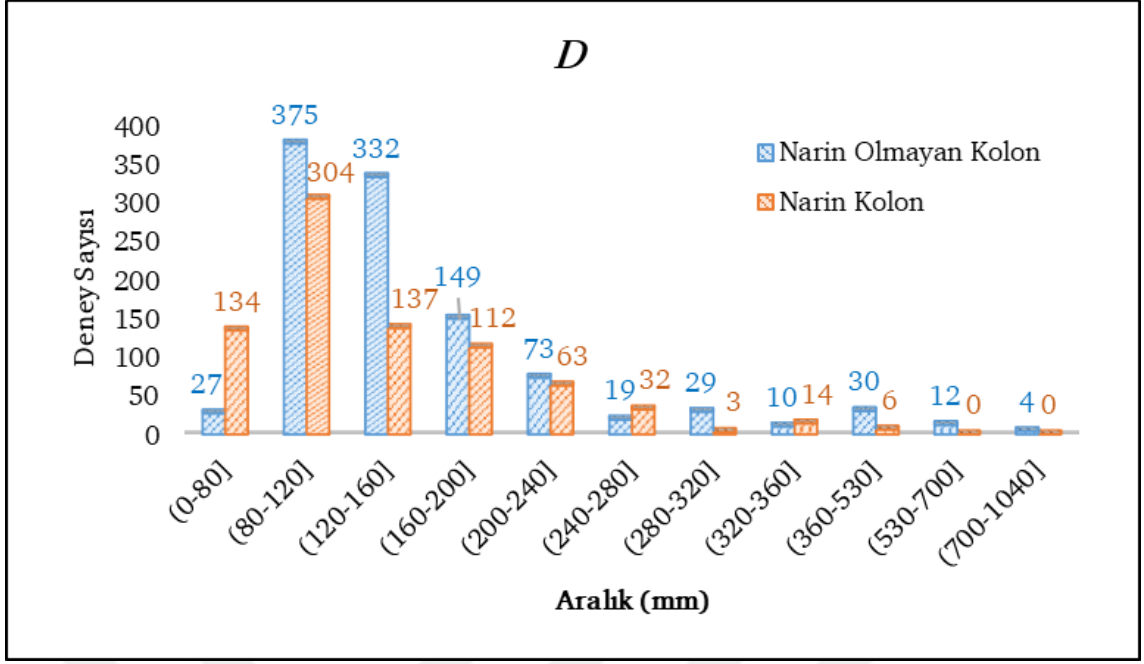
çeliğin akması veya betonun ezilmesi ile gerçekleşir. Narin kolonlarda ($L/D \geq 4$) ise kolonun burkulma stabilitesine bağlı olarak limit duruma ulaşılmadan başka bir anlatımla çeliğin akması veya betonun ezilmesi gerçekleşmeden kırılma meydana gelmektedir [1].

Narin olmayan ve narin kolonlarda (D) çelik tüpün çapı, (t) çelik tüpün kalınlığı, (L) deney numunesinin boyu, (f_y) çelik tüpün akma dayanımı, (f'_c) silindirik beton basınç dayanımı ve (N) kolonun eksenel kuvvet taşıma gücü değişkenlerinin veri aralıkları Tablo 2.2’de görülmektedir.

Tablo 2.2 Narin olmayan ve narin kolonlara ilişkin değişkenlerin veri aralıkları

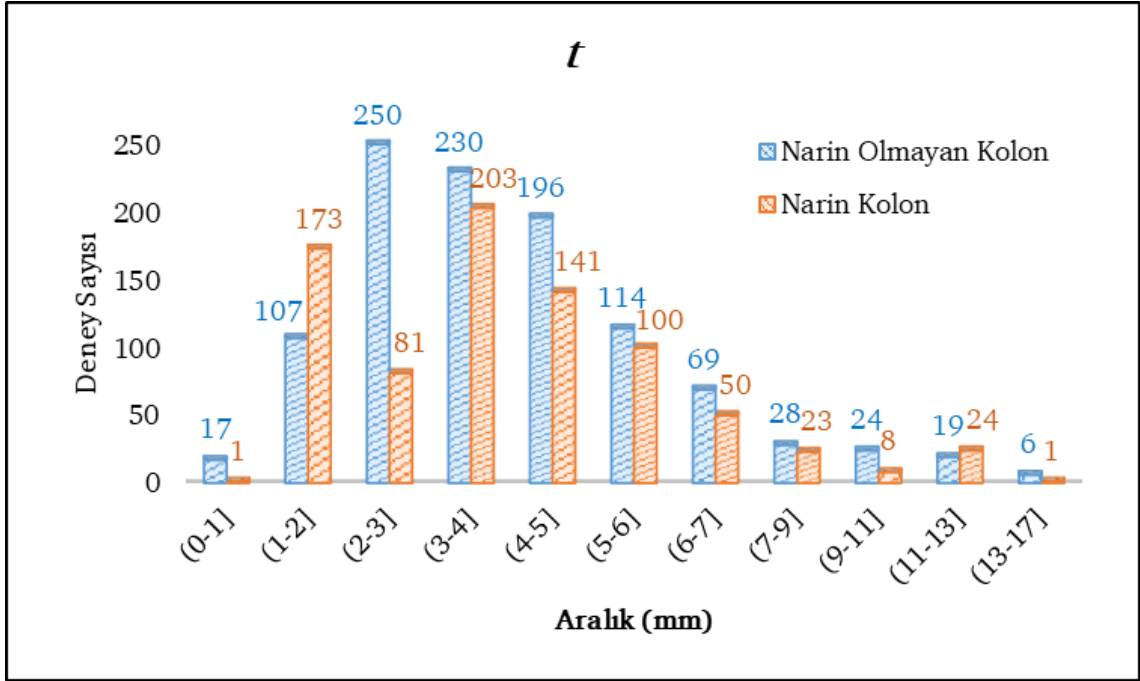
Değişken	Narin Olmayan Kolonlar ($L/D < 4$)			Narin Kolonlar ($L/D \geq 4$)		
	Max	Min	Ortalama	Max	Min	Ortalama
D (mm)	1020	48	162.23	508	38.10	135.32
t (mm)	16.72	0.52	4.26	16	0.70	4.24
L (mm)	3060	152.35	468.02	7924	340	1496.51
f_y (MPa)	1233	176.50	372.19	681.92	178.28	338.27
f'_c (MPa)	193.30	9.17	60.56	186	10	43.28
N (kN)	46000	237.32	2747.40	12838	45.20	1368.08

Narin olmayan ve narin kolonlara ilişkin bağıntıların türetilmesinde göz önüne alınan değişkenlerin frekans dağılımları da Şekil 5-11’de gösterilmiştir. Mavi renkli sütunlar narin olmayan ($L/D < 4$) kolonları, turuncu renkli sütunlar ise narin ($L/D \geq 4$) kolonları ifade etmektedir.



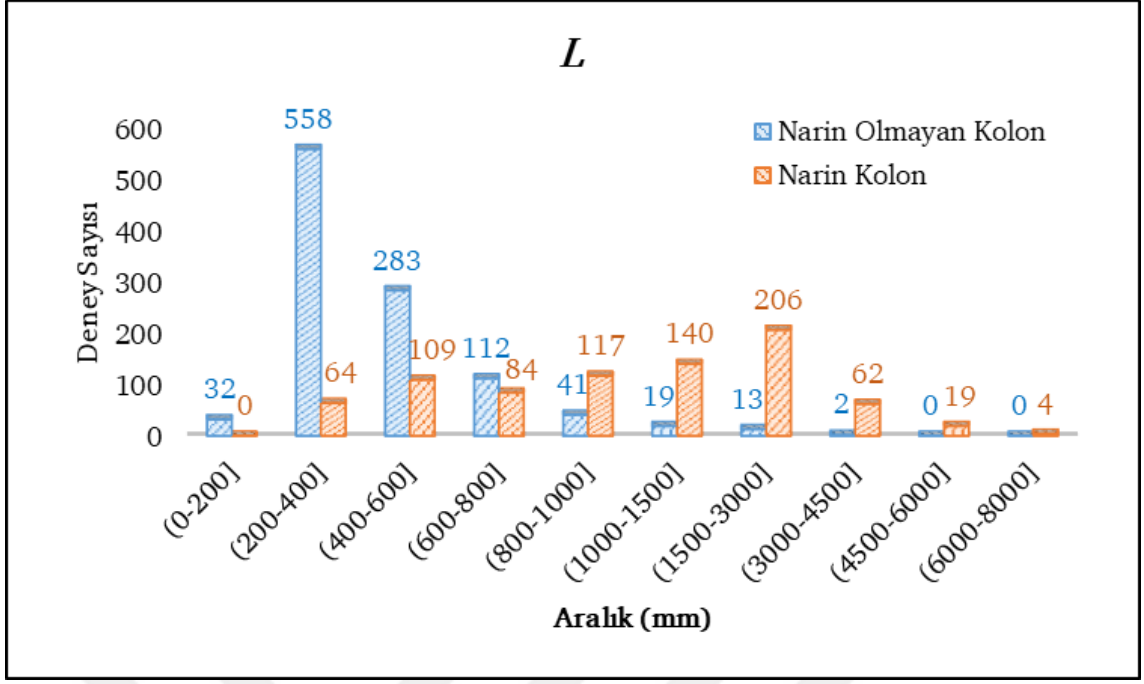
Şekil 2.5 Çelik tüpün çapının dağılımı

Şekil 2.5’de narin olmayan ($L/D < 4$) ve narin kolonlara ($L/D \geq 4$) ait çelik tüpün çapının (D) dağılımı görülmektedir. Narin olmayan kolon deneylerinde; çelik tüpün çapı (D) 48-1020 mm aralığında değişmekte ve deney numunelerinin ortalama çap değeri 162.33 mm dir. Çelik tüpün çapı (D) en yoğun olarak 375 deney sayısı ile 80-120 mm aralığında yer almakta ve deneylerin %35.4’lük kısmını oluşturmaktadır. Narin kolon deneylerinde ise; çelik tüpün çapı (D) 38.10-508 mm aralığında değişmekte ve deney numunelerinin ortalama çap değeri 135.32 mm dir. Çelik tüpün çapı (D) en yoğun olarak 304 deney sayısı ile 80-120 mm aralığında yer almakta ve deneylerin %37.8’ini oluşturmaktadır.



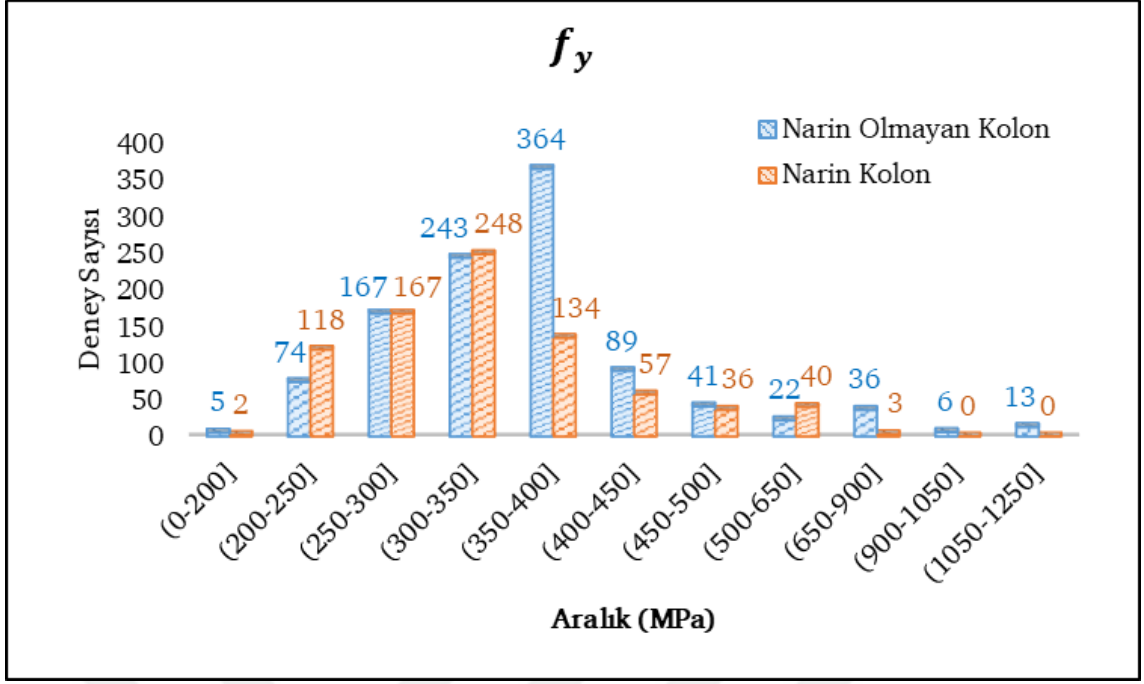
Şekil 2.6 Çelik tüpün kalınlığının dağılımı

Narin olmayan kolon deneylerinde çelik tüpün kalınlığı (t) 0.52-16.72 mm aralığında değişirken en yoğun olarak 250 deney sayısı ile 2-3 mm aralığında yer almakta ve deneylerin %23.6'sını oluşturmaktadır. Narin kolon deneylerinde çelik tüpün kalınlığı (t) 0.70-16 mm aralığında değişirken en yoğun olarak 203 deney sayısı ile 3-4 mm aralığında yer almakta ve deneylerin %25.2'sini oluşturmaktadır.



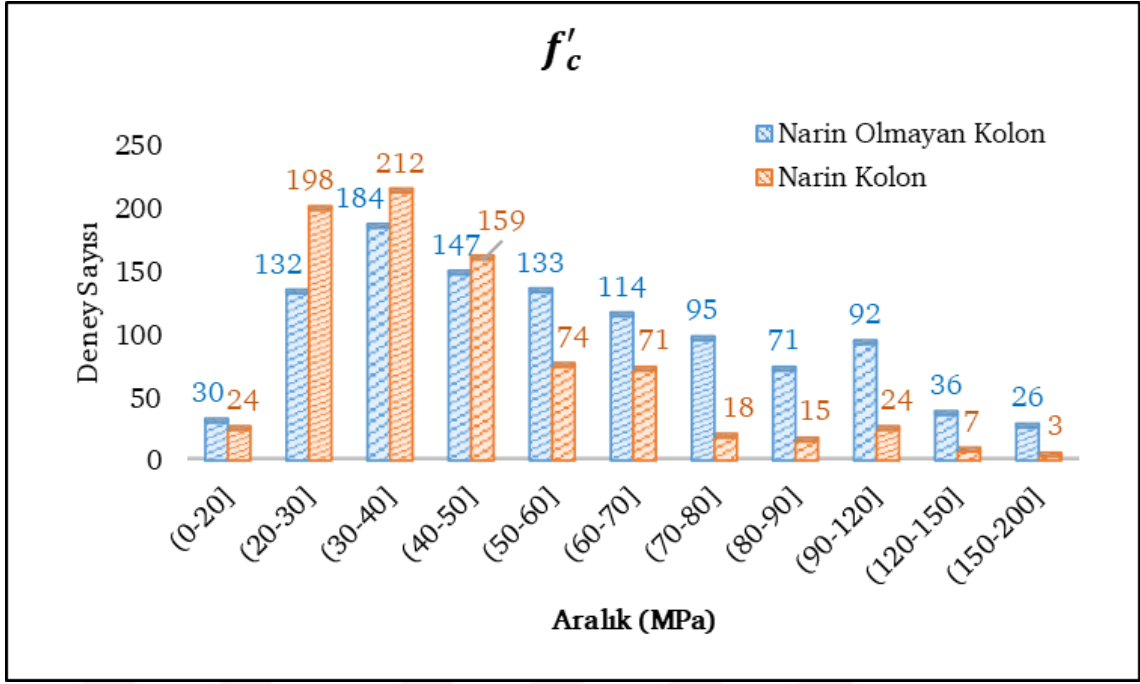
Şekil 2.7 Deney numunesinin boyunun dağılımı

Deney numunelerinin boyunun (L) narin olmayan kolon deneylerinde ortalama 468.02 mm değerinde olduğu, L değerinin 558 deney sayısı ile 200-400 mm aralığında bulunduğu ve deneylerin %52.6'sını oluşturduğu görülmektedir. Narin kolon deneylerinde ise deney numunelerinin boyunun (L) ortalama 1496.51 mm değerinde olduğu ve 206 deney sayısı ile 1500-3000 mm aralığında bulunduğu ve deneylerin %25.6'sını oluşturduğu görülmektedir.



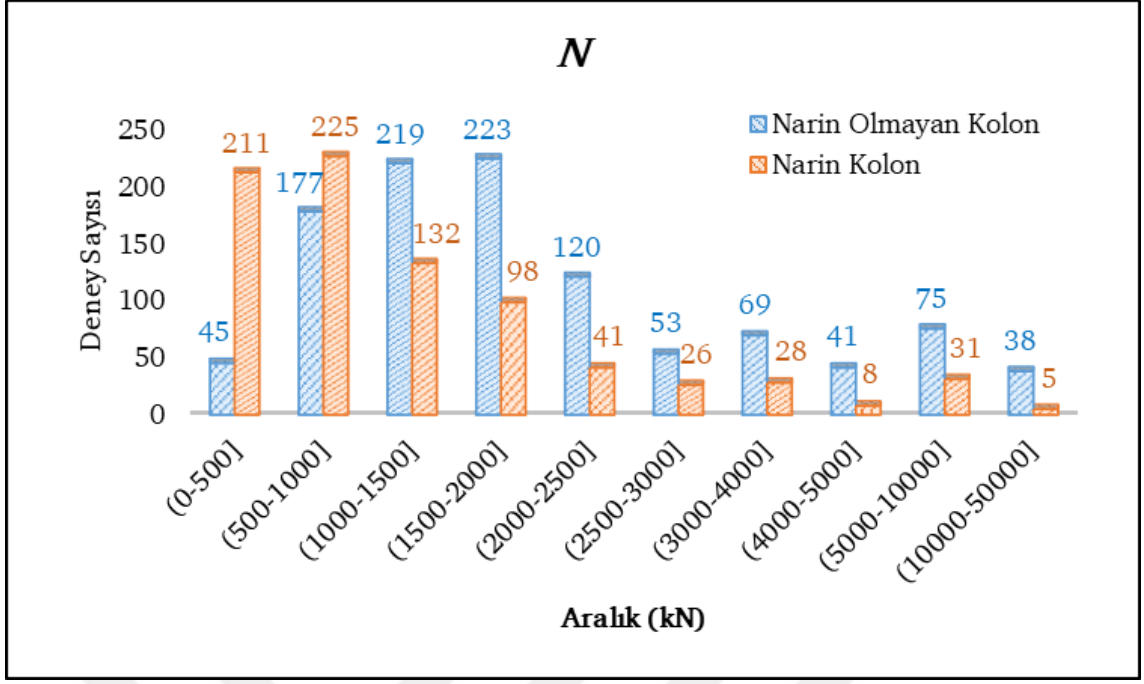
Şekil 2.8 Çelik tüpün akma dayanımının dağılımı

Şekil 2.8’de çelik tüpün akma dayanımının (f_y) narin olmayan kolon deneylerinde en yoğun olarak 364 deney sayısı ile 350-400 MPa aralığında bulunduğu ve deneylerin %34.3’ünü oluşturduğu, narin kolon deneylerinde ise en yoğun olarak 248 deney sayısı ile 300-350 MPa aralığında bulunduğu ve deneylerin %30.8’ini oluşturduğu görülmektedir.



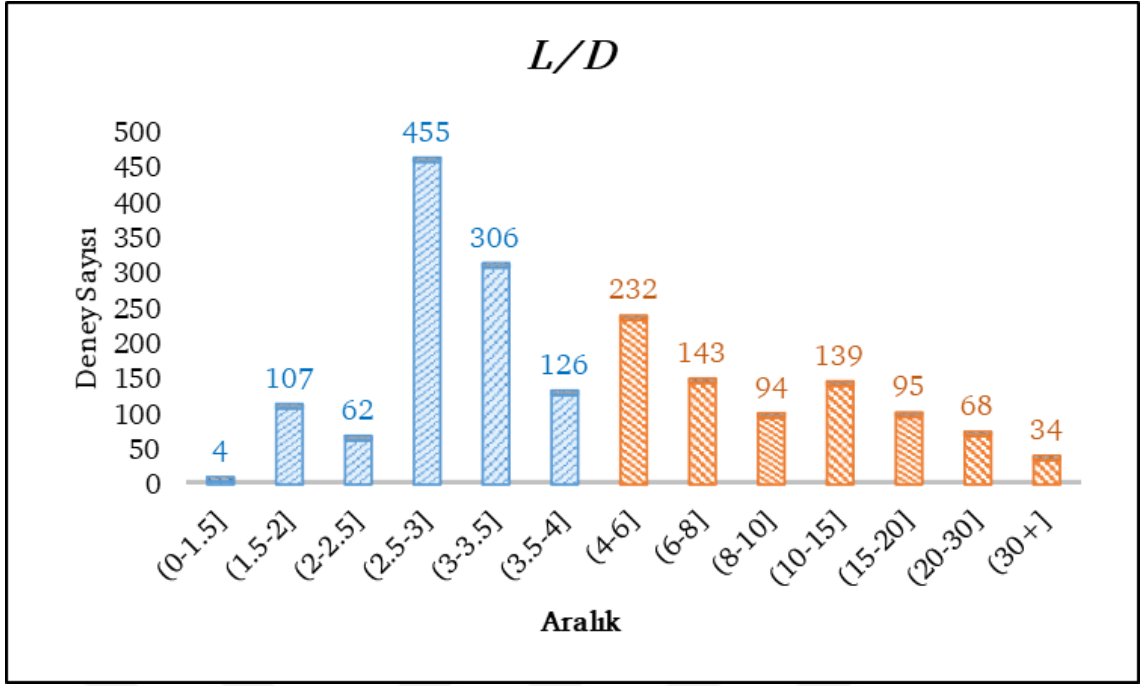
Şekil 2.9 Dolgu betonun silindirik basınç dayanımının dağılımı

Şekil 2.9’da narin olmayan kolon deneylerinde beton numunelerinin silindirik basınç dayanımlarının (f'_c), 30 adet deney ile %2.8’lik kısmının düşük dayanımlı beton sınıfında (<C20], 463 adet deney ile % 43.7’lik kısmının normal dayanımlı beton sınıfında (C20-C50], 541 adet deney ile %51.0’lik kısmının yüksek dayanımlı beton sınıfında (C50-C150] ve 26 adet deney ile %2.5’lik kısmının ultra yüksek dayanımlı beton sınıfında (>C150) olduğu görülmektedir. Narin kolon deneylerinde beton numunelerinin silindirik basınç dayanımlarının (f'_c), 24 adet deney ile %3.0’lık kısmının düşük dayanımlı beton sınıfında (<C20], 569 adet deney ile % 70.7’lik kısmının normal dayanımlı beton sınıfında (C20-C50], 209 adet deney ile %26.0’lık kısmının yüksek dayanımlı beton sınıfında (C50-C150] ve 3 adet deney ile %0.4’lük kısmının ultra yüksek dayanımlı beton sınıfında (>C150) olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10 Eksenel yük taşıma kapasitesinin dağılımı

Şekil 2.10'da narin olmayan kolon deneylerinde eksenel yük taşıma kapasitesinin (N) 237.32-46000 kN değerleri arasında yer aldığı, eksenel yük taşıma kapasitesinin (N) en yoğun olarak 223 adet deney ile 1500-2000 kN aralığında bulunduğu görülmektedir. Narin kolon deneylerinde ise eksenel yük taşıma kapasitesinin (N) 45.20-12838 kN değerleri arasında yer aldığı ve eksenel yük taşıma kapasitesinin (N) en yoğun olarak 225 adet deney ile 500-1000 kN aralığında bulunduğu görülmektedir.



Şekil 2.11 Kolonların narinlik oranlarının dağılımı

Ayrıca Şekil 2.11’de narin olmayan kolon deneylerinde L/D oranının % 42.9’luk kısmının 455 adet deney sayısı ile 2.5-3 aralığında yer aldığı görülmektedir. Narin kolon deneylerinde ise L/D oranının %28.8’lik kısmının ise 232 deney sayısı ile en fazla 4-6 mm aralığında, 34 deneyin ise L/D oranının 30’un üzerinde olduğu görülmektedir.

Literatürde dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü (CFST) kolonların eksenel kuvvet taşıma kapasitesinin tahmini için farklı yönetmeliklerde yer alan ve farklı araştırmacıların önerdikleri bağıntılar bu bölümde açıklanmıştır. Anılan bağıntıların sonuçları bu çalışmanın konusunu teşkil eden Gen ifadesi programlama (GEP) ile önerilen modellerle istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

3.1 Mevcut Yönetmelik ve Araştırmacıların Önerdikleri Bağıntılar

Bu çalışma kapsamında beton doldurulmuş çelik tüplü dairesel kesitli kolonlar için Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318) [3], Çin Yönetmeliği (GB-50936) [4], Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC) [5] yönetmelikleri ile Giakoumelis ve Lam [22], Güneyisi vd. [36], Wang vd. [39], Tran vd. [47], Zarriogol vd. [49], Naser vd. [54] araştırmacılarının önerdikleri mevcut bağıntılar irdelenerek bu bölümde açıklanmıştır. Anılan yönetmeliklerde çelik akma dayanımı (f_y) ve silindirik beton basınç dayanımının (f'_c) alt üst sınır değerleri ile D/t oranının sınır değerleri gözetilmiştir. E_s çeliğin elastisite modülünü ve f_{cu} betonun küp basınç dayanımını ifade etmektedir. A_s çelik tüpün alanını, A_c beton alanını, çelik ve beton alanının toplamı olan A_{sc} ise kesit alanını ifade etmektedir.

3.1.1 ACI 318 [3]

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) [3] yönetmeliğinde, dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi tahmini Denklem 3.1 de gösterilmiştir. Bağıntının kullanılabilmesi için betonun silindirik basınç dayanımının $f'_c \geq 17.2$ MPa ve $D/t \leq \sqrt{8 E_s / f_y}$ sınır şartlarını sağlaması gerekmektedir.

$$N^{ACI} = f_y A_s + 0.85 f'_c A_c \quad (3.1)$$

3.1.2 GB 50936 [4]

Çin Yönetmeliğinde (GB 50936) [4], dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi tahmini için önerilen bağıntı denklem 3.2'de verilmiştir. Bağıntının kullanılabilmesi için betonun küp basınç dayanımının $30 \leq f_{cu} \leq 80$ MPa aralığında, çelik tüpün akma dayanımının $235 \leq f_y \leq 420$ MPa aralığında olması ve ayrıca $D/t \leq 135 \frac{235}{f_y}$ sınır şartını sağlaması gerekmektedir.

$$N^{GB\ 50936} = A_{sc} f_{sc} \quad (3.2)$$

$$f_{sc} = (1.212 + B\theta + C\theta^2) f'_c$$

$$A_{sc} = A_s + A_c$$

$$\theta = \frac{A_s f_y}{A_c f'_c}$$

$$B = \frac{0.176 f_y}{213} + 0.974$$

$$C = -\frac{0.104 f'_c}{14.4} + 0.031$$

3.1.3 AISC [5]

Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC) [5] tarafından dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmini için önerilen bağıntılar aşağıda yer almaktadır. Bağıntının kullanılabilmesi için betonun silindirik basınç dayanımının $21 \leq f'_c \leq 69$ MPa aralığında, çelik tüpün akma dayanımının $f_y \leq 525$ MPa olması ve ayrıca $D/t \leq 0.31 E_s/f_y$ sınır şartını sağlaması gerekmektedir. $D/t \leq 0.15 E_s/f_y$ sınır şartını sağlayan kolon numuneleri kompakt kesit olarak adlandırılmıştır. Kompakt kesitli kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmini için denklem 3.3a'da verilen bağıntı kullanılmaktadır. $0.15 E_s/f_y < D/t \leq 0.19 E_s/f_y$ sınır şartını sağlayan kolon numuneleri kompakt olmayan kesit olarak adlandırılmıştır. Kompakt olmayan kesitlerin eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmini için denklem 3.3b'de verilen bağıntı kullanılmaktadır. $0.19 E_s/f_y < D/t \leq 0.31 E_s/f_y$ sınır şartını sağlayan

kolon numuneleri narin kesit olarak adlandırılmıştır. Narin kesitlerin eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmini için denklem 3.3c'de verilen bağıntı kullanılmaktadır.

$$P_{us} = P_p = A_s f_y + 0.95 A_c f'_c \quad (3.3a)$$

$$P_{us} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad (3.3b)$$

$$\lambda_p = 0.09 \frac{E_s}{f_y} \quad \lambda_r = 0.19 \frac{E_s}{f_y}$$

$$P_y = A_s f_y + 0.7 A_c f'_c$$

$$P_{us} = A_s f_{cr} + 0.7 A_c f'_c \quad (3.3c)$$

$$f_{cr} = \frac{0.72 f_y}{(D f_y / E_s t)^{0.2}}$$

3.1.4 Giakoumelis vd. [22]

Giakoumelis vd. [22] 2004 yılında klasik regresyon yöntemi ile dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel kuvvet taşıma kapasitesinin tahmini için bir bağıntı türetmişlerdir. Türetilen bağıntı denklem 3.4 ile verilmiştir.

$$N^{GIAKOUHELIS} = 1.3 f'_c A_c + f_y A_s \quad (3.4)$$

3.1.5 Güneyisi vd. [36]

Güneyisi vd. [36] 2016 yılında Gen İfadesi Programlama (GEP) ile dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların taşıma gücü tahmini alanında ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen bağıntı denklem 3.5'de verilmiştir. Bağıntı türetme işlemi sırasında 314 adet deney verisi kullanılmıştır. Kullanılan deney verilerinin aralıkları; çelik tüpün çapı (D) için 60-1020 mm, çelik tüpün kalınlığı (t) için 0.70-13.25 mm, deney numunesinin boyu (L) için 152.3-3060 mm aralığında iken çelik tüpün akma

dayanımı (f_y) 185.7-853 MPa, beton basınç dayanımı (f'_c) 15-130.18 MPa aralığında değişmektedir.

$$N^{GÜNEYİSİ} = N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 \quad (3.5)$$

$$N_1 = \sin \left(\sin \left(\frac{24.415466}{f'_c} (t - D) \right) \right) + (f'_c - 24.415466 + 10^{24.415466}) - f_y \quad (3.5a)$$

$$N_2 = \cos \left(\frac{-28.226013D}{L + f_y} \right) + 28.53866 + \cos \left(\frac{f_y + f'_c}{f'_c + 28.538666} + \log(t) \right) \quad (3.5b)$$

$$N_3 = \frac{(f'_c + D) \log(DL) + f'_c - 2f_y - L - 28.713898}{-10.14331} + D \quad (3.5c)$$

$$N_4 = 10^{-28.879181} \quad (3.5d)$$

$$N_5 = \frac{[(9.824158 + f_y)(27.633362t)]^{\log 9.824158}}{27.633362f'_c} + 2t + D \quad (3.5e)$$

$$N_6 = 2t + f'_c - t \sqrt[4]{D + f'_c - 28.048736 - t} \quad (3.5f)$$

3.1.6 Wang vd. [39]

Wang vd. [39] 2017 yılında klasik regresyon yöntemi ile eksenel kuvvet tahmini için bir bağıntı türetmişlerdir. Elde edilen bağıntı denklem 3.6'da verilmiştir. η_a ve η_c sırasıyla çelik ve beton için kuşatma katsayılarını ifade etmektedir.

$$N^{WANG} = \eta_a f_y A_s + \eta_c f'_c A_c \quad (3.6)$$

$$\eta_a = 0.95 - 12.6 f_y^{-0.85} \ln(0.14 D/t)$$

$$\eta_c = 0.99 + [5.04 - 2.37(D/t)^{0.04} (f'_c)^{0.1}] (t f_y / D f'_c)^{0.51}$$

3.1.7 Tran vd. [47]

Tran vd. [47] 2019 yılında Yapay Sinir Ağları (ANN) ile eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmini için bir bağıntı türetmişlerdir. Beş adet denklemin çarpma işlemi ile birbirine bağlanması sonucu elde edilen bağıntı denklem 3.7'de verilmiştir. Bağıntı türetme işlemi sırasında 258 adet deney verisi kullanılmıştır. Kullanılan deney verilerinin aralıkları; çelik tüpün çapı (D) için 89.15-1020.06 mm, çelik tüpün kalınlığı (t) için 0.71-13.26 mm, deney numunesinin boyu (L) için 203.20-3060.70 mm aralığında iken çelik tüpün akma dayanımı (f_y) 181.40-853 MPa, beton basınç dayanımı (f'_c) 12-113.49 MPa aralığında değişmektedir.

$$N^{TRAN} = P_{chart} C_L C_t C_{f_y} C_{f'_c} \quad (3.7)$$

$$P_{chart} = 0.0462D^2 + 4.7889D + 88.876 \quad (3.7a)$$

$$C_L = 0.0006 \left(\frac{L}{600} \right)^2 - 0.0660 \left(\frac{L}{600} \right) + 1.0650 \quad (3.7b)$$

$$C_t = -0.0792 \left(\frac{t}{5} \right)^3 + 0.2540 \left(\frac{t}{5} \right)^2 + 0.2770 \left(\frac{t}{5} \right) + 0.5497 \quad (3.7c)$$

$$C_{f_y} = 0.0701 \left(\frac{f_y}{350} \right)^2 + 0.1114 \left(\frac{f_y}{350} \right) + 0.8164 \quad (3.7d)$$

$$C_{f'_c} = -0.0539 \left(\frac{f'_c}{50} \right)^3 + 0.1058 \left(\frac{f'_c}{50} \right)^2 + 0.5518 \left(\frac{f'_c}{50} \right) + 0.3963 \quad (3.7e)$$

3.1.8 Zarringol vd. [49]

Zarringol vd. [49] 2020 yılında Geri Yayılımlı Sinir Ağını (BPNN) kullanarak denklem 3.8'de verilen bağıntıyı türetmişlerdir. Bağıntı türetme işlemi sırasında 1305 adet deney verisi kullanılmıştır. Kullanılan deney verilerinin aralıkları; çelik tüpün çapı (D) için 45-1020 mm, çelik tüpün kalınlığı (t) için 0.52-16.54 mm, deney numunesinin boyu (L) için 153-5560 mm aralığında iken çelik tüpün akma dayanımı (f_y) 179-853 MPa, beton basınç dayanımı (f'_c) 8-185 MPa aralığında değişmektedir.

$$N^{ZARRİNGOL} = \frac{65699}{1 + EXP(Q'_1)} - \frac{19828}{1 + EXP(Q'_2)} - \frac{26089}{1 + EXP(Q'_3)} - \frac{57486}{1 + EXP(Q'_4)} - \frac{67475}{1 + EXP(Q'_5)} + 92639 \quad (3.8)$$

$$Q'_1 = \frac{0.54997}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{2.15746}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{0.34977}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{3.67685}{1 + EXP(Q_4)} - \frac{8.18927}{1 + EXP(Q_5)} + 2.97611 \quad (3.8a)$$

$$Q'_2 = -\frac{0.07436}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{1.00637}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{1.66518}{1 + EXP(Q_3)} - \frac{5.16305}{1 + EXP(Q_4)} + \frac{4.81729}{1 + EXP(Q_5)} + 6.24403 \quad (3.8b)$$

$$Q'_3 = -\frac{0.11604}{1 + EXP(Q_1)} + \frac{0.87524}{1 + EXP(Q_2)} + \frac{1.25046}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{3.99652}{1 + EXP(Q_4)} + \frac{2.02532}{1 + EXP(Q_5)} - 5.51097 \quad (3.8c)$$

$$Q'_4 = \frac{1.93808}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{3.68692}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{0.53538}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{3.35603}{1 + EXP(Q_4)} - \frac{10.17554}{1 + EXP(Q_5)} + 4.51967 \quad (3.8d)$$

$$Q'_5 = -\frac{14.61625}{1 + EXP(Q_1)} + \frac{13.35933}{1 + EXP(Q_2)} + \frac{4.22188}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{2.99810}{1 + EXP(Q_4)} + \frac{17.0948}{1 + EXP(Q_5)} - 20.58295 \quad (3.8e)$$

$$Q_1 = -0.00562D - 0.41836t - 0.00166L + 0.00805f_y - 0.04884f'_c + 7.18874 \quad (3.8f)$$

$$Q_2 = -0.00049D - 0.35739t - 0.00053L + 0.00875f_y - 0.01794f'_c - 0.12577 \quad (3.8g)$$

$$Q_3 = -0.01071D + 0.29401t + 0.00037L + 0.00192f_y - 0.08461f'_c + 5.98865 \quad (3.8h)$$

$$Q_4 = 0.00550D - 0.26221t + 0.00026L - 0.00279f_y + 0.00494f'_c - 1.15121 \quad (3.8i)$$

$$Q_5 = -0.00779D - 0.05017t + 0.00017L - 0.00142f_y - 0.00225f'_c + 4.06961 \quad (3.8i)$$

3.1.9 Naser vd. [54]

Naser vd. [54] 2021 yılında Genetik Algoritma (GA) ile denklem 3.9'da verilen bağıntıyı türetmişlerdir. Bağıntı türetme işlemi sırasında 1245 adet deney verisi kullanılmıştır. Kullanılan deney verilerinin aralıkları; çelik tüpün çapı (D) için 44.45-1020 mm, çelik tüpün kalınlığı (t) için 0.52-16.54 mm, deney numunesinin boyu (L) için 152.35-5560 mm aralığında iken çelik tüpün akma dayanımı (f_y) 178.28-853 MPa, beton basınç dayanımı (f'_c) 9.17-193.30 MPa aralığında değişmektedir.

$$N^{NASER} = abs(0.00439Dt f_y + 0.000727tD^2 + 0.000727f'_cD^2 - 1.38 \times 10^{-5}DL_e f'_c - 3.71 \times 10^{-7}DL_e f_y) \quad (3.9)$$

Makine öğrenimi (ML), mühendislik uygulamalarında yüksek performanslı gelişmiş tahminler üretmek ve kullanmak için yeni kullanılmaya başlanan umut verici yapay zeka yöntemlerinden biridir. Gen ifadesi programlama (GEP), veri setlerindeki değişkenlerin kendi aralarındaki ilişkileri öğrenen ve bu ilişkileri açıklamak için modeller oluşturan makine öğrenimi algoritmasıdır.

Gen ifadesi programlama (GEP) ile model oluşturma süreci programa tanımlanan veri seti popülasyonunun kromozomlarının rastgele üretilmesiyle başlar. Elde edilen rastgele kromozomların uygunluğu değerlendirilerek modifikasyon yoluyla çoğalmak için yeni özelliklere sahip döller bırakır. Yeni nesil kromozomlarda aynı gelişim sürecine tabi tutularak uygun bir çözüm bulunana kadar süreç tekrarlanır. Kromozomlardaki üreme sayesinde hem genler kopyalanarak bir sonraki nesle aktarılır hem de genetik çeşitlilik yaratabilen genetik operatörleri içerir [155].

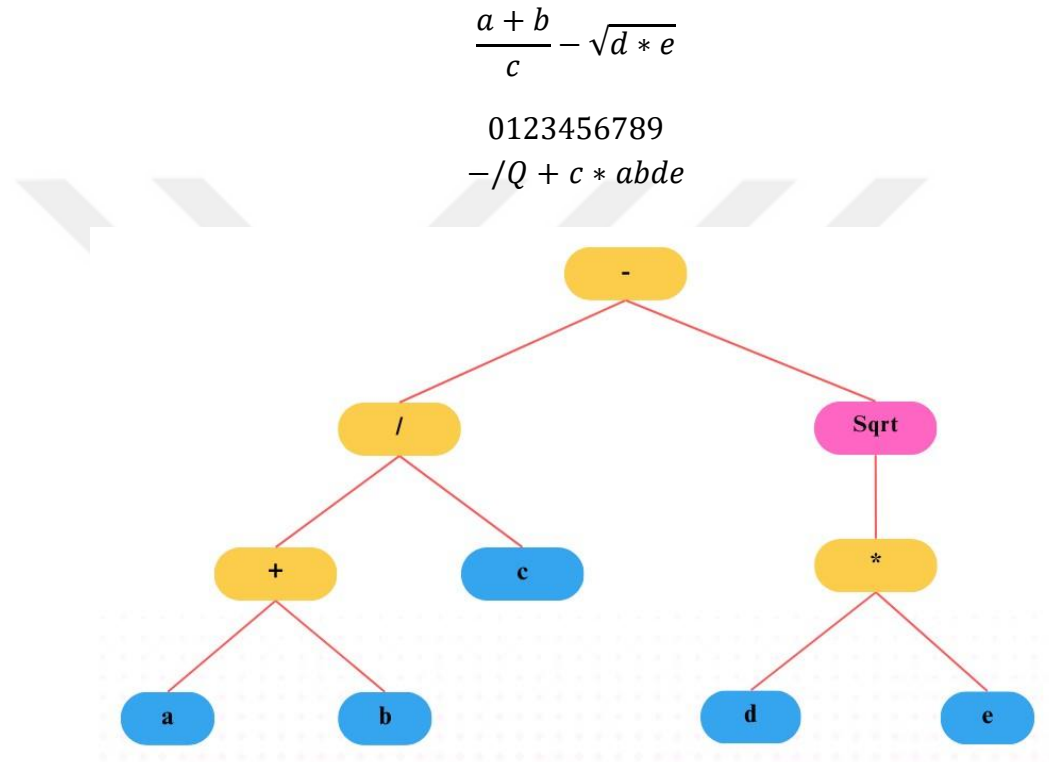
Gen ifadesi programlama (GEP) yardımıyla bağıntı türetme işlemi sırasında kullanılan genetik operatörlerin uygulanma aralığı aşırı daraltılırsa popülasyonlar çok yavaş evrimleşir ve doğru bir çözüm bulmada yetersiz kalabilir. Bunun tam tersi yapılırsa ve uygulanma aralığı aşırı genişletilirse istenilen uygunluktan uzak olan çok sayıda çözüm ortaya çıkmaktadır.

Çok sayıda değişken ve veri setine sahip karmaşık algoritmaların çözümlerini optimum uygunluk ile geliştirmek için çok genli kromozomların kullanılması daha etkilidir. Çünkü her gen küçük bir yapı taşı kodlamakta ve karmaşık yapıların çözümünün inşasına yardımcı olmaktadır. Bu küçük yapı taşları birbirinden ayrılır ve böylece bağımsız olarak evrimleşebilirler.

Gen ifadesi programlama (GEP), genetik algoritmalar (GA) ve genetik programlama (GP) gibi programa tanımlanan veri seti popülasyonlarını kullandığı ve onları uygunluklarına göre seçerek bir veya daha fazla genetik operatör kullanması nedeniyle genetik algoritmadır.

GEP'te kromozomlar ve ifade ağaçları olmak üzere iki ana oyuncu vardır; ifade ağaçları kromozomlarda kodlanan genetik bilginin görsel ifadesidir. İfade ağacı türü gösterim GEP kromozomlarının fenotipidir. Fenotipten genotipe ulaşabilmek için ifade ağacının soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru okunması gerekmektedir. Bu sistem diline Karva denilmektedir [156].

Örnek olarak aşağıdaki cebirsel ifadenin fenotipi şekildeki ifade ağacıdır. Karva sistem dilindeki genotip fenotipten aşağıdaki gibi kolayca elde edilebilir.



Şekil 4.1 Örnek gen ifade ağacı

4.1 Genetik Operatörler

Kromozomlar, replikasyon, mutasyon, transpozisyon, gen rekombinasyonu, bir ve iki noktalı rekombinasyon gibi genetik operatörler yardımı ile modifikasyona tabi tutulur. Kromozomlar genleri, genler de ifade ağaçlarını bu değişimler sayesinde kodlar ve oluşturur. İfade ağaçlarını oluşturan genlerin ve kromozomların oluşturulması, algoritmanın çıktı parametresi olan bağıntının uygun ve yüksek verimlilikle çalışmasını sağlar [155].

4.1.1 Replikasyon

Replikasyon, elde edilecek bağıntıdaki bireylerin çoğaltılması işlemi için kullanılan ve hayati önem taşıyan genetik operatördür. Replikasyon işlemi sırasında kromozomlar bir sonraki nesle uygun bir şekilde kopyalanır. Bireyler ne kadar uygun ve işlevli olursa yavru bırakma olasılığı da o kadar yüksek olur. Replikasyon tek başına genetik çeşitliliğe hiçbir katkıda bulunmaz. Bu işlem, popülasyondaki birey sayısı arttıkça tekrarlanır ve popülasyonun büyüklüğü korunur [155].

4.1.2 Mutasyon

Mutasyon diğer genetik operatörlere göre en önemli operatördür. Mutasyon ve diğer genetik operatörlerin karşılıklı etkileşimi sadece etkili bir evrime izin vermekle kalmaz aynı zamanda yapı taşlarının çoğaltılmasına, genetik havuzda dolaşmasına, tekrarlayan dizilerin oluşturulmasına izin vererek en uygun çözüm için algoritmanın çalışmasını sağlar. GEP'te ne mutasyon türünde ne de bir kromozomdaki mutasyon sayısında herhangi bir kısıtlama yoktur. Mutasyonlar kromozomun herhangi bir yerinde meydana gelebilir. Mutasyon sonucunda kromozomların yapısal organizasyonu bozulmadan kalmalıdır [156].

4.1.3 Transpozisyon

Transpozisyon Gen ifadesi programlamanın (GEP) yerdeğiştirilebilen elementlerini aktive edilerek bulunduğu kromozom üzerinden başka bir yere atlayabilen genom parçalarıdır. GEP'te gen aktarımı, kök aktarımı ve başlangıç pozisyonu hariç bir dizinin eklenmesi şeklinde üç çeşit yerdeğiştirilebilen element vardır [156].

4.1.4 Rekombinasyon

GEP'te tek noktalı, iki noktalı ve gen rekombinasyonu olmak üzere üç çeşit rekombinasyon vardır. Her rekombinasyon türünde de iki kromozom rastgele seçilerek, aralarında bazı materyallerin değış-tokuş edilmesi için eşleştirme yoluyla iki yeni yavru kromozom yaratılır. Genellikle yavru kromozomlar ebeveynlerinden olduğu kadar birbirinden de farklıdır.

Diğer rekombinasyon türlerinin oranlarına bağlı olarak 0.3-0.7 arasındaki bir noktalı rekombinasyon oranının kullanılması ve üç rekombinasyon türünün oranlarının toplamının 0.7 olması önerilmiştir [155].

4.1.4.1 Tek Noktalı Rekombinasyon

Tek noktalı rekombinasyon sırasında kromozomlar rastgele seçilen bir noktadan geçerek iki yavru kromozom oluşturur. Bu tür bir rekombinasyonla çoğu zaman yaratılan yavrular ebeveynlerinkilerden farklı özellikler sergiler. GEP'te en çok tercih edilen operatörlerden biridir ve genetik çeşitliliğin çok önemli bir kaynağıdır [155].

4.1.4.2 İki Noktalı Rekombinasyon

İki noktalı rekombinasyonda kromozomlar eşleştirilir ve iki rekombinasyon noktası rastgele seçilir. Rekombinasyon noktaları arasındaki materyal daha sonra iki kromozom arasında değışerek iki yeni yavru kromozom oluşturur. İki noktalı rekombinasyonun dönüştürme gücü tek noktalı rekombinasyondan daha fazladır

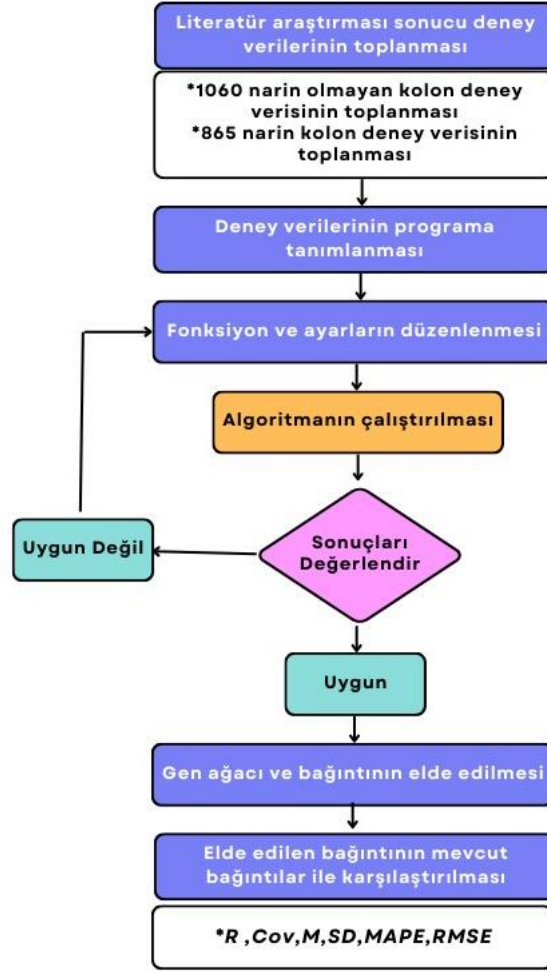
ve özellikle birkaç genden oluşan multigenik kromozomlar kullanıldığında daha karmaşık problemlerin çözümlerini geliştirmek için kullanışlıdır [155].

4.1.4.3 Gen Rekombinasyonu

Gen rekombinasyonunda, tüm genler iki ebeveyn kromozomu arasında değiş tokuş edilerek her iki ebeveyninden genler içeren iki yavru kromozom oluşturulur. Oluşan yavru kromozomlar ebeveynlerinin yerini alarak kalıtıma katkı sağlar [156].

4.2 Gen İfadesi Programlama (GEP) ile Model Tahmini

Son yıllarda gelişen teknoloji ile bağıntı türetmede makine öğrenimi programları ön plana çıkmaktadır. Makine öğrenimi programları ile tahmin edilen bağıntıların istatistiksel olarak yeterliliği, göz önüne alınan parametrelerin deneyde kullanılan parametrelerle uyumluluğu ve deney veri aralıklarının geniş olmasıyla yakından ilişkilidir. Gen ifadesi programlama (GEP) makine programları arasında en etkin kullanılanlardan birisidir. Bu çalışmada model tahmini, GeneXproTools 5.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [157]. Optimum sonucu elde etmek için deneme yanılma yöntemi ile kromozom sayısı, baş ve gen sayıları, bağlantı şekli ve seçilen matematiksel fonksiyonların bağıntı üzerindeki ağırlıkları değiştirilerek işlemler çoğu kez tekrarlanmıştır. En uygun sonuçları veren çözüme ait gen ifade ağacından bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntı dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel basınç kuvveti kapasitesi değerini sunmaktadır. Yapılan işlem adımlarının özetlendiği akış diyagramı Şekil 4.2’de görülmektedir.



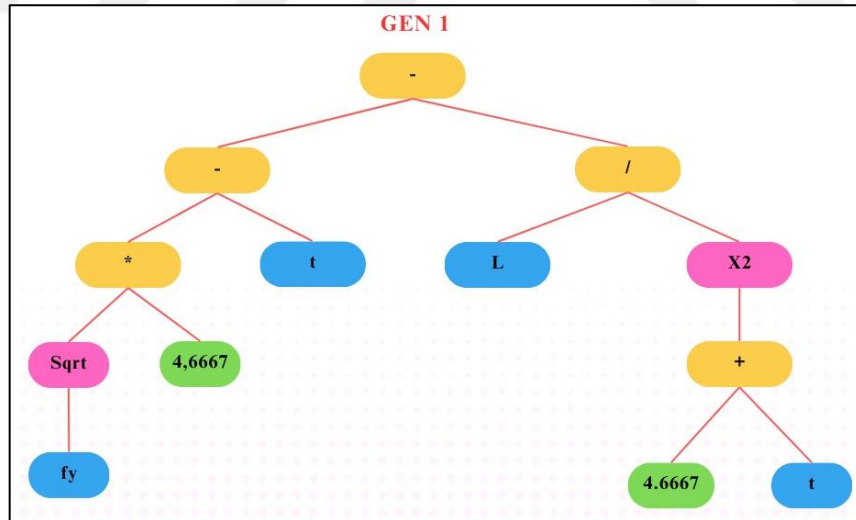
Şekil 4.2 Akış şeması [9]

4.2.1 Tüm Durumdaki Kolonlar İçin Model Tahmini

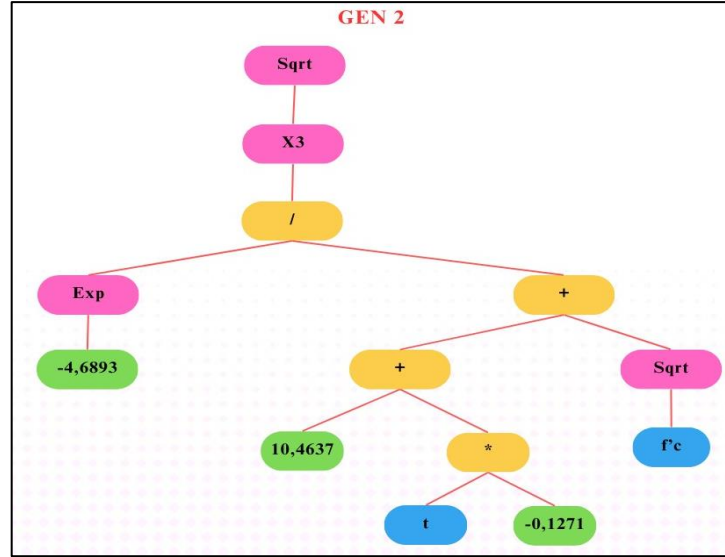
Literatürden derlenen 1865 adet deney verisinin tümünün kullanılması ile denklem 4.1’de verilen Tüm kolonlara ait bağıntı türetilmiştir. Bağıntı türetme işlemi Gen ifadesi programlama (GEP) kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen model için kullanılan program parametreleri Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Programa öğrenme amacıyla 1399 adet ve doğrulama amacıyla 466 adet deney verisi tanımlanmıştır. Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi tahmini için elde edilen bağıntıya ait gen ifade ağacı Şekil 4.3’de görülmektedir. İfade ağaçlarında görülen 5 adet genin çarpma işlemi ile birleştirilmesi sonucunda denklem 4.1 elde edilmiştir.

Tablo 4.1 Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait GEP parametreleri

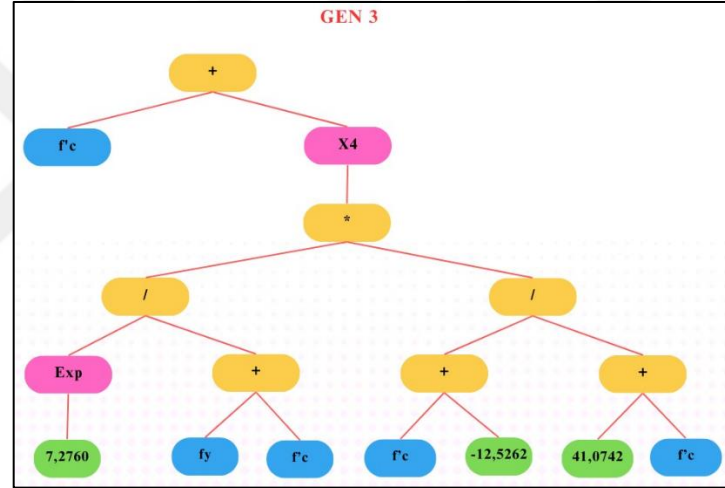
Parametre	Tüm Kolonlar İçin Türetilen Bağntı
Girdi Parametreleri	D (mm), t (mm), L (mm), f_y (MPa), f'_c (MPa)
Çıktı Parametreleri	N (kN)
Öğrenme Deneyi	1399
Doğrulama Deneyi	466
Kromozom Sayısı	85
Baş Sayısı	10
Gen Sayısı	5
Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma İşlemi
Gen Başına Sabit Değerler	10
Fonksiyonlar	$+$, $-$, $\times$, $\div$, $\sqrt{}$, x^2 , x^3 , x^4 , e
Mutasyon	0.00138
İnversiyon Oranı	0.00546
Bir Nokta Rekombinasyon Oranı	0.3
İki Nokta Rekombinasyon Oranı	0.3
Gen Rekombinasyonu	0.1



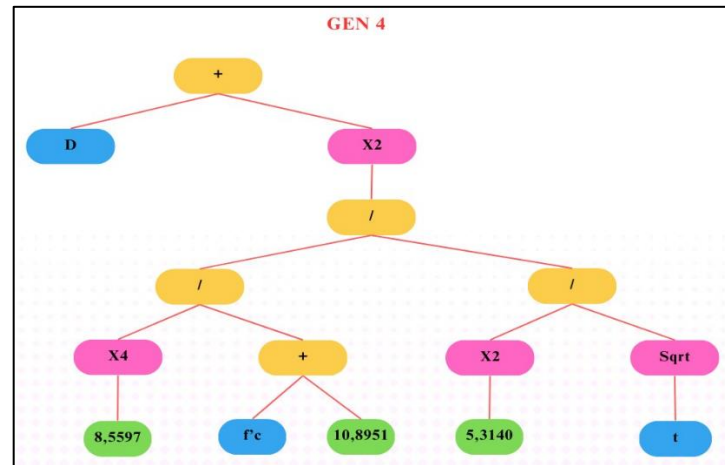
Şekil 4.3a Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 1 ifade ağacı



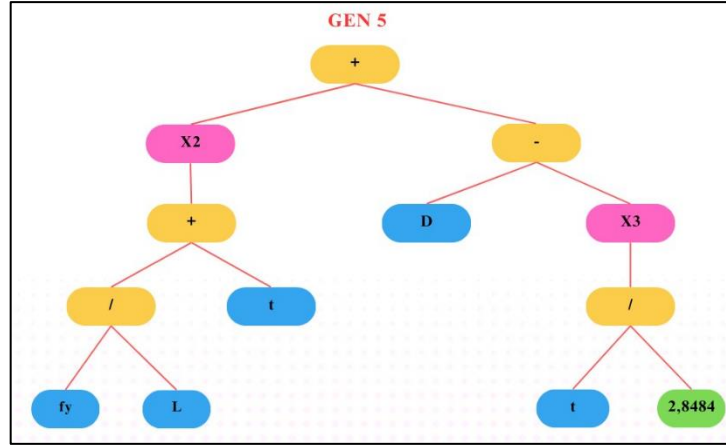
Şekil 4.3b Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 2 ifade ağacı



Şekil 4.3c Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 3 ifade ağacı

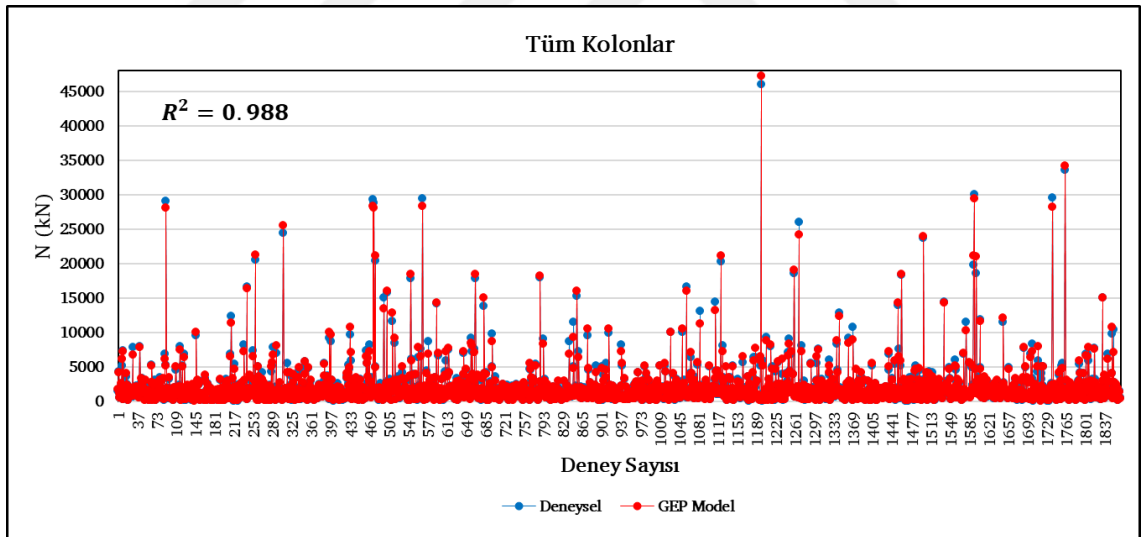


Şekil 4.3d Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 4 ifade ağacı



Şekil 4.3e Tüm kolonlar için türetilen bağıntının GEN 5 ifade ağacı

Gen ifadesi programlama ile elde edilen GEP Modelin tahmin sonuçları ve deneysel sonuçların uyumu Şekil 4.4'te görülmektedir. Mavi renkli noktalar deneysel sonuçları, kırmızı renkli noktalar GEP Modele ait tahmin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.4 GEP model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

$$N^{TÜM KOLONLAR} = N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 \quad (4.1)$$

$$N_1 = \left(4.6667 \sqrt{f_y} - t \right) - (L/(t + 4.6667)^2) \quad (4.1a)$$

$$N_2 = \left(e^{-4.6893} / (10.4637 - 0.1271t + \sqrt{f'_c}) \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4.1b)$$

$$N_3 = f'_c + \left((e^{7.2760} / (f_y + f'_c)) ((f'_c - 12.5262) / (f'_c + 41.0742)) \right)^4 \quad (4.1c)$$

$$N_4 = D + \left((8.5597^4 / (f'_c + 10.8951)) / (5.3140^2 / \sqrt{t}) \right)^2 \quad (4.1d)$$

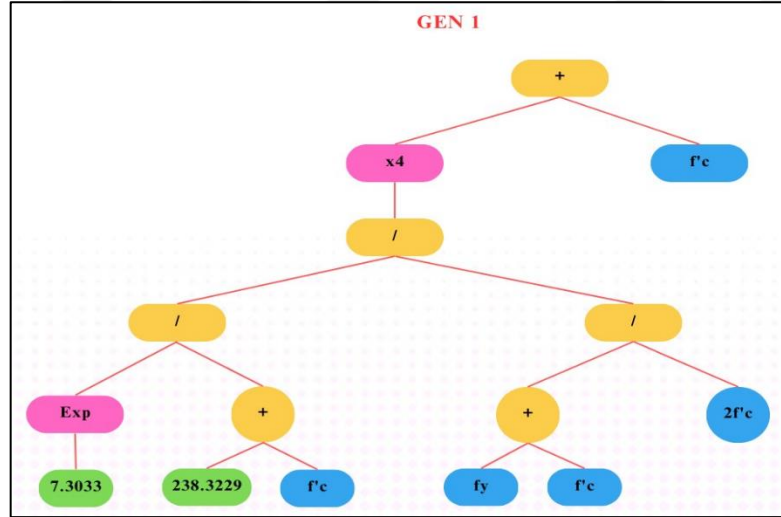
$$N_5 = \left((f_y/L) + t \right)^2 + (D - (t/2.8484)^3) \quad (4.1e)$$

4.2.2 Narin Olmayan Kolonlar İçin Model Tahmini

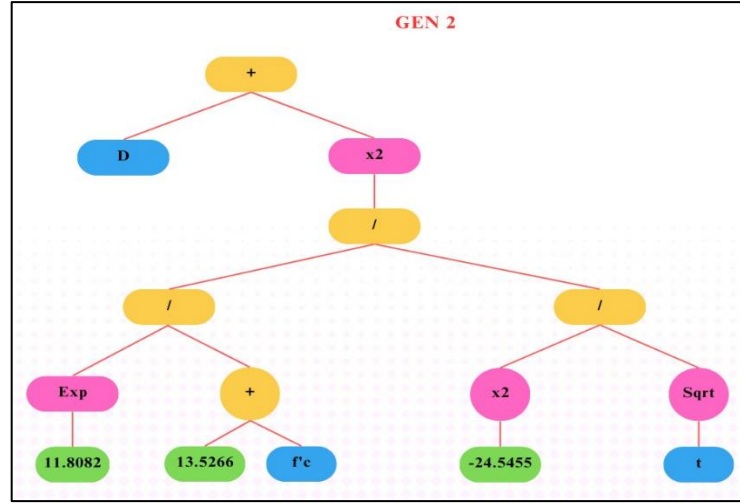
Literatürden derlenen 1060 adet narin olmayan ($L/D < 4$) kolon deney verisinin kullanılması narin olmayan kolonlar için denklem 4.2 bağıntısı türetilmiştir. Bağıntı türetme işlemi Gen ifadesi programlama (GEP) kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen model için kullanılan program parametreleri Tablo 4.2'de özetlenmiştir. Programa öğrenme amacıyla 795 adet (%75) ve doğrulama amacıyla 265 adet (%25) deney verisi tanımlanmıştır. Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü narin olmayan kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi tahmini için elde edilen bağıntıya ait gen ifade ağacı Şekil 4.5'te görülmektedir. 7 adet genin çarpma işlemi ile birleştirilmesi sonucunda denklem 4.2 elde edilmiştir.

Tablo 4.2 Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEP parametreleri

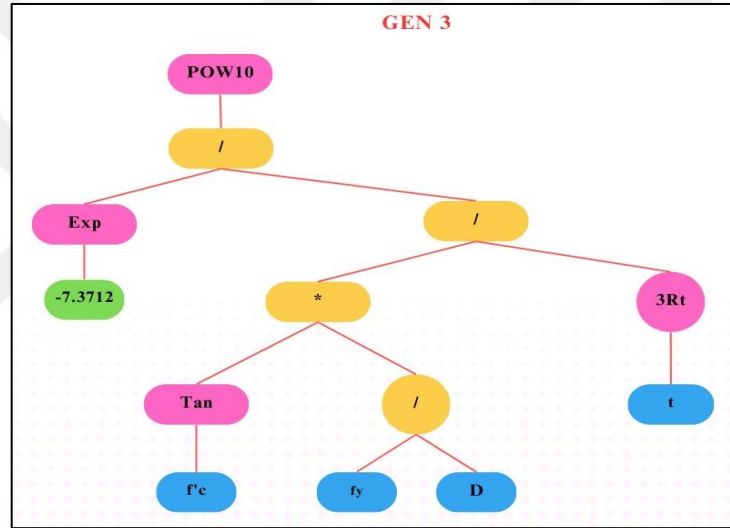
Parametre	Narin Olmayan Kolon Bağıntısı
Girdi Parametreleri	D (mm), t (mm), L (mm), f_y (MPa), f'_c (MPa)
Çıktı Parametreleri	N (kN)
Öğrenme Deneyi	795
Doğrulama Deneyi	265
Kromozom Sayısı	100
Baş Sayısı	10
Gen Sayısı	7
Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma İşlemi
Gen Başına Sabit Değerler	10
Fonksiyonlar	$+$, $-$, $\times$, $\div$, $\sqrt{\cdot}$, $\sqrt[3]{\cdot}$, x^2 , x^3 , x^4 , e , $pow10$, Tan
Mutasyon	0.00138
İnversiyon Oranı	0.00546
Bir Nokta Rekombinasyon Oranı	0.3
İki Nokta Rekombinasyon Oranı	0.3
Gen Rekombinasyonu	0.1



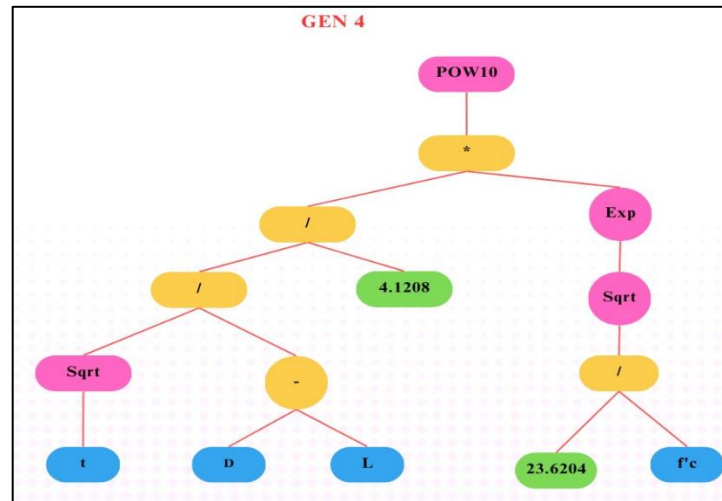
Şekil 4.5a Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 1 ifade ağacı



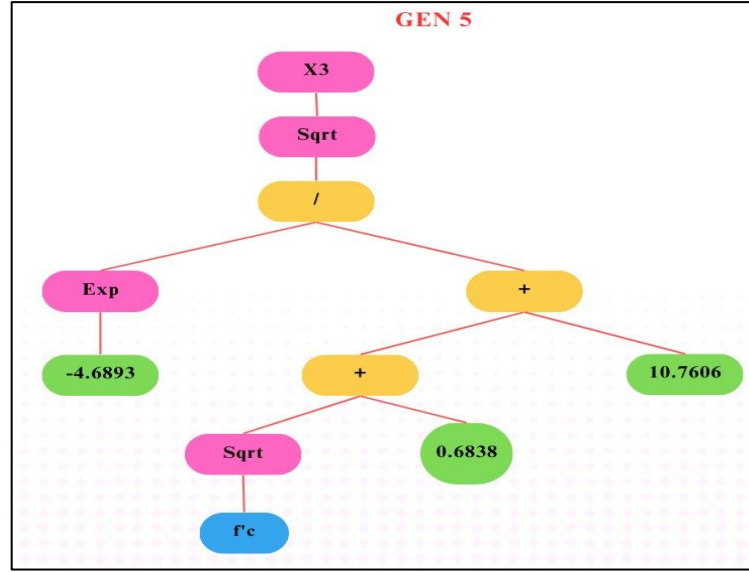
Şekil 4.5b Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 2 ifade ağacı



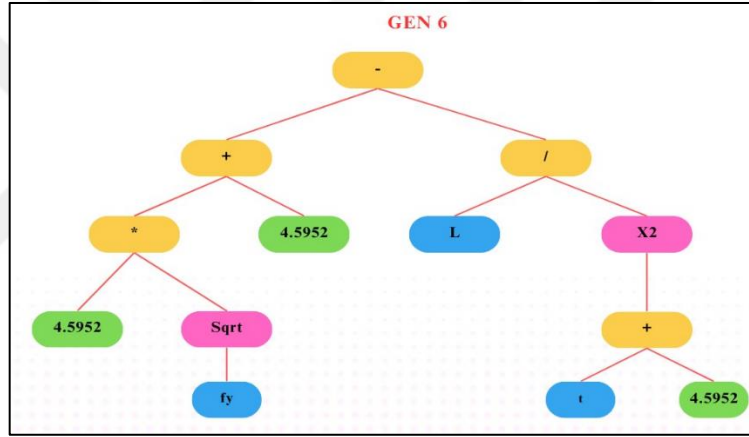
Şekil 4.5c Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 3 ifade ağacı



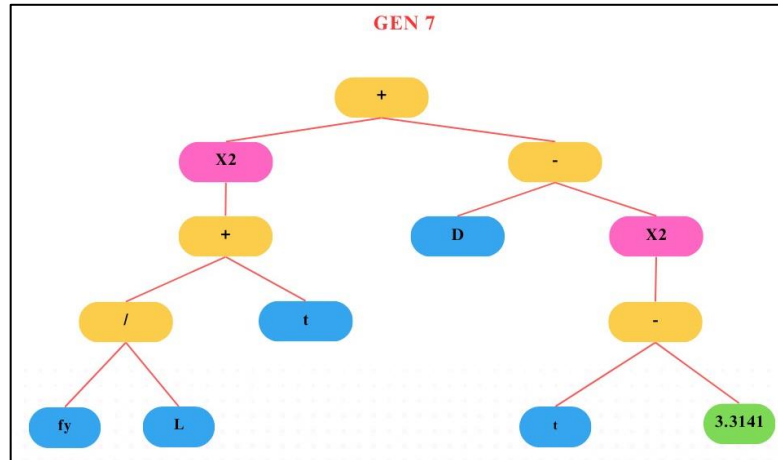
Şekil 4.5d Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 4 ifade ağacı



Şekil 4.5e Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 5 ifade ağacı

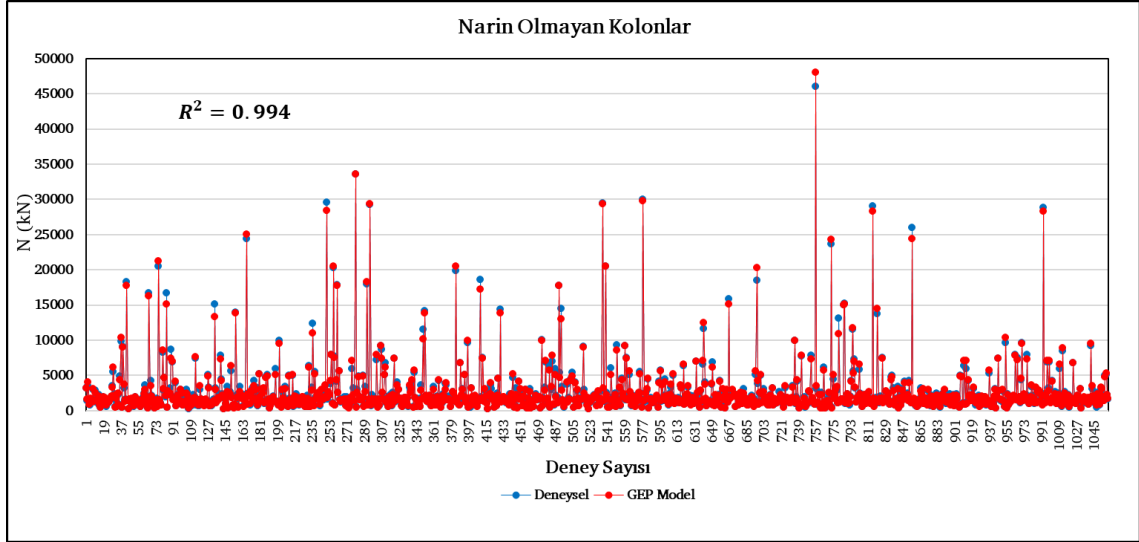


Şekil 4.5f Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 6 ifade ağacı



Şekil 4.5g Narin olmayan kolon bağıntısına ait GEN 7 ifade ağacı

Gen ifadesi programlama ile elde edilen GEP Modelin tahmin sonuçları ve deneysel sonuçların uyumu Şekil 4.6'da görülmektedir. Mavi renkli noktalar deneysel sonuçları, kırmızı renkli noktalar GEP Modele ait tahmin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.6 GEP model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

$$N^{NARİN OLMAKAN} = N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 \quad (4.2)$$

$$N_1 = \left[(e^{7.30331} / (238.32295 + f'_c)) / ((f_y + f'_c) / (2f'_c)) \right]^4 + f'_c \quad (4.2a)$$

$$N_2 = D + \left[(e^{11.80817} / (13.52673 + f'_c)) / ((-24.54546)^2 / \sqrt{t}) \right]^2 \quad (4.2b)$$

$$N_3 = 10^{(e^{-7.37123} / ((\tan(f'_c) * (f_y / D)) / \sqrt[3]{t}))} \quad (4.2c)$$

$$N_4 = 10^{\left[\left(\frac{(\sqrt{t} / (D - L))}{4.12082} \right) * e^{\sqrt{23.62041 / f'_c}} \right]} \quad (4.2d)$$

$$N_5 = \left[e^{-4.68928} / ((\sqrt{f'_c} + 0.68378) + 10.76063) \right]^{\frac{3}{2}} \quad (4.2e)$$

$$N_6 = \left(4.59519 \sqrt{f_y} + 4.59519 \right) - (L / (t + 4.59519)^2) \quad (4.2f)$$

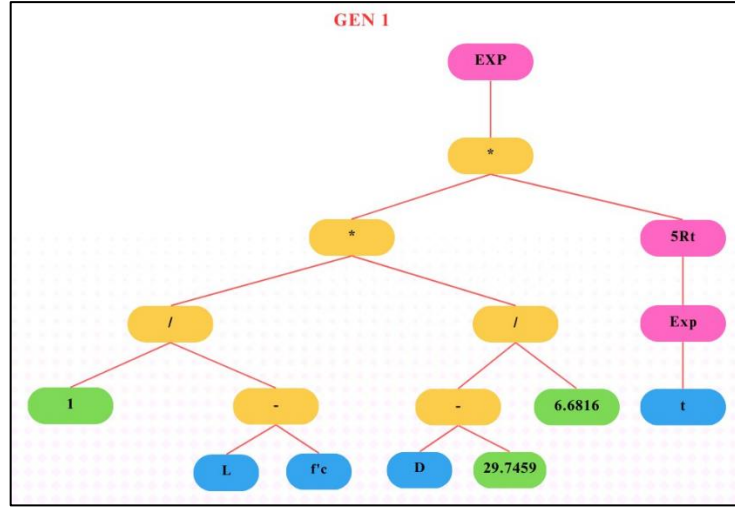
$$N_7 = \left((f_y / L) + t \right)^2 + (D - (t - 3.31410)^2) \quad (4.2g)$$

4.2.3 Narin Kolonlar İçin Model Tahmini

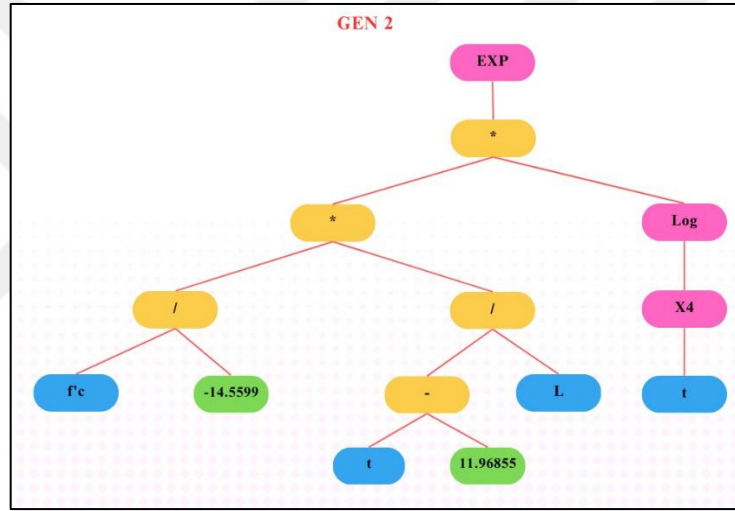
Literatürden derlenen 805 adet narin ($L/D \geq 4$) kolon deney verisinin kullanılması ile Narin kolonlar için denklem 4.3 türetilmiştir. Bağıntı türetme işlemi Gen ifadesi programlama (GEP) kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen model için kullanılan program parametreleri Tablo 4.3'te özetlenmiştir. Programa öğrenme amacıyla 604 adet (%75) ve doğrulama amacıyla 201 adet (%25) deney verisi tanımlanmıştır. Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü narin olmayan kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi tahmini için elde edilen bağıntıya ait gen ifade ağacı Şekil 4.7'de görülmektedir. İfade ağacında görülen 7 adet genin çarpma işlemi ile birleştirilmesi sonucunda denklem 4.3 elde edilmiştir.

Tablo 4.3 Narin kolon bağıntısına ait GEP parametreleri

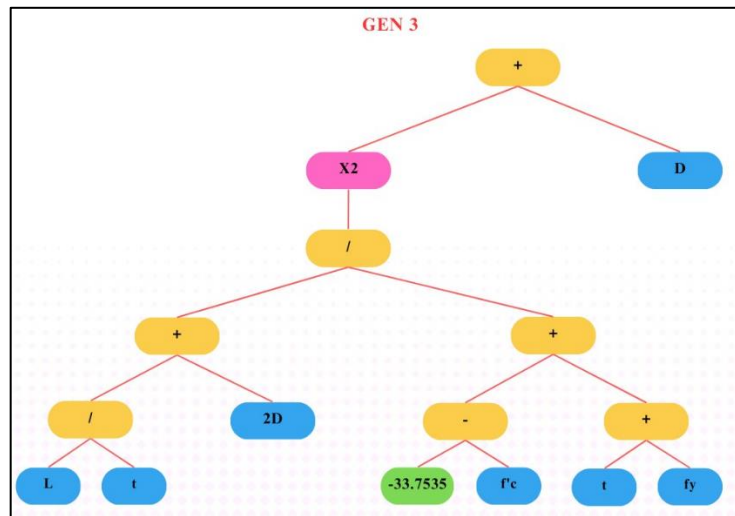
Parametre	Narin Kolon Bağıntısı
Girdi Parametreleri	D (mm), t (mm), L (mm), f_y (MPa), f'_c (MPa)
Çıktı Parametreleri	N (kN)
Öğrenme Deneyi	604
Doğrulama Deneyi	201
Kromozom Sayısı	150
Baş Sayısı	10
Gen Sayısı	7
Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma İşlemi
Gen Başına Sabit Değerler	10
Fonksiyonlar	$+, -, \times, \div, \sqrt{}, \sqrt[5]{}, x^2, x^3, x^4, e, \log, Arctan$
Mutasyon	0.00138
İnversiyon Oranı	0.00546
Bir Nokta Rekombinasyon Oranı	0.3
İki Nokta Rekombinasyon Oranı	0.3
Gen Rekombinasyonu	0.1



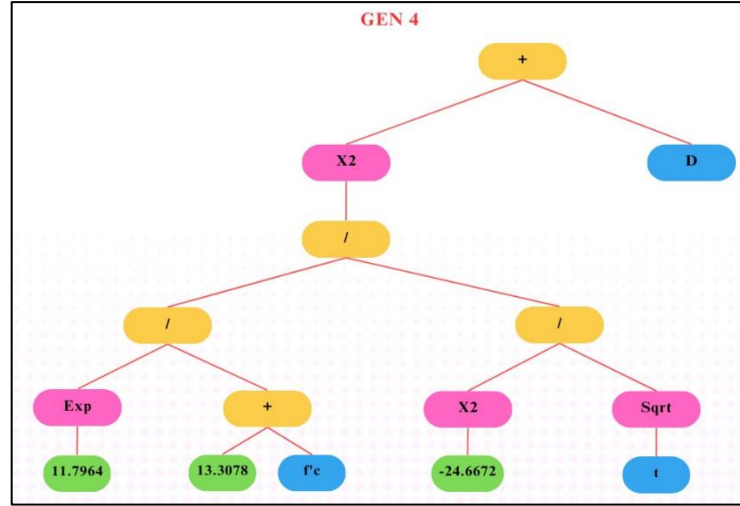
Şekil 4.7a Narin kolon bağıntısına ait GEN 1 ifade ağacı



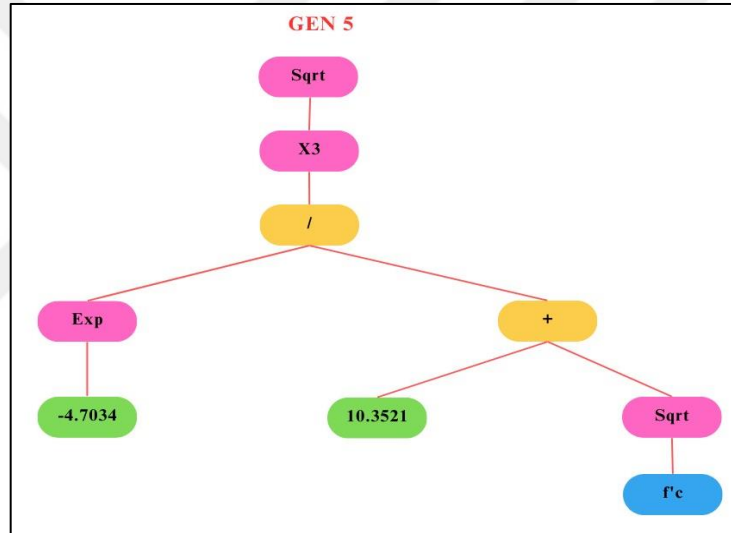
Şekil 4.7b Narin kolon bağıntısına ait GEN 2 ifade ağacı



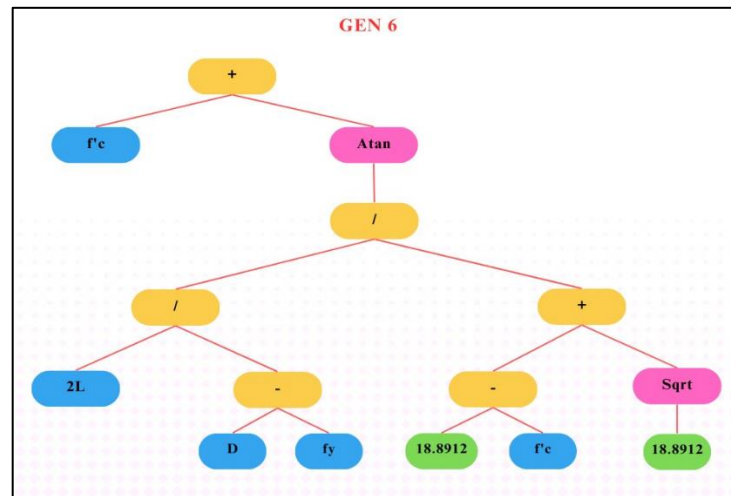
Şekil 4.7c Narin kolon bağıntısına ait GEN 3 ifade ağacı



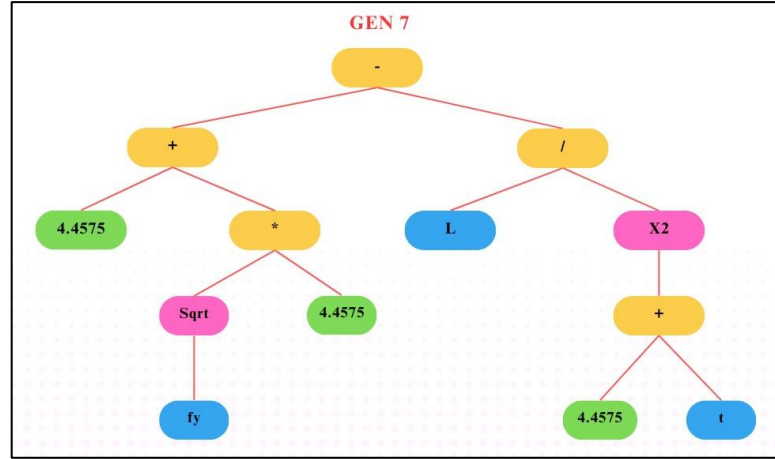
Şekil 4.7d Narin kolon bağıntısına ait GEN 4 ifade ağacı



Şekil 4.7e Narin kolon bağıntısına ait GEN 5 ifade ağacı

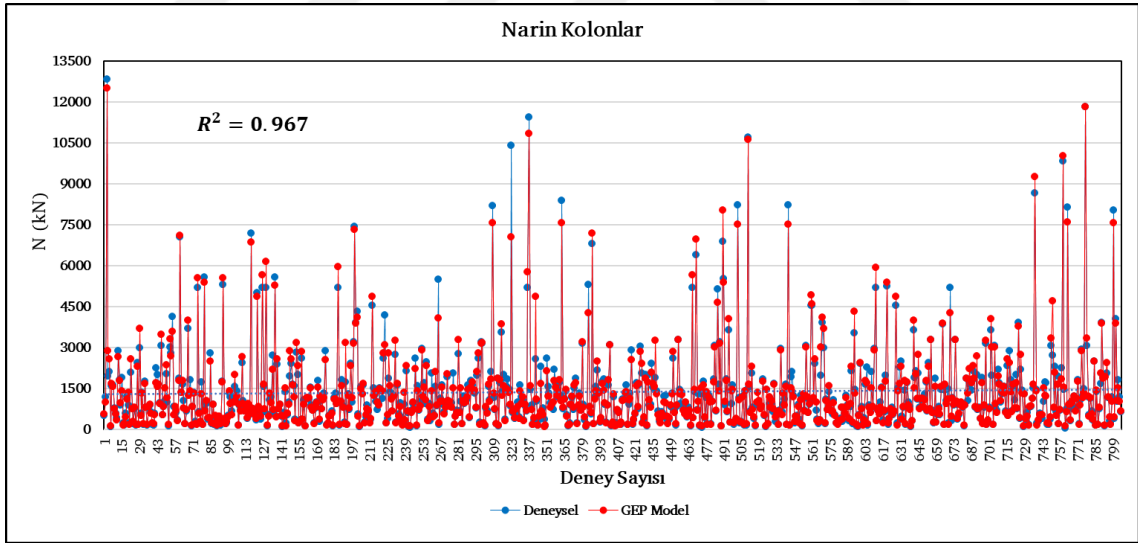


Şekil 4.7f Narin kolon bağıntısına ait GEN 6 ifade ağacı



Şekil 4.7g Narin kolon bağıntısına ait GEN 7 ifade ağacı

Gen ifadesi programlama ile elde edilen GEP Modelin tahmin sonuçları ve deneysel sonuçların uyumu Şekil 4.8’de görülmektedir. Mavi renkli noktalar deneysel sonuçları, kırmızı renkli noktalar ise GEP Modele ait tahmin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.8 GEP model ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

$$N^{NARIN} = N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 \quad (4.3)$$

$$N_1 = e^{\left(\left((1/(L-f'_c)) * \left(\frac{D-29.74889}{6.68157} \right) \right) * (e^t)^{\frac{1}{5}} \right)} \quad (4.3a)$$

$$N_2 = e^{\left((f'_c / -14.55997) * ((t - 11.96855) / L) * \log t^4 \right)} \quad (4.3b)$$

$$N_3 = \left(((L/t) + 2D) / (-33.75349 - f'_c + t + f_y) \right)^2 + D \quad (4.3c)$$

$$N_4 = \left((e^{11.79636} / (f'_c + 13.30781)) / ((-24.66718)^2 / \sqrt{t}) \right)^2 + D \quad (4.3d)$$

$$N_5 = \left(e^{-4.70336} / (10.35206 + \sqrt{f'_c}) \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4.3e)$$

$$N_6 = f'_c + \text{Arctan}((2L / (D - f_y)) / (18.89119 - f'_c + \sqrt{18.89119})) \quad (4.3f)$$

$$N_7 = \left(4.45745 + 4.45745 \sqrt{f_y} \right) - (L / (t + 4.45745)^2) \quad (4.3g)$$

ÖNERİLEN BAĞINTILARIN İSTATİSTİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 İstatistiksel Ölçütler

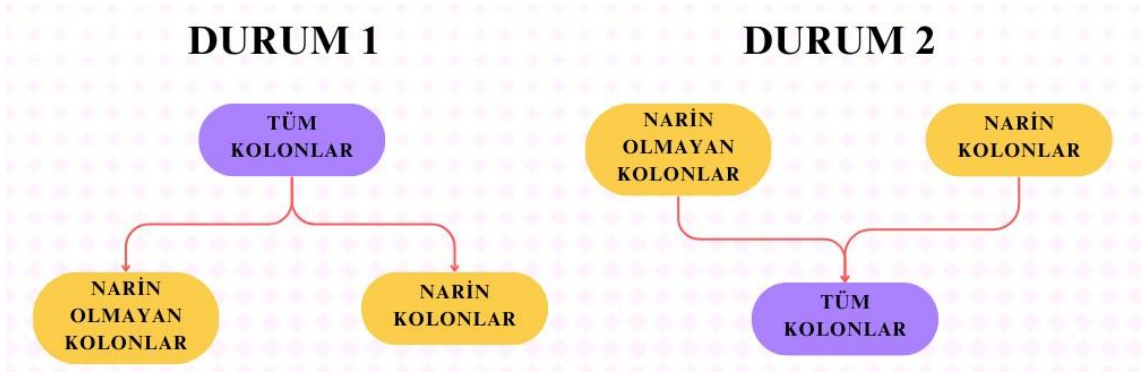
Mevcut bağıntılar ile GEP Modeline ait istatistiksel sonuçların karşılaştırılması, verilerin analizinde ve model performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan belirleme katsayısı (R^2), ortalama değer (M), varyasyon katsayısı (Cov), standart sapma (SD), ortalama mutlak yüzde hata ($MAPE$) ve kök ortalama karesel hata ($RMSE$) gibi istatistiksel ölçütlere dayanılarak yapılmıştır. Söz konusu ölçütlerden belirleme katsayısı ve ortalama değer 1'e yaklaşması, tahmin modelinin deneysel verilerle uyumunun yeterliliğini göstermektedir. Varyasyon katsayısı (Cov), deneysel verilerle tahmin modeli arasındaki göreceli değişkenlikleri karşılaştırmak için kullanılan bir ölçüdür. Varyasyon katsayısının (Cov) küçük olması, veri noktalarının ortalamadan daha az sapma eğilimi içinde olduğunu gösterir. Ortalama mutlak yüzde hata ($MAPE$) ve Kök ortalama karesel hata ($RMSE$) ise, bir modelin tahminlerinin deneysel verilerden ne kadar sapma gösterdiğini ölçen diğer bir istatistiksel ölçütlerdir. Bu değerlerin düşük olması tahmin modelinin daha iyi performans gösterdiğini ve tahminlerin deneysel verilere daha yakın olduğunu göstermektedir. Söz konusu istatistiksel parametrelere ilişkin bağıntılar Tablo 5.1'de özetlenmiştir.

Tablo 5.1 İstatistiksel ölçütler

İstatistiksel Ölçüt	Bağıntı
Belirleme Katsayısı	$R = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (exp - \overline{exp})(model - \overline{model})]}{\sum_{i=1}^n (exp - \overline{exp}) \sum_{i=1}^n (model - \overline{model})}}$
Varyasyon Katsayısı	$Cov = \frac{SD}{M}$
Standart Sapma	$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{model}{exp} - M\right)^2}{n - 1}}$
Ortalama Değer	$M = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{model}{exp}}{n}$
Ortalama Mutlak Yüzde Hata	$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{exp - model}{exp} \right $
Hata Kareler Ortalamasının Karekökü	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (exp - model)^2}{n}}$

5.2 Narinlik Etkisinin Sonuçlara Etkisi

Narinlik etkisinin sonuçlar üzerindeki etkisini anlayabilmek için 2 durum oluşturulmuştur. Beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin hesabında narinlik etkisi gözötilmeden tek bağıntının kullanıldığı durum 1. durum, narinlik etkisi gözötilerek ayrı bağıntıların türetildiği durum ise 2. durum olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.1). Bu nedenle bütün deney verilerini içeren tüm kolonlara ait bağıntı, $L/D < 4$ olan narin olmayan kolonlar ve $L/D \geq 4$ olan narin kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerini tahmin etmek için ayrı bağıntılar türetilmiştir.



Şekil 5.1 Narinlik etkisinin karşılaştırılma durumları

Tablo 5.2 Durum 1 ve 2 için hata oranlarının değerlendirilmesi

		MAPE (%)	(0-5]	(5-10]	(10-15]	(15-20]	(20-30]	(30-50]	(50+]	Toplam	Ortalama MAPE (%)
Durum 1	Tüm Kolonlar	Deney sayısı	535	437	385	181	183	107	37	1865	12.946
		(%)	28.7	23.5	20.6	9.7	9.8	5.7	2.0	100	
	Narin Olmayan Kolonlar	Deney sayısı	338	301	226	102	70	15	8	1060	9.815
		(%)	31.9	28.4	21.3	9.6	6.6	1.4	0.8	100	
	Narin Kolonlar	Deney sayısı	197	136	159	79	113	92	29	805	17.067
		(%)	24.5	16.9	19.8	9.8	14.0	11.4	3.6	100	
Durum 2	Tüm Kolonlar	Deney sayısı	600	511	331	177	146	83	17	1865	10.879
		(%)	32.2	27.4	17.8	9.5	7.8	4.4	0.9	100	
	Narin Olmayan Kolonlar	Deney sayısı	367	307	217	93	52	20	4	1060	9.155
		(%)	34.6	29.0	20.5	8.8	4.9	1.9	0.4	100	
	Narin Kolonlar	Deney sayısı	233	204	114	84	94	63	13	805	13.150
		(%)	28.9	25.3	14.2	10.4	11.7	7.8	1.6	100	

Tablo 5.2’de iki ayrı durum için GEP modeliyle elde edilen tahmin sonuçlarının ortalama mutlak yüzde hata oranları (*MAPE*) gösterilmiştir. Narin ve narin olmayan kolonların eksenel yük etkisindeki taşıma gücünün tahmininde tek bağıntının kullanıldığı 1. durumda tüm deney verisinde ortalama hata oranı %12.946 iken, narin ve narin olmayan kolonlar için ayrı bağıntıların türetildiği 2. durumda tüm kolonların ortalama hata oranı %10.879 değerine düşmüştür.

Narin ve narin olmayan kolonlar için ayrı bağıntıların kullanıldığı 2. durumda ortalama mutlak yüzde hata oranları, narin olmayan kolonlarda %9.815 değerinden %9.155 değerine, narin kolonlarda ise %17.067’ den %13.15 değerine düşmüştür.

2.durumda narin olmayan kolonlarda ortalama mutlak yüzde hata oranlarının %50 nin üzerinde olduğu kolonların sayısı 8 den 4'e düşmüştür. Bu sayı 1. durumda narin olmayan kolonların %0.8'ini oluştururken, 2. durumda %0.4 değerine düşmüştür. Benzer şekilde 2. durumda narin kolonlarda ortalama mutlak yüzde hata oranlarının %50 nin üzerinde olduğu kolonların sayısı 29'dan 13'e düşmüştür. Bu sayı 1. durumda narin kolonların % 3.6'sını oluştururken, 2. durumda %1.6 değerine düşmüştür. Diğer bir anlatımla narin olmayan ve narin kolonlar için ayrı bağıntıların türetildiği 2. durumda hata oranları azalmıştır.

Tablo 5.3 Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar için mevcut bağıntılar

ARAŞTIRMACI	BAĞINTI
ACI 318 [3] (2014)	$N^{ACI} = f_y A_s + 0.85 f'_c A_c$ $D/t \leq \sqrt{8 E_s / f_y} \quad f'_c \geq 17.2 \text{ Mpa}$
GB 50936 [4] (2014)	$N^{GB 50936} = A_{sc} f_{sc} \quad f_{sc} = (1.212 + B\theta + C\theta^2) f'_c \quad A_{sc} = A_s + A_c$ $\theta = \frac{A_s f_y}{A_c f'_c} \quad B = \frac{0.176 f_y}{213} + 0.974 \quad C = -\frac{0.104 f'_c}{14.4} + 0.031 \quad D/t \leq 135 \frac{235}{f_y}$ $235 \leq f_y \leq 420 \quad 30 \leq f_{cu} \leq 80$
AISC [5] (2016)	$D/t \leq 0.31 E_s / f_y$ $f_y \leq 525 \text{ Mpa} \quad 21 \leq f'_c \leq 69 \text{ MPa}$ KOMPAKT KESİT $D/t \leq \frac{0.15 E_s}{f_y}$ $P_{us} = P_p = A_s f_y + 0.95 A_c f'_c$ KOMPAKT OLMAYAN KESİT $\frac{0.15 E_s}{f_y} < D/t \leq \frac{0.19 E_s}{f_y}$ $P_{us} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2$

Tablo 5.3 Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar için mevcut bağıntılar (devamı)

	$\lambda_p = 0.09 \frac{E_s}{f_y} \quad \lambda_r = 0.19 \frac{E_s}{f_y}$ $P_y = A_s f_y + 0.7 A_c f'_c$ NARİN KESİT $\frac{0.19 E_s}{f_y} < D/t \leq \frac{0.31 E_s}{f_y}$ $P_{us} = A_s f_{cr} + 0.7 A_c f'_c$ $f_{cr} = \frac{0.72 f_y}{(D f_y / E_s t)^{0.2}}$
GIAKOUMELIS vd. [22] (2004)	$N^{GIAKOUMELIS} = 1.3 f'_c A_c + f_y A_s$
GUNEYISI vd. [36] (2016)	$N^{GÜNEYİSİ} = N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6$ $N_1 = \sin \left(\sin \left(\frac{24.415466}{f'_c} (t - D) \right) \right) + (f'_c - 24.415466 + 10^{24.415466}) - f_y$ $N_2 = \cos \left(\frac{-28.226013 D}{L + f_y} \right) + 28.53866 + \cos \left(\frac{f_y + f'_c}{f'_c + 28.538666} + \log(t) \right)$ $N_3 = \frac{(f'_c + D) \log(DL) + f'_c - 2f_y - L - 28.713898}{-10.14331} + D$ $N_4 = 10^{-28.879181}$ $N_5 = \frac{[(9.824158 + f_y)(27.633362t)]^{\log 9.824158}}{27.633362 f'_c} + 2t + D$ $N_6 = 2t + f'_c - t \sqrt[4]{D + f'_c - 28.048736 - t}$
WANG vd. [39] (2017)	$N^{WANG} = \eta_a f_y A_s + \eta_c f'_c A_c$ $\eta_a = 0.95 - 12.6 f_y^{-0.85} \ln(0.14 D/t)$ $\eta_c = 0.99 + [5.04 - 2.37(D/t)^{0.04} (f'_c)^{0.1}] (t f_y / D f'_c)^{0.51}$

Tablo 5.3 Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar için mevcut bağıntılar (devamı)

TRAN vd. [47] (2019)	$N^{TRAN} = P_{chart} C_L C_t C_{f_y} C_{f'_c}$ $P_{chart} = 0.0462D^2 + 4.7889D + 88.876$ $C_L = 0.0006 \left(\frac{L}{600} \right)^2 - 0.0660 \left(\frac{L}{600} \right) + 1.0650$ $C_t = -0.0792 \left(\frac{t}{5} \right)^3 + 0.2540 \left(\frac{t}{5} \right)^2 + 0.2770 \left(\frac{t}{5} \right) + 0.5497$ $C_{f_y} = 0.0701 \left(\frac{f_y}{350} \right)^2 + 0.1114 \left(\frac{f_y}{350} \right) + 0.8164$ $C_{f'_c} = -0.0539 \left(\frac{f'_c}{50} \right)^3 + 0.1058 \left(\frac{f'_c}{50} \right)^2 + 0.5518 \left(\frac{f'_c}{50} \right) + 0.3963$
ZARRINGOL vd. [49] (2020)	$N^{ZARRINGOL} = \frac{65699}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{19828}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{26089}{1 + EXP(Q_3)} - \frac{57486}{1 + EXP(Q_4)} - \frac{67475}{1 + EXP(Q_5)} + 92639$ $Q'_1 = \frac{0.54997}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{2.15746}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{0.34977}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{3.67685}{1 + EXP(Q_4)} - \frac{8.18927}{1 + EXP(Q_5)} + 2.97611$ $Q'_2 = -\frac{0.07436}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{1.00637}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{1.66518}{1 + EXP(Q_3)} - \frac{5.16305}{1 + EXP(Q_4)} + \frac{4.81729}{1 + EXP(Q_5)} + 6.24403$ $Q'_3 = -\frac{0.11604}{1 + EXP(Q_1)} + \frac{0.87524}{1 + EXP(Q_2)} + \frac{1.25046}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{3.99652}{1 + EXP(Q_4)} + \frac{2.02532}{1 + EXP(Q_5)} - 5.51097$ $Q'_4 = \frac{1.93808}{1 + EXP(Q_1)} - \frac{3.68692}{1 + EXP(Q_2)} - \frac{0.53538}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{3.35603}{1 + EXP(Q_4)} - \frac{10.17554}{1 + EXP(Q_5)} + 4.51967$ $Q'_5 = -\frac{14.61625}{1 + EXP(Q_1)} + \frac{13.35933}{1 + EXP(Q_2)} + \frac{4.22188}{1 + EXP(Q_3)} + \frac{2.99810}{1 + EXP(Q_4)} + \frac{17.0948}{1 + EXP(Q_5)} - 20.58295$ $Q_1 = -0.00562D - 0.41836t - 0.00166L + 0.00805f_y - 0.04884f'_c + 7.18874$ $Q_2 = -0.00049D - 0.35739t - 0.00053L + 0.00875f_y - 0.01794f'_c - 0.12577$ $Q_3 = -0.01071D + 0.29401t + 0.00037L + 0.00192f_y - 0.08461f'_c + 5.98865$

Tablo 5.3 Beton dolgulu çelik tüplü kolonlar için mevcut bağıntılar (devamı)

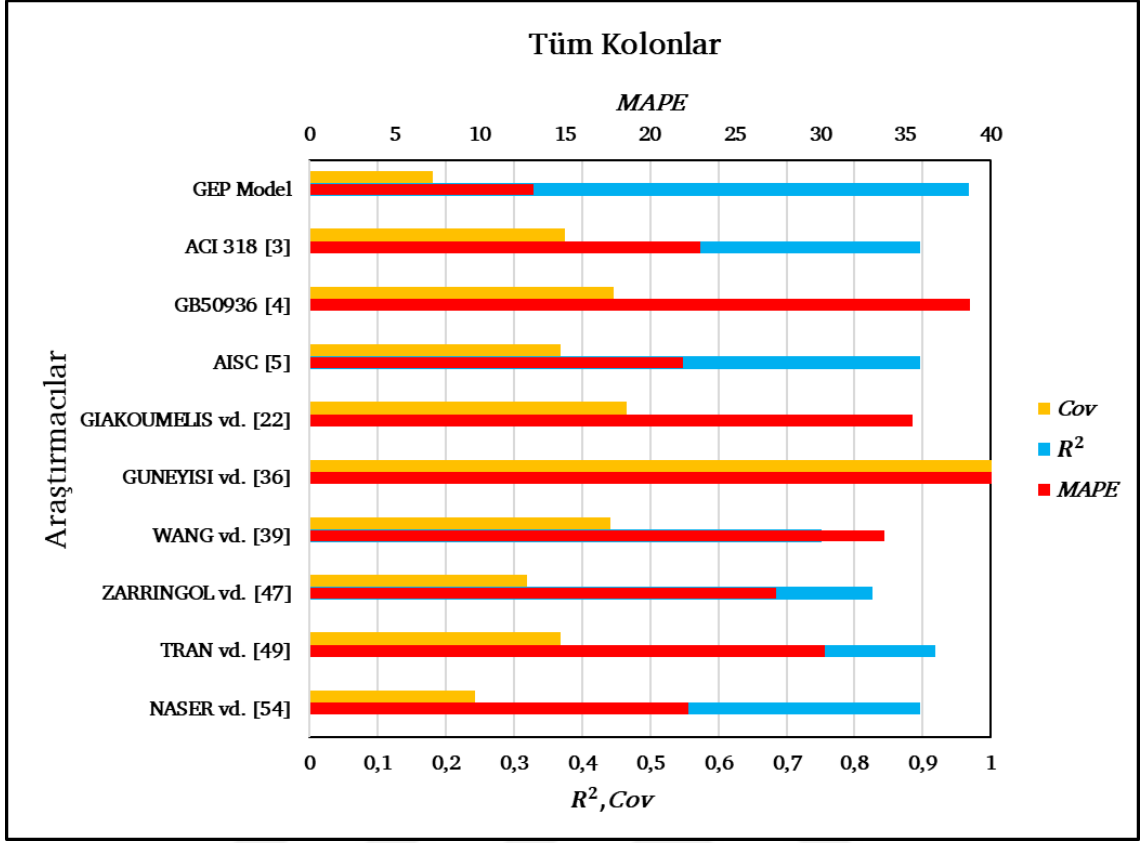
	$Q_4 = 0.00550D - 0.26221t + 0.00026L - 0.00279f_y + 0.00494f'_c - 1.15121$ $Q_5 = -0.00779D - 0.05017t + 0.00017L - 0.00142f_y - 0.00225f'_c + 4.06961$
NASER vd. [54] (2021)	$N^{NASER} = abs(0.00439Dt f_y + 0.000727tD^2 + 0.000727f'_c D^2 - 1.38 \times 10^{-5}DL_e f'_c - 3.71 \times 10^{-7}DL_e f_y)$
* η_a ve η_c sırasıyla çelik ve beton için kuşatma katsayılarıdır. E_s çeliğin elastisite modülünü ve f_{cu} betonun küp basınç dayanımını ifade etmektedir.	

5.3 Tüm kolonlar için Türetilen Bağıntıların Karşılaştırılması

Literatürden derlenen 1865 adet tüm kolon deney verisi kullanılarak yapılan istatistiksel karşılaştırmaların sonuçları Tablo 5.4'te özetlenmiştir. Ayrıca Şekil 5.2'de GEP Model ve mevcut bağıntıların sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.4 ve Şekil 5.2'de görüldüğü gibi, GEP modeline ilişkin $R^2 = 0.988$, $Cov = 0.190$, $M = 1.023$, $SD = 0.194$, $MAPE = 12.946$ ve $RMSE = 362.122$ istatistiksel değerlerinin diğer bağıntılara göre en duyarlı sonuçları verdiği görülmektedir.

Tablo 5.4 Tüm kolonlar için türetilen bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması

Araştırmacı	R^2	Cov	M	SD	$MAPE$ (%)	$RMSE$
GEP Model	0.988	0.190	1.023	0.194	12.946	362.122
ACI 318 [3]	0.975	0.321	0.874	0.281	22.903	941.660
GB 50936 [4]	0.961	0.400	1.161	0.465	25.637	668.883
AISC [5]	0.975	0.310	0.916	0.284	19.915	824.602
GIAKOUMELIS vd. [22]	0.933	0.394	1.110	0.437	22.897	879.962
GUNEYISI vd. [36]	0.633	1.163	1.716	1.997	79.588	2344.883
WANG vd. [39]	0.949	0.385	1.083	0.417	20.706	735.957
TRAN vd. [47]	0.956	0.315	1.079	0.340	20.044	679.666
ZARRINGOL vd. [49]	0.953	0.258	1.166	0.300	20.615	880.514
NASER vd. [54]	0.979	0.212	1.077	0.228	15.041	473.781



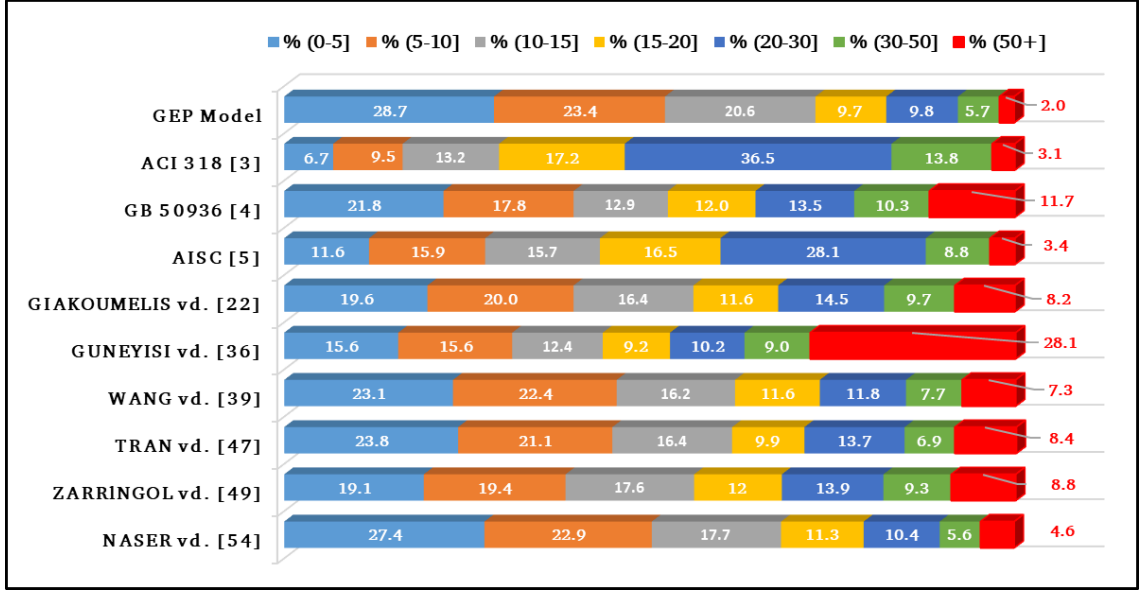
Şekil 5.2 Tüm kolonlara ait bağıntıların istatistiksel karşılaştırılması

Tüm kolonların GEP Modeli ile mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarının deney sonuçlarıyla uyumunu gösteren hata oranları Tablo 5.5’de gösterilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında 1865 adet deney verisi için GEP modeli ile tahmin edilen bağıntının ortalama mutlak hata oranının %12.9 değeriyle en düşük olduğu görülmektedir. GEP ile türetilen modelin sonuçları irdelendiğinde, 1865 adet kolonun 1357’inde hata oranının %0-15 aralığında yer aldığı, anılan hata aralığına karşılık gelen deney sayısının toplam deney sayısının %72.7’sini oluşturduğu anlaşılmaktadır. 1865 adet kolonunun 37 adedinde taşıma gücünün %50’nin üzerindeki hata oranıyla tahmin edildiği, bu aralıktaki deney sayısının toplam deney sayısının %2.0 mertebesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.5 Tüm kolonlar için türetilen bağıntıların hata oranlarının karşılaştırılması

MODEL	MAPE (%)	(0-5]	(5-10]	(10-15]	(15-20]	(20-30]	(30-50]	(50+]	Toplam Deney	MAPE (%)
GEP Model	Deney sayısı (%)	535 %28.7	437 %23.4	385 %20.6	181 %9.7	183 %9.8	107 %5.7	37 %2.0	1865	12.9
ACI 318 [3]	Deney sayısı (%)	71 %6.7	100 %9.5	139 %13.2	182 %17.2	385 %36.5	146 %13.8	33 %3.1	1056	22.9
GB 50936 [4]	Deney sayısı (%)	225 %21.8	184 %17.8	133 %12.9	124 %12.0	140 %13.5	107 %10.3	121 %11.7	1034	25.6
AISC [5]	Deney sayısı (%)	134 %11.6	184 %15.9	182 %15.7	191 %16.5	326 %28.1	102 %8.8	40 %3.4	1159	19.9
GIAKOUMELIS vd. [22]	Deney sayısı (%)	365 %19.6	374 %20.0	305 %16.4	217 %11.6	271 %14.5	181 %9.7	152 %8.2	1865	22.9
GUNEYISI vd. [36]	Deney sayısı (%)	291 %15.6	291 %15.6	231 %12.4	171 %9.2	190 %10.2	167 %9.0	524 %28.1	1865	79.6
WANG vd. [39]	Deney sayısı (%)	430 %23.1	417 %22.4	303 %16.2	216 %11.6	220 %11.8	143 %7.7	136 %7.3	1865	20.7
TRAN vd. [47]	Deney sayısı (%)	443 %23.8	393 %21.1	306 %16.4	184 %9.9	255 %13.7	128 %6.9	156 %8.4	1865	20.0
ZARRINGOL vd. [49]	Deney sayısı (%)	356 %19.1	361 %19.4	328 %17.6	223 %12.0	259 %13.9	173 %9.3	165 %8.8	1865	20.6
NASER vd. [54]	Deney sayısı (%)	511 %27.4	427 %22.9	331 %17.7	211 %11.3	194 %10.4	105 %5.6	86 %4.6	1865	15.0

Ayrıca GEP Modeli ile mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarının hata oranları Şekil 5.3'te karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında GEP modelinde 1865 adet kolonun %28.7'sinde mutlak hata oranının %5'in altında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla %5'in altındaki mutlak hata oranı açısından yapılan değerlendirmede en duyarlı modelin GEP modeli olduğu anlaşılmaktadır.



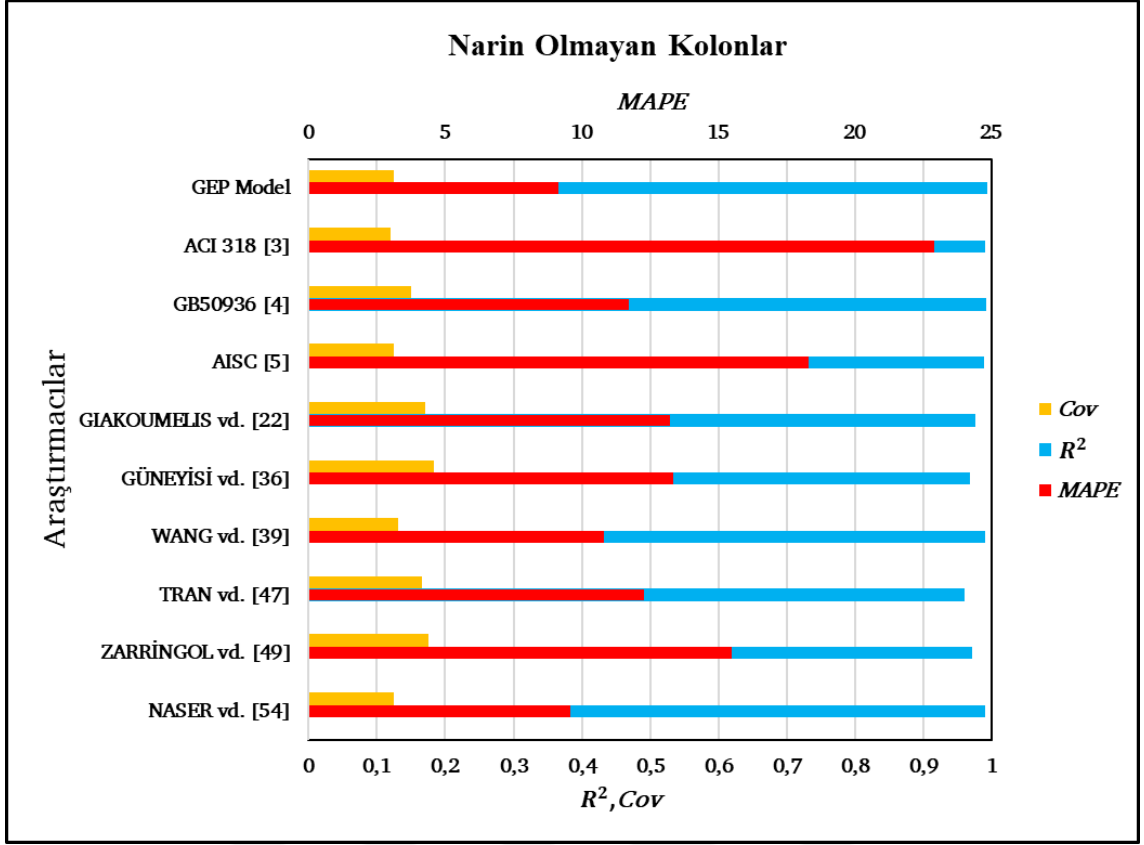
Şekil 5.3 Hataların yüzdelik dağılımları

5.4 Narin Olmayan Kolonların Karşılaştırılması

Literatürden derlenen 1060 adet narin olmayan deney verisi kullanılarak yapılan istatistiksel karşılaştırmaların sonuçları Tablo 5.6’da özetlenmiştir. Ayrıca Şekil 5.4’te GEP Model ve mevcut bağıntıların sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.6 ve Şekil 5.4’te görüldüğü gibi, GEP modeline ilişkin $R^2 = 0.994$, $Cov = 0.125$, $M = 0.998$, $SD = 0.125$, $MAPE = 9.155$ ve $RMSE = 305.651$ istatistiksel değerlerinin diğer bağıntılara göre en duyarlı sonuçları verdiği görülmektedir.

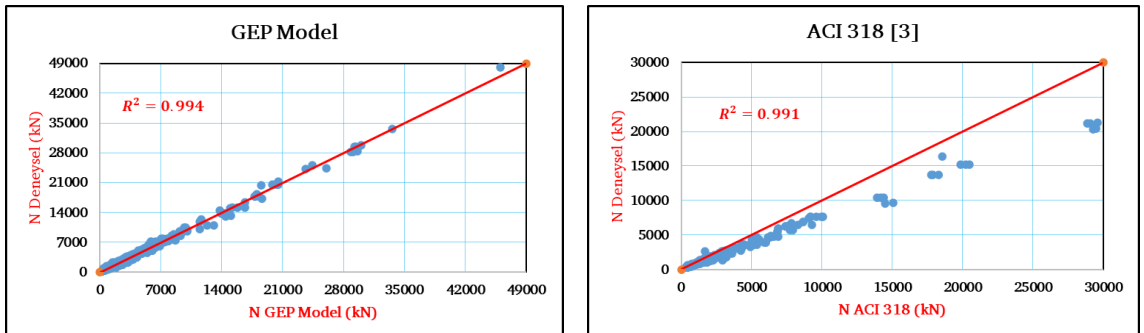
Tablo 5.6 Narin olmayan kolonlar için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması

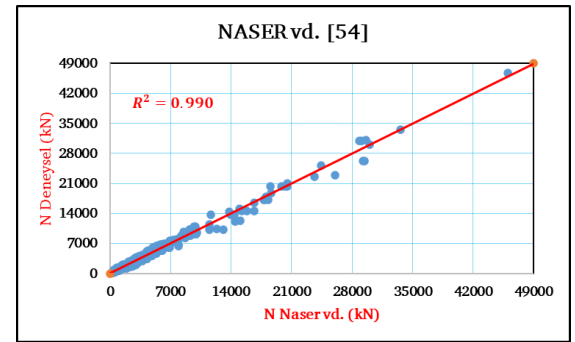
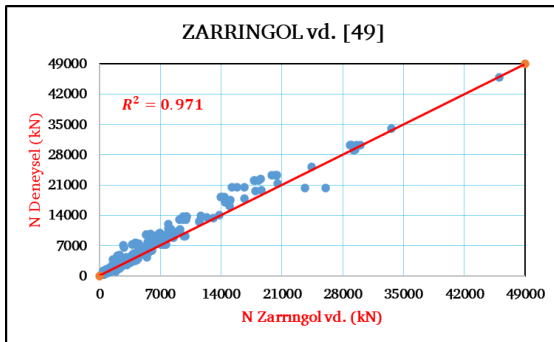
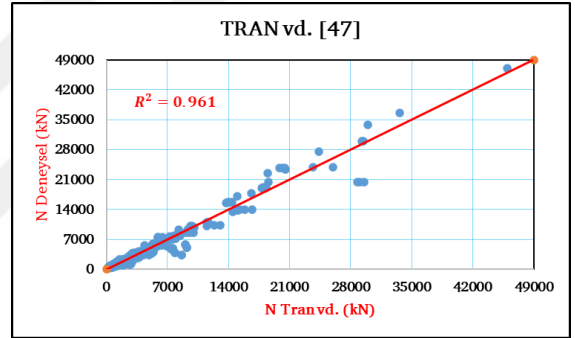
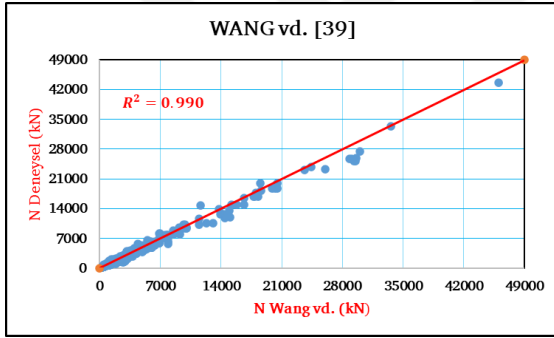
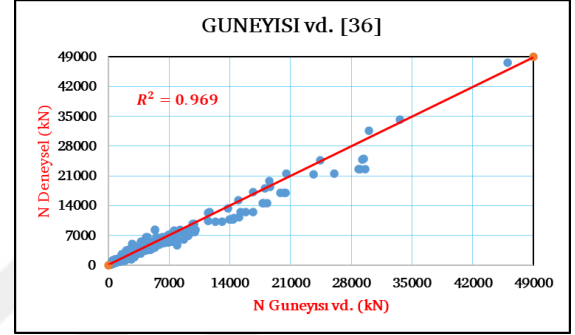
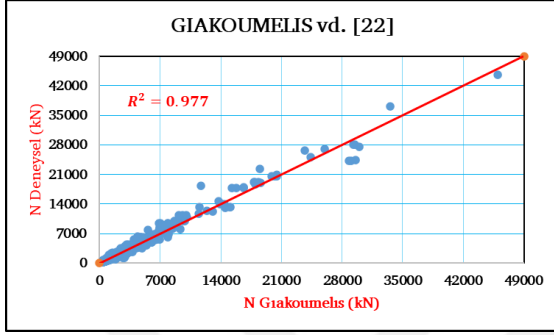
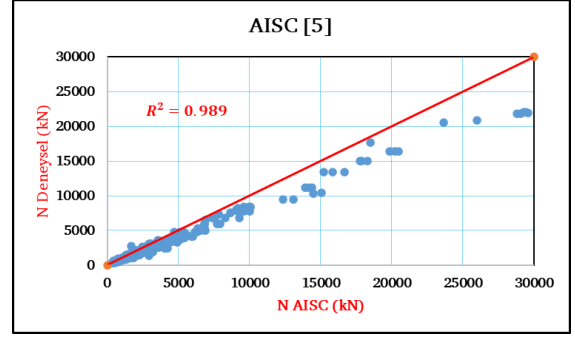
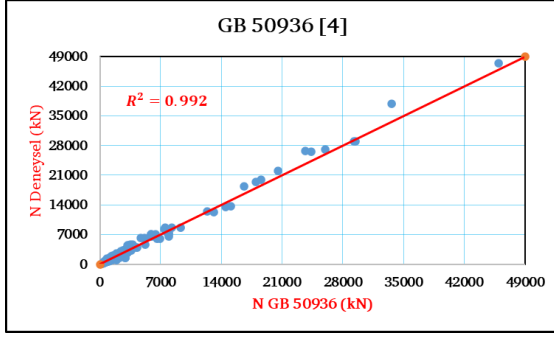
Araştırmacı	R^2	Cov	M	SD	$MAPE$ (%)	$RMSE$
GEP Model	0.994	0.125	0.998	0.125	9.155	305.651
ACI 318 [3]	0.991	0.120	0.776	0.093	22.895	1.206.928
GB 50936 [4]	0.992	0.150	0.997	0.149	11.713	437.887
AISC [5]	0.989	0.124	0.824	0.102	18.294	1.028.637
GIAKOUMELIS vd. [22]	0.977	0.171	0.979	0.167	13.217	616.849
GUNEYISI vd. [36]	0.969	0.183	1.001	0.184	13.361	774.347
WANG vd. [39]	0.990	0.131	0.937	0.123	10.792	493.810
TRAN vd. [47]	0.961	0.166	0.976	0.162	12.286	798.148
ZARRINGOL vd. [49]	0.971	0.175	1.123	0.197	15.480	866.736
NASER vd. [54]	0.990	0.125	1.001	0.125	9.568	397.029



Şekil 5.4 Narin olmayan kolonların istatistiksel karşılaştırılması

Şekil 5.5’de deneysel ve mevcut bağıntılara ilişkin taşıma gücü sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekilde yer alan grafiklerin içerisinde eğimi 1 olan $y=x$ doğrusu yer almaktadır. Deneysel ve Model sonuçlarının eşit olması halinde noktalar doğru üzerinde yer almaktadır. Deneysel ve model sonuçlarında ayrışma görülmesi durumunda noktalar doğrudan uzaklaşmaktadır. GEP Model, diğer bağıntılara göre $R^2 = 0.994$ değeri ile deneysel sonuçlara en yakın tahmini yapmakta ve dolayısıyla en güvenilir sonuçları vermektedir.





Şekil 5.5 Deneysel ve bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması

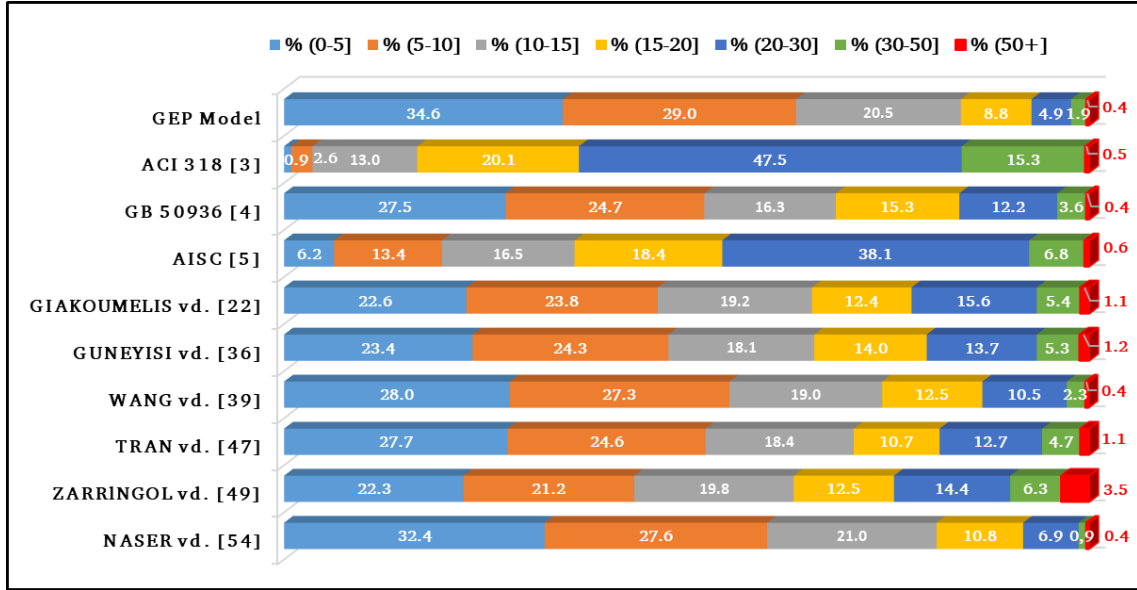
Narin olmayan kolonlarda GEP Modeli ile mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarının deney sonuçlarıyla uyumunu gösteren hata oranları Tablo 5.7’de gösterilmiştir. Tüm bağıntılarla bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında GEP modeli ile tahmin edilen bağıntının ortalama mutlak hata oranının %9.2 değeriyle en düşük olduğu görülmektedir.

GEP ile türetilen modelin sonuçları irdelendiğinde, 1060 adet kolonun 891’inde hata oranının % 0-15 aralığında olduğu, diğer bir anlatımla anılan hata aralığına karşılık gelen deney sayısının toplam deney sayısının %84.1’ü olduğu anlaşılmaktadır. 1060 deney kolonunun 4’ünde taşıma gücünün %50’nin üzerindeki hata oranıyla tahmin edildiği, anılan hata aralığına karşılık gelen deney sayısının toplam deney sayısının %0.4’ü mertebesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.7 Narin olmayan kolonlar için bağıntıların hata oranlarının karşılaştırılması

MODEL	MAPE (%)	(0-5]	(5-10]	(10-15]	(15-20]	(20-30]	(30-50]	(50+]	Toplam Deney	MAPE(%)
GEP Model	Deney sayısı (%)	367 %34.6	307 %29.0	217 %20.5	93 %8.8	52 %4.9	20 %1.9	4 %0.4	1060	9.2
ACI 318 [3]	Deney sayısı (%)	5 %0.9	15 %2.6	74 %13.0	114 %20.1	270 %47.5	87 %15.3	3 %0.5	568	22.9
GB 50936 [4]	Deney sayısı (%)	138 %27.5	124 %24.7	82 %16.3	77 %15.3	61 %12.2	18 %3.6	2 %0.4	502	11.7
AISC [5]	Deney sayısı (%)	40 %6.2	86 %13.4	106 %16.5	118 %18.4	245 %38.1	44 %6.8	4 %0.6	643	18.3
GIAKOUMELIS vd. [22]	Deney sayısı (%)	240 %22.6	252 %23.8	203 %19.2	131 %12.4	165 %15.6	57 %5.4	12 %1.1	1060	13.2
GUNEYISI vd. [36]	Deney sayısı (%)	248 %23.4	258 %24.3	192 %18.1	148 %14.0	145 %13.7	56 %5.3	13 %1.2	1060	13.4
WANG vd. [39]	Deney sayısı (%)	297 %28.0	290 %27.3	201 %19.0	132 %12.5	111 %10.5	25 %2.3	4 %0.4	1060	10.8
TRAN vd. [47]	Deney sayısı (%)	294 %27.7	261 %24.6	195 %18.4	113 %10.7	135 %12.7	50 %4.7	12 %1.1	1060	12.3
ZARRINGOL vd. [49]	Deney sayısı (%)	236 %22.3	225 %21.2	210 %19.8	132 %12.5	153 %14.4	67 %6.3	37 %3.5	1060	15.5
NASER vd. [54]	Deney sayısı (%)	343 %32.4	293 %27.6	223 %21.0	114 %10.8	73 %6.9	10 %0.9	4 %0.4	1060	9.6

Ayrıca GEP Modeli ile mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarının hata oranları Şekil 5.6'da karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında GEP modelinde 1060 adet kolonun %34.6'sında, mutlak hata oranının %5 in altında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla %5'in altındaki mutlak hata oranı açısından yapılan değerlendirmede en duyarlı modelin GEP modeli olduğu anlaşılmaktadır.



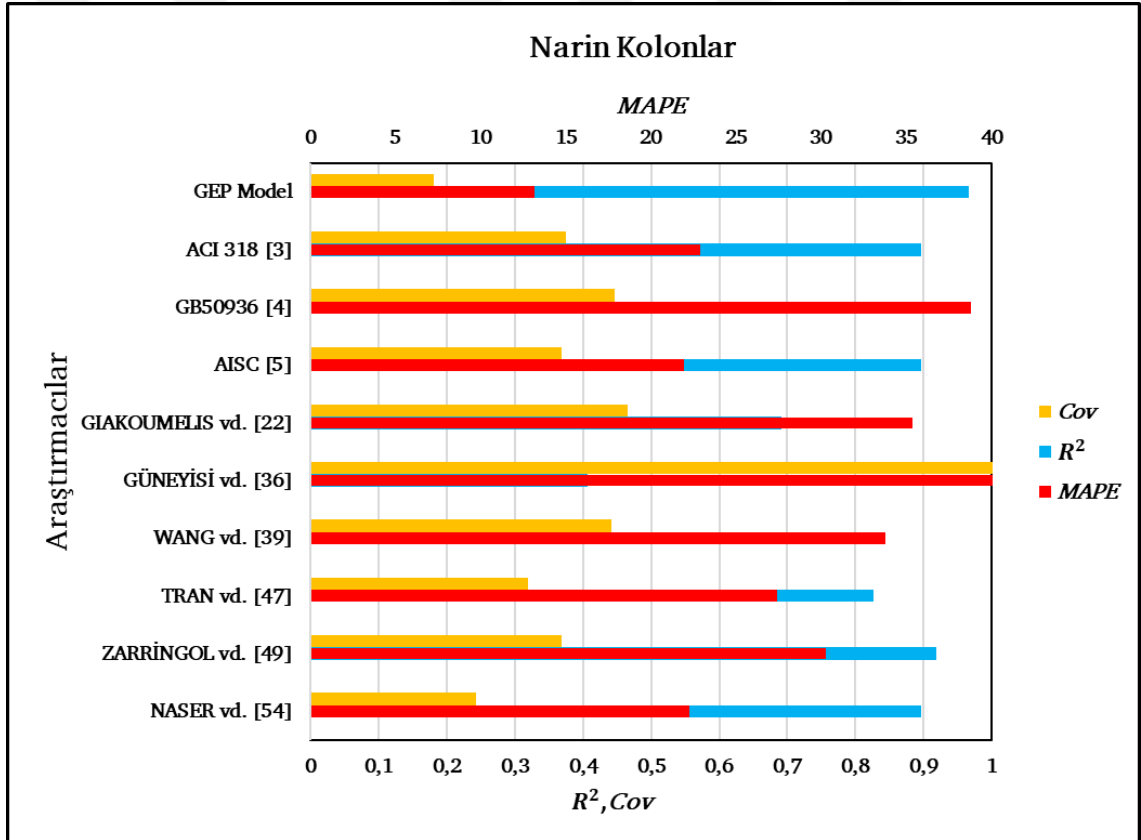
Şekil 5.6 Hataların yüzdelik dağılımları

5.5 Narin Kolonların Karşılaştırılması

Literatürden derlenen 805 adet narin kolon deney verisi kullanılarak yapılan istatistiksel karşılaştırmaların sonuçları Tablo 5.8'de özetlenmiştir. Ayrıca Şekil 5.7'de GEP Model ve mevcut bağıntıların sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.8 ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, diğer bağıntılar ile karşılaştırıldığında GEP Modele ait bağıntının $R^2 = 0.967$, $Cov = 0.181$, $M = 0.124$, $SD = 0.186$, $MAPE = 13.150$ ve $RMSE = 288.759$ değerleri ile en duyarlı sonucu verdiği görülmektedir.

Tablo 5.8 Narin kolonlar için bağıntıların istatistiksel olarak karşılaştırılması

Araştırmacı	R^2	Cov	M	SD	$MAPE$	$RMSE$
GEP Model	0.967	0.181	1.024	0.186	13,150	288.759
ACI 318 [3]	0.896	0.375	0.987	0.370	22,912	472.587
GB50936 [4]	0.760	0.447	1.320	0.591	38,775	829.848
AISC [5]	0.896	0.369	1.031	0.381	21,935	456.919
GIAKOUMELIS vd. [22]	0.692	0.465	1.280	0.596	35,379	1.140.657
GUNEYISI vd. [36]	0.407	1.039	2.658	2.763	166,794	3.456.754
WANG vd. [39]	0.751	0.442	1.275	0.564	33,762	966.306
TRAN vd. [47]	0.918	0.369	1.214	0.448	30,260	481.029
ZARRINGOL vd. [49]	0.826	0.319	1.223	0.390	27,376	898.333
NASER vd. [54]	0.896	0.243	1.178	0.286	22,248	558.996



Şekil 5.7 Narin olmayan kolonların istatistiksel karşılaştırılması

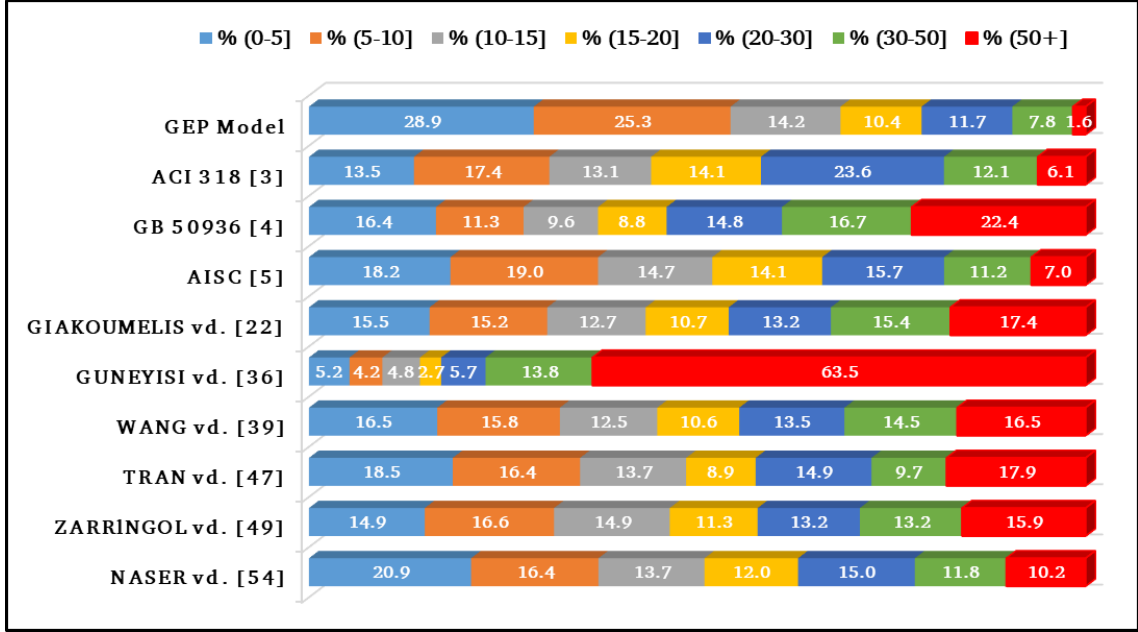
Narin kolonlarda, GEP Modeli ile mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarının deney sonuçlarıyla uyumunu gösteren hata oranları Tablo 5.9’da gösterilmiştir. Tüm bağıntılarla bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında 805 adet narin kolon deney verisi için GEP modeli ile tahmin edilen bağıntının ortalama mutlak hata oranının %13.2 değeriyle en düşük olduğu görülmektedir. GEP ile türetilen modelin sonuçları irdelendiğinde, 805 adet kolonun 551’inde hata oranının %0-15 aralığında yer aldığı, anılan hata aralığına karşılık gelen deney sayısının toplam deney sayısının %68.4’ünü oluşturduğu anlaşılmaktadır. 805 deney kolonunun 13 adedinde taşıma gücünün %50’nin üzerindeki hata oranıyla tahmin edildiği, bu aralıktaki deney sayısının toplam deney sayısının %1.6 mertebesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.9 Narin kolonlar için bağıntıların hata oranlarının karşılaştırılması

	MAPE (%)	(0-5]	(5-10]	(10-15]	(15-20]	(20-30]	(30-50]	(50+]	Toplam Deney	MAPE (%)
GEP Model	Deney sayısı (%)	233	204	114	84	94	63	13	805	13.2
		%28.9	%25.3	%14.2	%10.4	%11.7	%7.8	%1.6		
ACI 318 [3]	Deney sayısı (%)	66	85	64	69	115	59	30	488	22.9
		%13.5	%17.4	%13.1	%14.1	%23.6	%12.1	%6.1		
GB 50936 [4]	Deney sayısı (%)	87	60	51	47	79	89	119	532	38.8
		%16.4	%11.3	%9.6	%8.8	%14.8	%16.7	%22.4		
AISC [5]	Deney sayısı (%)	94	98	76	73	81	58	36	516	21.9
		%18.2	%19.0	%14.7	%14.1	%15.7	%11.2	%7.0		
GIAKOUMELIS vd. [22]	Deney sayısı (%)	125	122	102	86	106	124	140	805	35.4
		%15.5	%15.2	%12.7	%10.7	%13.2	%15.4	%17.4		
GUNEYISI vd. [36]	Deney sayısı (%)	42	34	39	22	46	111	511	805	166.8
		%5.2	%4.2	%4.8	%2.7	%5.7	%13.8	%63.5		
WANG vd. [39]	Deney sayısı (%)	133	127	101	85	109	117	133	805	33.8
		%16.5	%15.8	%12.5	%10.6	%13.5	%14.5	%16.5		
TRAN vd. [47]	Deney sayısı (%)	149	132	110	72	120	78	144	805	30.3
		%18.5	%16.4	%13.7	%8.9	%14.9	%9.7	%17.9		
ZARRINGOL vd. [49]	Deney sayısı (%)	120	134	120	91	106	106	128	805	27.4
		%14.9	%16.6	%14.9	%11.3	%13.2	%13.2	%15.9		
NASER vd. [54]	Deney sayısı (%)	168	132	110	97	121	95	82	805	22.2
		%20.9	%16.4	%13.7	%12.0	%15.0	%11.8	%10.2		

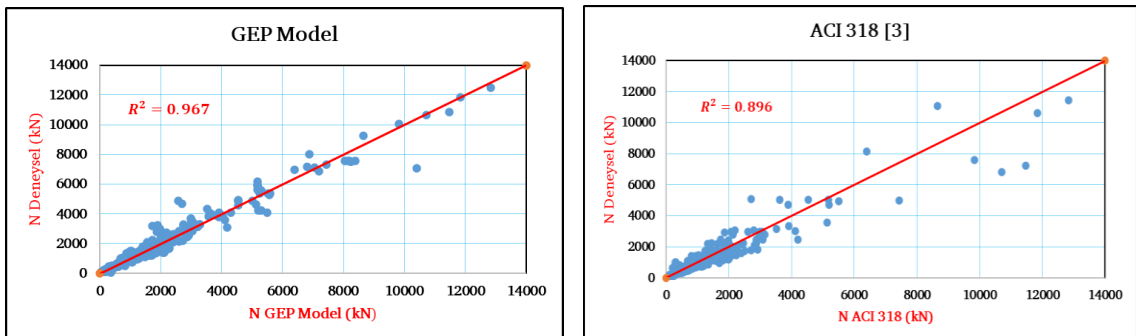
Ayrıca GEP Modeli ile mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarının hata oranları Şekil 5.8’de karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında GEP modelinde 805 adet

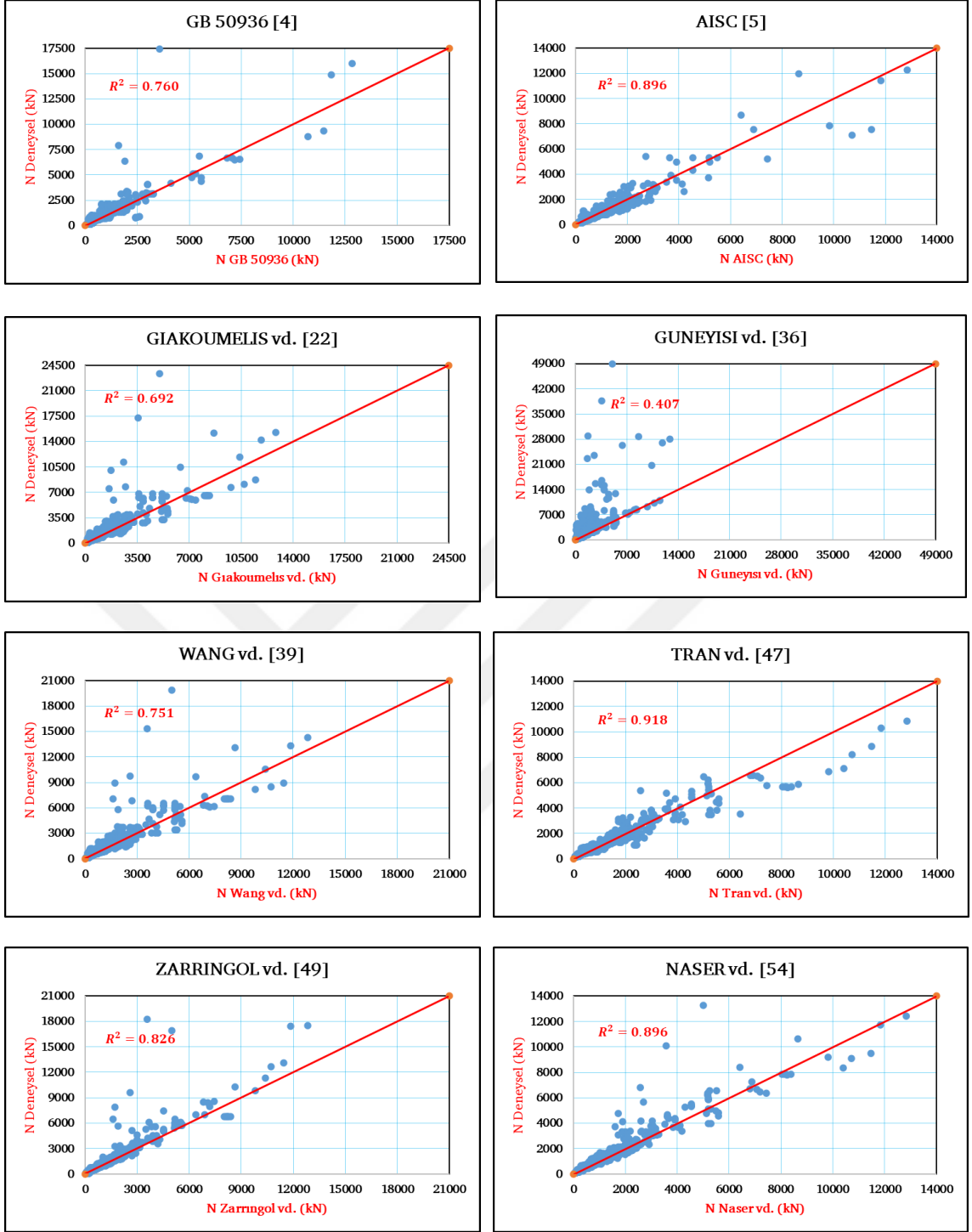
kolonun %28.9'unda, mutlak hata oranının %5 in altında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla diğer bağıntılarla karşılaştırıldığında %5'in altındaki mutlak hata oranı açısından yapılan değerlendirmede en duyarlı modelin GEP modeli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8 Hataların yüzdelik dağılımları

Şekil 5.9'da narin kolonlar için deneysel ve model ile tahmin edilen taşıma gücü sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekilde yer alan grafiklerin içerisinde eğimi 1 olan $y=x$ doğrusu yer almaktadır. Deneysel ve Model sonuçlarının eşit olması halinde noktalar doğru üzerinde yer almaktadır. Deneysel ve Model sonuçlarında ayrışma görülmesi durumunda noktalar doğrudan uzaklaşmaktadır.





Şekil 5.9 Deneysel ve bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması

DUYARLILIK ANALİZİ VE PARAMETRİK ÇALIŞMA

Tüm, narin olmayan ve narin kolonlar için (6.1) ve (6.2) bağıntıları yardımıyla gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda GEP Modeli ile tahmin edilen taşıma gücü bağıntılarındaki değişkenlerin katkısı belirlenmiştir [158].

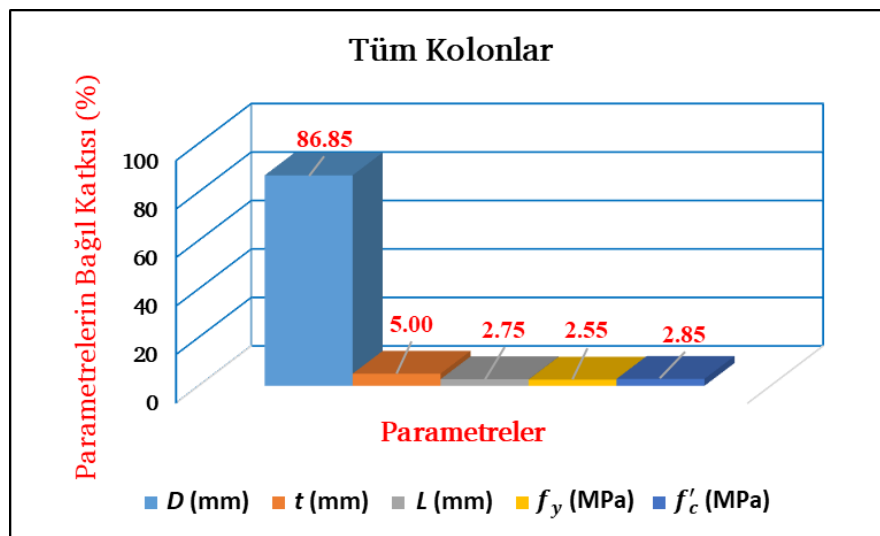
$$N_i = f_{max}(x_i) - f_{min}(x_i) \quad (6.1)$$

$$SA = \frac{N_i}{\sum_{j=1}^n N_j} \times 100 \quad (6.2)$$

Ayrıca parametrik analiz ile değişkenlerin türetilen bağıntılar içindeki uyumunun yeterliliği kanıtlanmıştır.

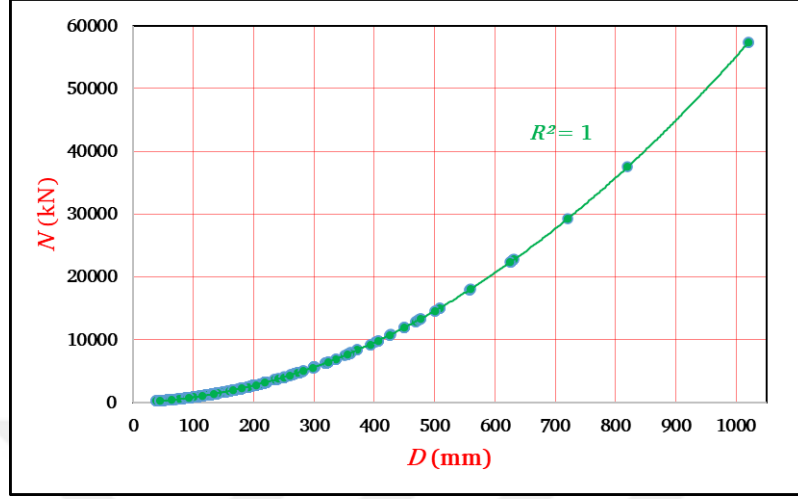
6.1 Tüm Kolonlar İçin Türetilen Bağntı

Şekil 6.1’de tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ilişkin duyarlılık analizi sonuçları gösterilmiştir. Şekilde tüm kolonlar için türetilen bağıntıda %86.85’lik bağıl katkı oranıyla çelik tüpün çapının (D) kolonun taşıma gücü tahmini üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Bağıntıda %2.55 bağıl katkı oranıyla çelik tüpün akma dayanımının (f_y) en düşük etki oranına sahip olduğu gözlenmiştir.

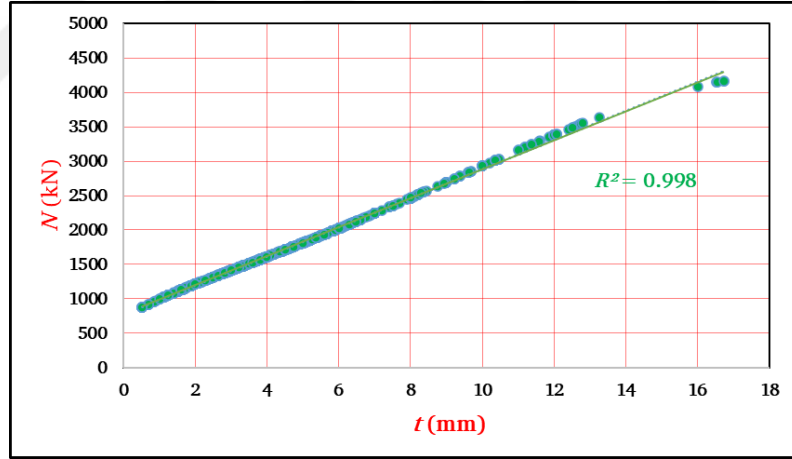


Şekil 6.1 Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait duyarlılık analizi

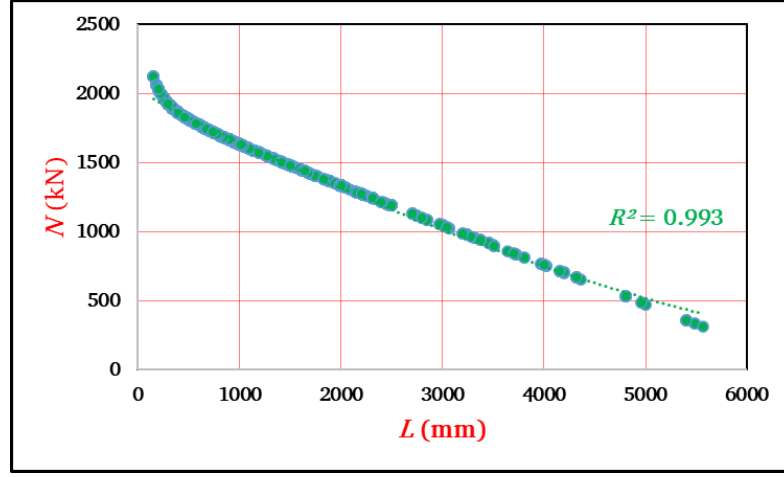
Şekil 6.2’de tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ilişkin parametrik çalışmanın sonuçları gösterilmiştir. Değişkenlerin türetilen bağıntı ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



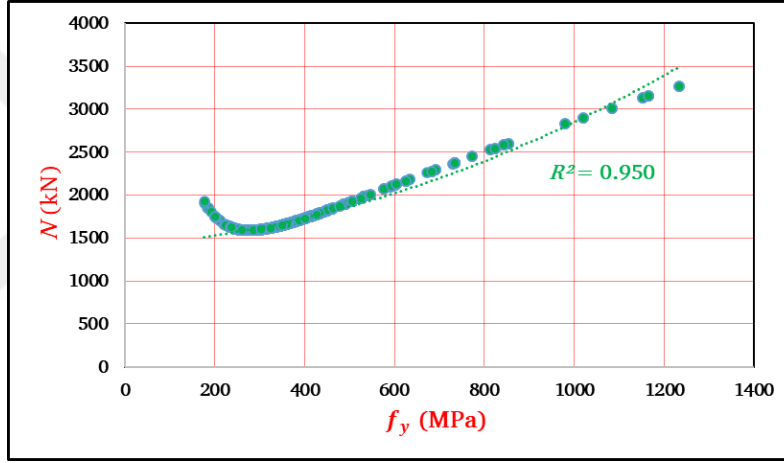
Şekil 6.2a Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait parametrik çalışma



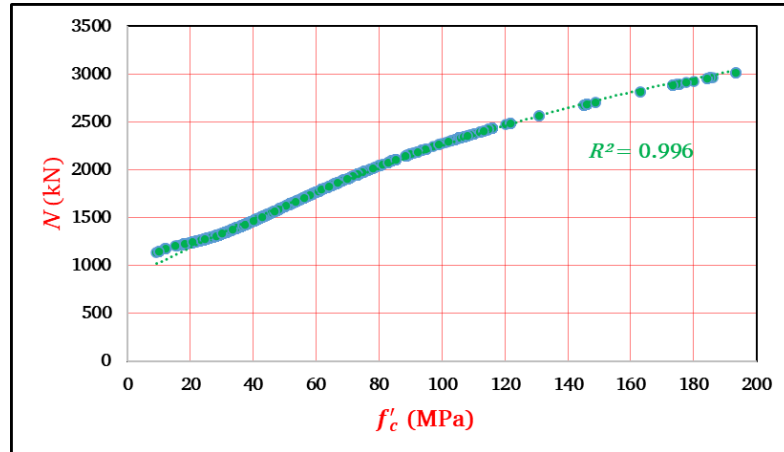
Şekil 6.2b Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait parametrik çalışma



Şekil 6.2c Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait parametrik çalışma



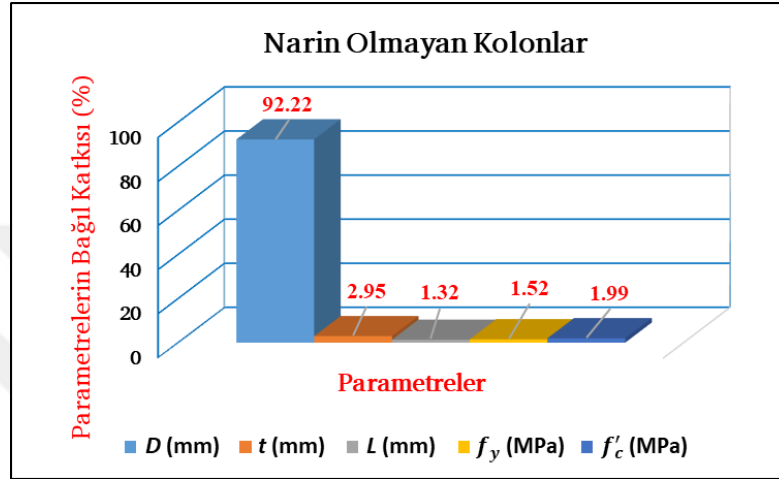
Şekil 6.2d Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait parametrik çalışma



Şekil 6.2e Tüm kolonlar için türetilen bağıntıya ait parametrik çalışma

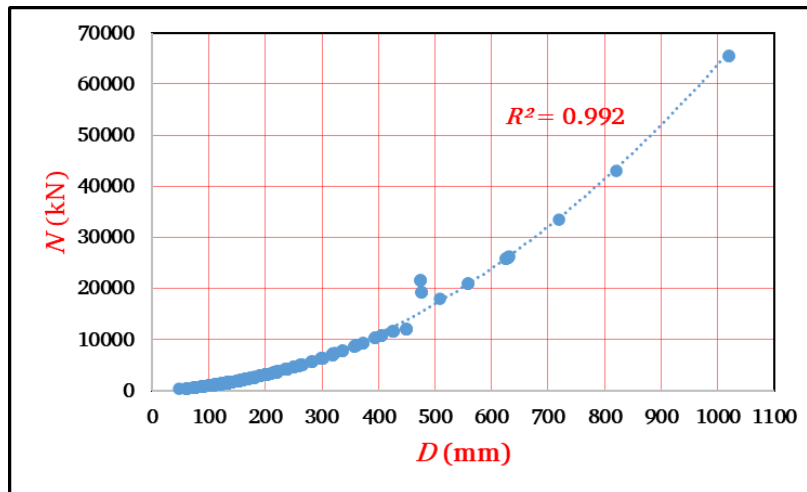
6.2 Narin Olmayan Kolon Bağıntısı

Şekil 6.3'te narin olmayan kolonlara ilişkin duyarlılık analizi sonuçları gösterilmiştir. Şekilde narin olmayan kolonlarda %92.22 bağıl katkı oranıyla çelik tüpün çapının (D) kolonun taşıma gücü tahmini üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Narin olmayan kolonlarda ise %1.32 katkı oranı ile deney numunesinin boyunun (L) en düşük etki oranına sahip olduğu gözlenmiştir.

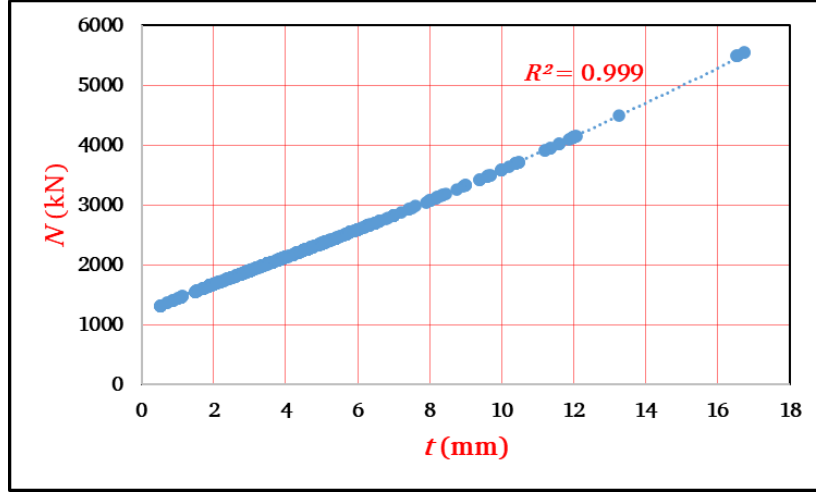


Şekil 6.3 Narin olmayan kolonlar için duyarlılık analizi

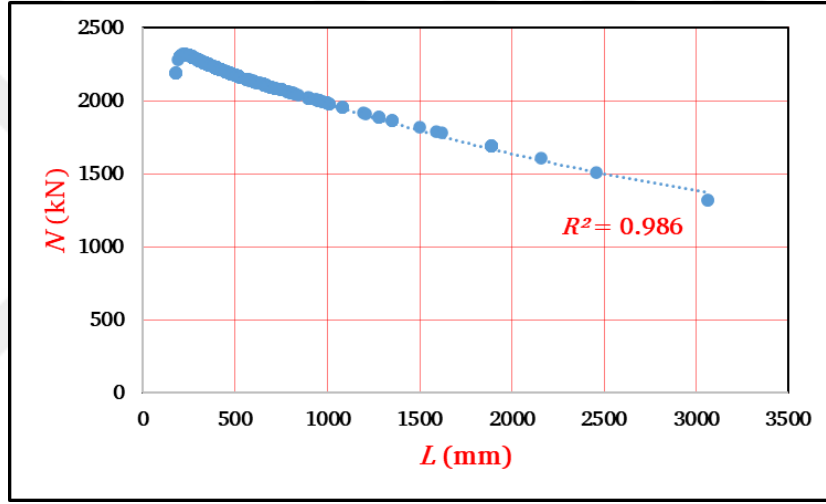
Şekil 6.4'de narin olmayan kolonlar bağıntısına ilişkin parametrik çalışmanın sonuçları gösterilmiştir. Değişkenlerin türetilen bağıntı ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



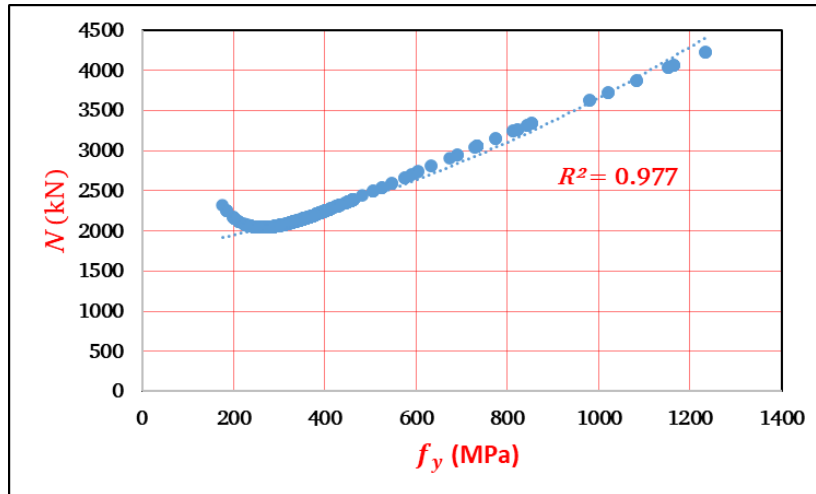
Şekil 6.4a Narin olmayan kolonlar için parametrik çalışma



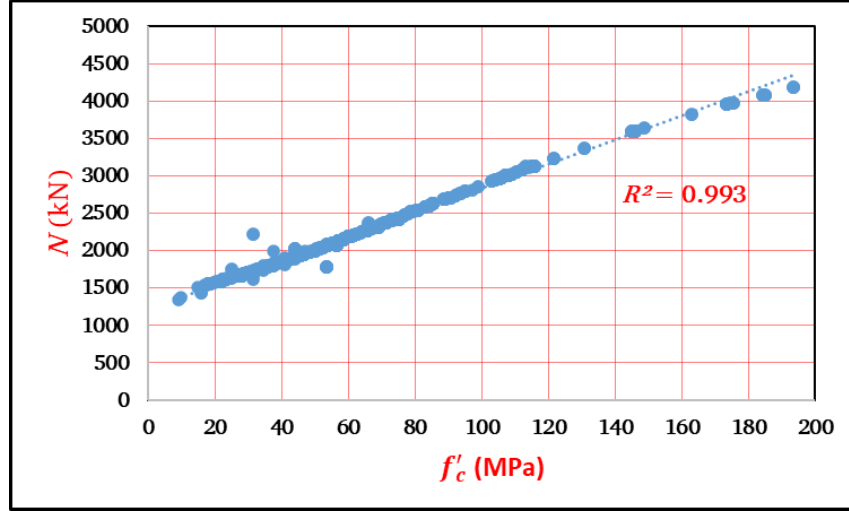
Şekil 6.4b Narin olmayan kolonlar için parametrik çalışma



Şekil 6.4c Narin olmayan kolonlar için parametrik çalışma



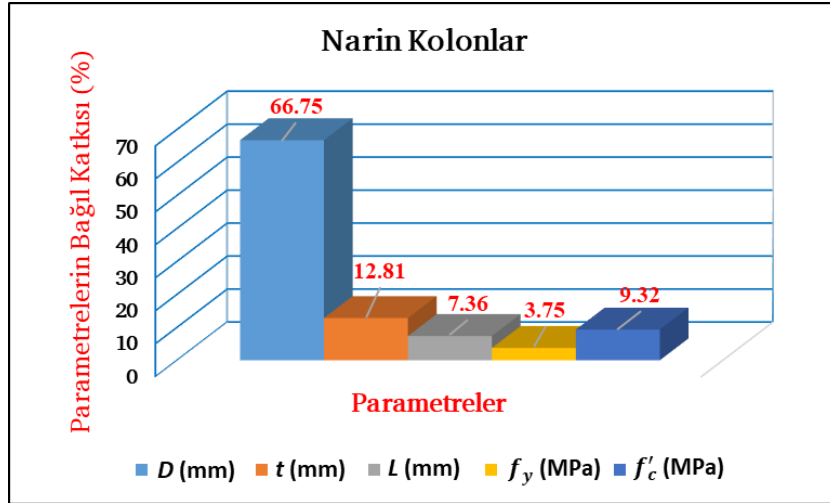
Şekil 6.4d Narin olmayan kolonlar için parametrik çalışma



Şekil 6.4e Narin olmayan kolonlar için parametrik çalışma

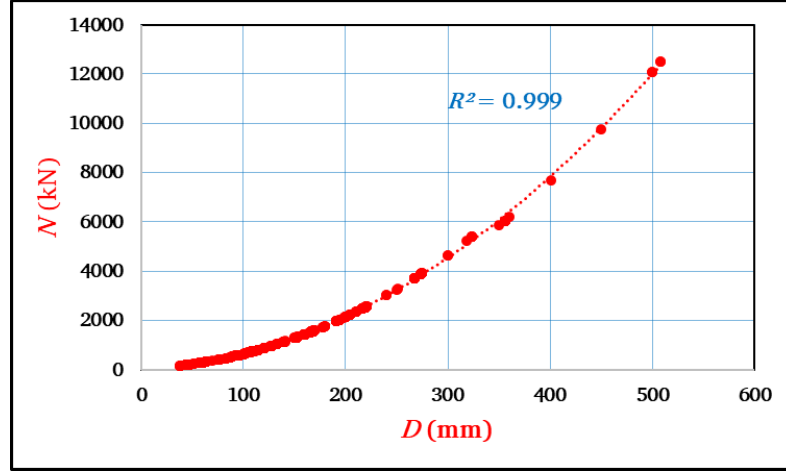
6.3 Narin Kolon Bağıntısı

Şekil 6.5'te narin kolonlara ilişkin duyarlılık analizi sonuçları gösterilmiştir. Şekilde narin kolonlarda %66.75 bağıl katkı oranıyla çelik tüpün çapının (D) kolonun taşıma gücü tahmini üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Narin kolonlarda %3.75 bağıl katkı oranıyla çelik tüpün akma dayanımının (f_y) en düşük etki oranına sahip olduğu gözlenmiştir.

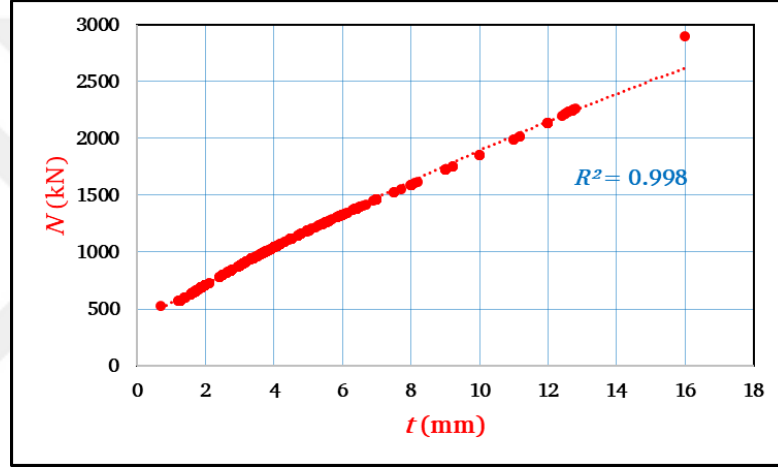


Şekil 6.5 Narin kolonlar için duyarlılık analizi

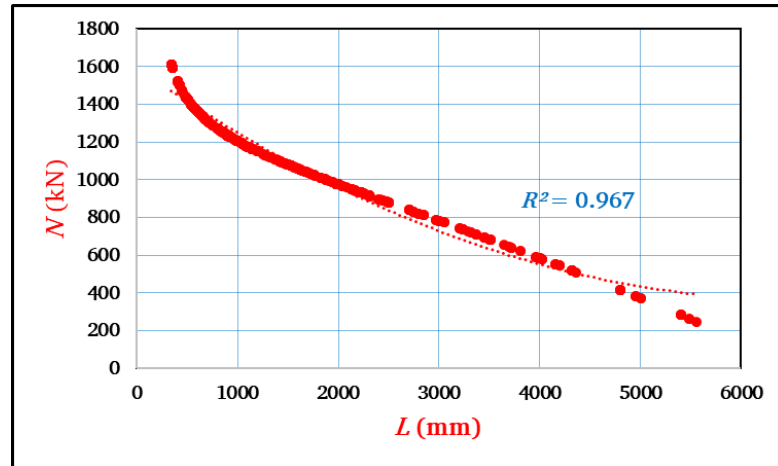
Şekil 6.6'da narin kolonlar bağıntısına ilişkin parametrik çalışmanın sonuçları gösterilmiştir. Değişkenlerin türetilen bağıntı ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



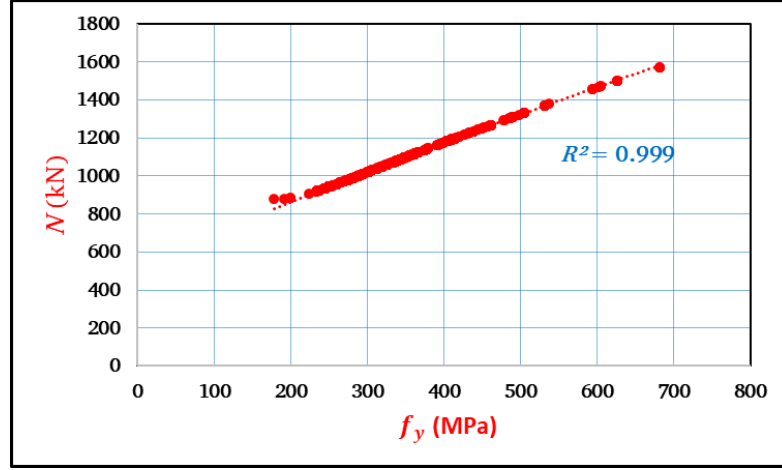
Şekil 6.6a Narin kolonlar için parametrik çalışma



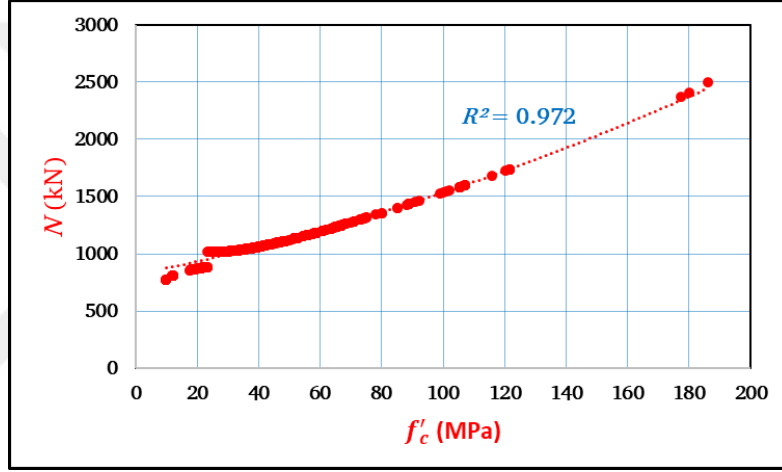
Şekil 6.6b Narin kolonlar için parametrik çalışma



Şekil 6.6c Narin kolonlar için parametrik çalışma



Şekil 6.6d Narin kolonlar için parametrik çalışma



Şekil 6.6e Narin kolonlar için parametrik çalışma

Bu çalışmada eksenel yük etkisindeki dairesel kesitli beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların taşıma gücünün tahmini için Gen İfadesi Programlama (GEP) kullanılarak üç ayrı bağıntı türetilmiştir. Bu tahminler literatürden derlenmiş 1865 adet tüm deney verisi için ve narinlik etkisi göz önüne alınarak 1060 narin olmayan ve 805 narin kolon için ayrı ayrı yapılmıştır. Her üç durum için GEP modeli ile türetilmiş bağıntılarla hesaplanan taşıma gücü değerleri, gerek deneysel sonuçlarla ve gerekse literatürdeki mevcut bağıntıların tahmin sonuçlarıyla istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca her üç durum için türetilen bağıntılardaki parametrelerin etkisini incelemek amacıyla parametrik çalışma ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kolonun taşıma gücünün tahmininde narinlik etkisinin göz önüne alınmadığı bağıntının kullanıldığı durumda tüm deney verisi için yapılan ortalama hata oranı %12.946 iken narin ve narin olmayan kolonlar için ayrı bağıntıların türetildiği durumda %10.879 değerine düşmüştür.
- Narin ve narin olmayan kolonlar için ayrı bağıntıların kullanıldığı durum ile tüm deney verisi için türetilen tek bağıntının kullanıldığı durum karşılaştırıldığında taşıma gücü tahmininde ortalama mutlak yüzde hata oranları, narin olmayan kolonlarda %9.815 den %9.155 değerine, narin kolonlarda ise %17.067' den %13.15 değerine düşmüştür. Dolayısıyla beton doldurulmuş dairesel kesitli çelik tüplü kolonlarda ayrı bağıntıların kullanılmasının özellikle narin kolonların eksenel yük taşıma gücünün daha güvenilir tahmini için gerekli olduğu anlaşılmıştır.
- Tüm kolonlar için GEP modelle türetilen bağıntı ile mevcut bağıntılar karşılaştırıldığında, GEP modele ait bağıntının $R^2 = 0.988$, $Cov = 0.190$, $M = 1.023$, $SD = 0.194$, $MAPE = 12.946$ ve $RMSE = 3362.122$ istatistiksel değerleri ile en duyarlı sonuçları verdiği görülmektedir.

- Narin olmayan kolonlar için GEP modele ait bağıntının $R^2 = 0.994$, $Cov = 0.125$, $M = 0.998$, $SD = 0.125$, $MAPE = 9.155$ ve $RMSE = 305.651$ istatistiksel değerleri; Narin kolonlar için GEP modele ait bağıntının $R^2 = 0.967$, $Cov = 0.181$, $M = 0.124$, $SD = 0.186$, $MAPE = 13.150$ ve $RMSE = 288.759$ değerleri ile mevcut bağıntılar karşılaştırıldığında en duyarlı sonuçları verdiği görülmektedir.
- Yapılan duyarlılık analizi sonucunda bağıntılar içerisinde en etkili parametrenin tüm kolonlarda %86.85, narin olmayan kolonlarda %92.22 ve narin kolonlarda ise %66.75 bağıl katkı ile çelik tüpün çapı (D) olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuç, çelik tüpün çapının diğer tasarım parametrelerine kıyasla çelik tüplü kolonların davranışı üzerinde en etkili parametre olduğunu göstermektedir.
- Bu çalışma, yapısal mühendislikte kullanılan geleneksel yöntemlerin yanı sıra yapay zeka temelli yaklaşımların değerini vurgulamaktadır. GEP gibi genetik ifade programlama yöntemleri, karmaşık yapısal problemlerin analizinde ve tasarımında daha hızlı ve daha hassas sonuçlar elde etmek için potansiyel sunarak, yapısal mühendisliği uygulayıcılarına ve araştırmacılara, beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların taşıma gücünün daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve bu yapı elemanlarının daha güvenli ve etkin bir şekilde tasarlanması için yeni ve gelişmiş analitik yöntemlerin benimsenmesi gerektiği konusunda alternatif sunmaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürden toplanmış veri seti üzerinde yapılan analizlere dayanmaktadır ve bu veri setinin kapsamı belirli deney koşullarına ve parametrelere bağlıdır. Genelleme yapabilmek ve daha geniş bir perspektif sunabilmek için, farklı koşullar altında gerçekleştirilmiş daha geniş veri setlerinin analiz edilmesi gerekmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda, çeşitli deney parametreleri altında elde edilen verilerin dahil edilmesiyle yeni bağıntılar türetilir. Bu sayede, beton doldurulmuş çelik tüplü kolonların taşıma gücünü tahmin etmek için kullanılan bağıntıların daha geniş bir kabul görmesi ve yapı mühendisliği alanında daha güvenilir çözümler sağlanması mümkün olacaktır.

- [1] S. Güler, “Lifli Yüksek Performanslı Beton Doldurulmuş Çelik Tüplerin Mekanik Davranışı,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [2] B.C. Gourley, C. Tort, J.F. Hajjar and P.H. Schiller, “A synopsis of studies of the monotonic and cyclic behavior of concrete-filled steel tube beam-columns,” Structural Engineering Report No. ST-01-4, University of Minnesota, Minnesota, 2001.
- [3] ACI, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-14) An ACI Standard and Report from IHS,” 2014.
- [4] China Building Industry Press GB 50936, “Technical Code for Concrete Filled Steel Tubular Structures,” 2014.
- [5] AISC, “Specification for Structural Steel Buildings Supersedes the Specification for Structural Steel Buildings dated and all previous versions Approved by the Committee on Specifications,” 2016.
- [6] Architectural Institute of Japan (AIJ), “Recommendations for design and construction of concrete filled steel tubular structures,” 1997.
- [7] EN1994-1-1, “Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings,” 2004.
- [8] Standards Australia, “AS/NZS 2327 Composite structures - Composite steel - concrete construction in buildings,” 2017.
- [9] C. Hou and X.G. Zhou, “Strength prediction of circular CFST columns through advanced machine learning methods,” Journal of Building Engineering, vol. 51, 2022.
- [10] K. Klöppel and W. Goder, “Traglastversuche mit ausbetonierten Stahlrohren und Aufstellung einer Bemessungsformel,” Der Stahlbau, vol. 26, no.1, pp. 1–10, 1957.
- [11] H.J. Salani and J.R. Sims, “Behavior of mortar filled steel tubes in compression,” Journal Proceedings, vol. 61, no. 10, pp. 1271-1284, 1964.
- [12] J.C. Chapman and P.K. Neogi, “Research on concrete filled tubular columns,” Engineering Structures Laboratory Reports, Civil Engineering Department, Imperial College, 1964.
- [13] N.J. Gardner and E.R. Jacobson, “Structural behavior of concrete filled steel tubes,” Journal of American Concrete Institute, vol. 64, no. 7, pp. 404–413, 1967.
- [14] R.W. Furlong, “Strength of Steel-Encased Concrete Beam Columns,” Journal of the Structural Division, vol. 93, no. 5, pp. 113–124, 1967.

- [15] R.B. Knowles and R. Park, "Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns," *Journal of the Structural Division*, vol. 95, no. 12, pp. 2565–2588, 1969.
- [16] G.Z. Tang, B.Q. Zhao, H.X. Zhu, and X.M. Shen, "Study on the fundamental structural behaviour of concrete filled steel tubular columns," *Journal of Building Structures, China*, pp. 13–31, 1982.
- [17] C.S.J. Zhanshuan, "Behavior and ultimate strength of short concrete-filled steel tubular columns," *Journal of Building Structures*, vol. 5, no. 6, pp. 13–29, 1984.
- [18] C.Y. Lin, "Axial Capacity of Concrete Infilled Cold-formed Steel Columns," 9th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, 1988.
- [19] B. Kato, "Column Curves of Steel-Concrete Composite Members," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 39, no. 2, pp. 121–135, 1996.
- [20] M.D. O'Shea and R.Q. Bridge, "Tests on circular thin-walled steel tubes filled with medium and high strength concrete," *Australian Civil Engineering Transactions*, vol. 40, pp. 15–27, 1998.
- [21] Lin-Hai Han, "Tests on Concrete Filled Steel Tubular Columns with High Slenderness Ratio," *Advances in Structural Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 337–344, 2000.
- [22] G. Giakoumelis and D. Lam, "Axial capacity of circular concrete-filled tube columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 60, no. 7, pp. 1049–1068, 2004.
- [23] P.K. Gupta, S.M. Sarda, and M.S. Kumar, "Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 63, no. 2, pp. 182–193, 2007.
- [24] Q.Q. Liang and S. Fragomeni, "Nonlinear analysis of circular concrete-filled steel tubular short columns under axial loading," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 65, no. 12, pp. 2186–2196, 2009.
- [25] Z.H. Lu and Y.G. Zhao, "Suggested empirical models for the axial capacity of circular CFT stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 6, pp. 850–862, 2010.
- [26] M.V. Chitawadagi, M.C. Narasimhan, and S.M. Kulkarni, "Axial strength of circular concrete-filled steel tube columns - DOE approach," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 10, pp. 1248–1260, 2010.
- [27] W.L.A. de Oliveira, S. De Nardin, A.L.H. de C. El Debs, and M.K. El Debs, "Evaluation of passive confinement in CFT columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 66, no. 4, pp. 487–495, 2010.
- [28] Y. Bong Kwon, S. Jung Seo, and D. Won Kang, "Prediction of the squash loads of concrete-filled tubular section columns with local buckling," *Thin-Walled Structures*, vol. 49, no. 1, pp. 85–93, 2011.

- [29] M. Dundu, "Compressive strength of circular concrete filled steel tube columns," *Thin-Walled Structures*, vol. 56, pp. 62–70, 2012.
- [30] T. Kefeng and L. Laibao, "Mechanical properties of high strength concrete filled steel tubular columns," *Advanced Materials Research*, vol. 472-475, pp. 1119–1125, 2012.
- [31] F. Abed, M. Alhamaydeh, and S. Abdalla, "Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs)," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 80, pp. 429–439, 2013.
- [32] S. Guler, A.C. Çopur, and M. Aydogan, "Axial capacity and ductility of circular uhpc-filled steel tube columns," *Magazine of Concrete Research*, vol. 65, no. 15, pp. 898–905, 2013.
- [33] Y.F. Yang, K. Cao, and T.Z. Wang, "Experimental behavior of CFST stub columns after being exposed to freezing and thawing," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 89, pp. 7–21, 2013.
- [34] M. Ahmadi, H. Naderpour, and A. Kheyroddin, "Utilization of artificial neural networks to prediction of the capacity of CCFT short columns subject to short term axial load," *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 510–517, 2014.
- [35] Y. Lu, N. Li, S. Li, and H. Liang, "Behavior of steel fiber reinforced concrete-filled steel tube columns under axial compression," *Construction and Building Materials*, vol. 95, pp. 74–85, 2015.
- [36] E.M. Güneyisi, A. Gültekin, and K. Mermerdaş, "Ultimate capacity prediction of axially loaded CFST short columns," *International Journal of Steel Structures*, vol. 16, no. 1, pp. 99–114, 2016.
- [37] T. Ekmekyapar and B.J.M. Al-Eliwi, "Experimental behaviour of circular concrete filled steel tube columns and design specifications," *Thin-Walled Structures*, vol. 105, pp. 220–230, 2016.
- [38] L. Zhu, L. Ma, Y. Bai, S. Li, Q. Song, Y. Wei, L. Zhang, Z. Zhang, X. Sha, "Large diameter concrete-filled high strength steel tubular stub columns under compression," *Thin-Walled Structures*, vol. 108, pp. 12–19, 2016.
- [39] Z.B. Wang, Z. Tao, L.H. Han, B. Uy, D. Lam, and W.H. Kang, "Strength, stiffness and ductility of concrete-filled steel columns under axial compression," *Engineering Structures*, vol. 135, pp. 209–221, 2017.
- [40] Y. Wang, P. Chen, C. Liu, and Y. Zhang, "Size effect of circular concrete-filled steel tubular short columns subjected to axial compression," *Thin-Walled Structures*, vol. 120, pp. 397–407, 2017.
- [41] X. Zhou, T. Mou, H. Tang, and B. Fan, "Experimental Study on Ultrahigh Strength Concrete Filled Steel Tube Short Columns under Axial Load," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2017, 2017.
- [42] S. Chen, R. Zhang, L.J. Jia, J.Y. Wang, and P. Gu, "Structural behavior of UHPC filled steel tube columns under axial loading," *Thin-Walled Structures*, vol. 130, pp. 550–563, 2018.

- [43] Q.X. Ren, K. Zhou, C. Hou, Z. Tao, and L.H. Han, "Dune sand concrete-filled steel tubular (CFST) stub columns under axial compression: Experiments," *Thin-Walled Structures*, vol. 124, pp. 291–302, 2018.
- [44] S. Zhou, Q. Sun, and X. Wu, "Impact of D/t ratio on circular concrete-filled high-strength steel tubular stub columns under axial compression," *Thin-Walled Structures*, vol. 132, pp. 461–474, 2018.
- [45] F.Y. Liao, C. Hou, W.J. Zhang, and J. Ren, "Experimental investigation on sea sand concrete-filled stainless steel tubular stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 155, pp. 46–61, 2019.
- [46] J.B. Yan, X. Dong, and J.S. Zhu, "Compressive behaviours of CFST stub columns at low temperatures relevant to the Arctic environment," *Construction and Building Materials*, vol. 223, pp. 503–519, 2019.
- [47] V.L. Tran, D.K. Thai, and S.E. Kim, "A new empirical formula for prediction of the axial compression capacity of CCFT columns," *Steel and Composite Structures*, vol. 33, no. 2, pp. 181–194, 2019.
- [48] V.L. Tran, D.K. Thai, and D.D. Nguyen, "Practical artificial neural network tool for predicting the axial compression capacity of circular concrete-filled steel tube columns with ultra-high-strength concrete," *Thin-Walled Structures*, vol. 151, 2020.
- [49] M. Zarringol, H.T. Thai, S. Thai, and V. Patel, "Application of ANN to the design of CFST columns," *Structures*, vol. 28, pp. 2203–2220, 2020.
- [50] Y. Cai, A.K.H. Kwan, and L.G. Li, "Circular concrete filled steel tubes made of eco-concrete with limestone fines added as cementitious paste replacement," *Structures*, vol. 28, pp. 69–79, 2020.
- [51] M. Guan, C. Wei, Y. Wang, Z. Lai, Q. Xiao, and H. Du, "Experimental investigation of axial loaded circular steel tube short columns filled with manufactured sand concrete," *Engineering Structures*, vol. 221, 2020.
- [52] J. Wei, X. Luo, Z. Lai, and A.H. Varma, "Experimental Behavior and Design of High-Strength Circular Concrete-Filled Steel Tube Short Columns," *Journal of Structural Engineering*, vol. 146, no. 1, 2020.
- [53] R. Zhang, S. Chen, P. Gu, and Y. Huang, "Structural behavior of UHPC filled steel tubular columns under eccentric loading," *Thin-Walled Structures*, vol. 156, 2020.
- [54] M.Z. Naser, S. Thai, and H.T. Thai, "Evaluating structural response of concrete-filled steel tubular columns through machine learning," *Journal of Building Engineering*, vol. 34, 2021.
- [55] Q.V. Vu, V.H. Truong, and H.T. Thai, "Machine learning-based prediction of CFST columns using gradient tree boosting algorithm," *Composite Structures*, vol. 259, 2021.
- [56] C. Ibañez, D. Hernández-Figueirido, and A. Piquer, "Effect of steel tube thickness on the behaviour of CFST columns: Experimental tests and design assessment," *Engineering Structures*, vol. 230, 2021.

- [57] R. Bhartiya, D.R. Sahoo, and R.M. Oinam, "Cyclic axial stress-strain model for circular CFST columns under compression loading," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 164, 2023.
- [58] A. Doğançün, "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı," Birsen Yayınevi, 2020.
- [59] Y. Huang, "Seismic behavior of concrete filled steel tubular built-up columns," Ph.D. dissertation, University of Trento, Italy, 2015.
- [60] L. H. Han, W. Li, and R. Bjorhovde, "Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 100, pp. 211–228, 2014.
- [61] B.W. Chen, L.H. Han, D.Y. Qin, and W. Li, "Life-cycle based structural performance of long-span CFST hybrid arch bridge: A study on arch of Pingnan Third Bridge," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 207, 2023.
- [62] C.D. Goode and D. Lam, "Concrete-filled steel tube columns-tests compared with Eurocode 4," *Composite Construction in Steel and Concrete*, pp. 317–325, 2011.
- [63] N.J. Gardner, "Use of Spiral Welded Steel Tubes in Pipe Columns," *Journal Proceedings*, vol. 65, no. 11, pp. 937–942, 1968.
- [64] P. Guiaux and J. Janss, "Buckling behaviour of columns made with steel tubes and filled with concrete," *CIDECT Issue*, vol. 70, no. 42, 1970.
- [65] J. Janss and R. Anslijn, "Le calcul de charges ultimes des colonnes metalliques enrobees de beton," C.R.I.F. Report MT89, 1974.
- [66] S. Zhong and Y. Wang, "Mechanical properties and design method of load-carrying capacity of CFST under compression," *Harbin University of Civil Engineering and Architecture*, vol. 1, pp. 1–33, 1978.
- [67] Structural Stability Research Council (SSRC) Task Group 20, "A Specification for the Design of Steel-Concrete Composite Columns," *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction, vol. 16, no. 4, pp. 101–115, 1979.
- [68] S.H. Cai, "A study on basic behavior and strength of concrete filled steel tubular short column," *Structural Institute of China Building Research Academy*, 1984.
- [69] Cai S.H. and Gu W.L., "Behavior and ultimate strength of long concrete-filled steel tubular columns," *Journal of Building Structures*, vol. 6, no. 1, pp. 32–40, 1985.
- [70] K. Sakino, "Sustaining Load Capacity of Plain Concrete Stub Columns Confined by Circular Steel Tube," In *Proceedings of the International Speciality Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures*, pp. 112–118, 1985.
- [71] Z. Wang and S. Yang, "Experimental research of comprehensive strength and comprehensive modulus of elasticity of concrete filled steel tube," In

- Proceedings 1st ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, Harbin, China, pp. 74–80, 1985.
- [72] C. Yuen, X. Fei, X. Zhao and X. Xun-chang, “Experimental research on dynamic behaviour of basic concrete filled steel tubular elements,” In Proceedings 2nd ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, Harbin, China, pp. 137–144, 1988.
 - [73] Y. Pan and J.H. Liang, “The effect of local welding on the behavior of concrete filled steel tubular columns under axial compression,” In Proceedings 2nd ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, Harbin, China, pp. 12–16, 1988.
 - [74] C.D. Goode and R. Narayanan, “Design of concrete filled steel tubes to EC4,” In Proceedings of the ASCCS Seminar on Concrete Filled Steel Tubes - A Comparison of International Codes and Practice, pp. 1–25, 1997.
 - [75] L.K. Luksha and A.P. Nesterovich, “Strength of tubular concrete cylinders under combined loading,” In Proceedings of 3rd International Conference on Steel-Concrete Composite Structures. Fukuoka, Japan, pp. 67–71, 1991.
 - [76] K. Masuo, M. Adachi, K. Kawabata, M. Kobayashi, and M. Konishi, “Buckling behavior of concrete filled circular steel tubular columns using light-weight concrete,” In Proceedings 3rd ASCCS International Conference on Composite Construction, Fukuoka, Japan, pp. 95–100, 1991.
 - [77] K. Sakino, “Behavior of concrete filled steel steel tubular columns under concentric loading,” In Proceedings of the third international conference on steel-concrete composite structures, pp. 25–30, 1991.
 - [78] B. Tsuji, “Axial Compression Behavior of Concrete Filled Circular Steel Tubes,” In Proceedings of the Third International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, pp. 26–29, 1991.
 - [79] W. Gu, S. Cai, and W. Feng, “Research on the behavior and load-carrying capacity of high-strength CFST columns under eccentric loading,” Science of Construction (in Chinese), vol. 3, pp. 8–12, 1993.
 - [80] R. Bergmann, “Load introduction in composite columns filled with high strength concrete,” Tubular structures VI. proceedings of the Sixth international symposium on tubular structures, pp. 373–380, 1994.
 - [81] K. Fuji, “Structural and Ultimate Behavior of Two Types of Mortar Filled Steel Tubes in Compression,” In Proceedings of the Fourth International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, pp. 194–197, Kosice, Slovakia, 1994.
 - [82] J.R. Kenny, D.A. Bruce, and R. Bjorhovde, “Removal of yield stress limitation for composite tubular columns,” Engineering Journal American Institute of Steel Construction, vol. 31, no. 1, pp. 1–11, 1994.
 - [83] A.E. Kilpatrick, “Response of composite columns to applied axial shortening,” In Fourth International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, ASCCS, Kosice, Slovakia, 1994.

- [84] H.G.L. Prion and J. Boehme, "Beam-column behaviour of steel tubes filled with high strength concrete," *Canadian Journal of Civil Engineering*, pp. 207–218, 1994.
- [85] C. Matsui, "Slender Concrete Filled Steel Tubular Columns Combined Compressionsnd Bending, Strutural Steel," *Steel-Concrete Composite Structures*, vol. 3, pp. 29–36, 1995.
- [86] K. Tsuda, C. Matsui and E. Mino, "Strength and behavior of slender concrete filled steel tubular columns," In *Proceeding 5th International Colloquium on Structural Stability*, vol. 489, 1996.
- [87] X.X. Zha, "Theoretical and experimental study on the behaviour effect on concrete-filled steel tubular members subjected to compression-bending-torsion with initial stress in the steel tubes," Harbin University of Civil Eng. and Architecture, Harbin, 1996.
- [88] L.H. Han, "Theoretical analysis and experimental researches for the behaviors high strength concrete-filled steel tubes," *Industrial Construction*, vol. 27, no. 11, pp. 39–44, 1997.
- [89] S.P. Schneider and Associate Member ASCE, "Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes," *Journal of Structural Engineering*, vol. 124, no. 10, pp. 1125–1138, 1998.
- [90] A.E. Kilpatrick and B.V. Rangan, "Tests on High-Strength Concrete-Filled Steel Tubular Columns," *Structural Journal*, vol. 96, no. 2, pp. 268–274, 1999.
- [91] S. Zhong, "High-rise buildings of concrete filled steel tubular structures," Science and Technology Publishing House, PR China, 1999.
- [92] M.D. O'Shea and R.Q. Bridge, "Design of Circular Thin-Walled Concrete Filled Steel," *Journal of Structural Engineering*, vol. 126, no. 11, pp. 1295–1303, 2000.
- [93] M. Elchalakani, X.L. Zhao, and R.H. Grzebieta, "Concrete-filled circular steel tubes subjected to pure bending," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 57, no. 11, pp. 1141–1168, 2001.
- [94] T. Yamamoto, J. Kawaguchi, and S. Morino, "Experimental Study of Scale Effects on the Compressive Behavior of Short Concrete-Filled Steel Tube Columns," *Composite Construction in Steel and Concrete IV*, pp. 879–890, 2002.
- [95] M. Johansson and K. Gylltoft, "Mechanical Behavior of Circular Steel–Concrete Composite Stub Columns," *Journal of Structural Engineering*, vol. 128, no. 8, pp. 1073–1081, 2002.
- [96] University of Bradford, "ASCCS composite columns database," Bradford, England.
- [97] C. Bao-chun, W. Lai-yong, OU. Zhi-jing, and H. Lin-hai, "Experimental study of stress-stain relation of eccentrically-loaded concrete-filled steel tubular columns," *Engineering Mechanics*, vol. 20, no. 6, pp. 154–159, 2003.

- [98] Chen B. and Hikosaka H., "Eccentricity ratio effect on the behavior of eccentrically loaded CFST columns," In Proceedings ASSCCA'03 International Conference Advances in Structures (ASCCS7), Sydney, Australia, pp. 973–978, 2003.
- [99] S.R. Gopal and P.D. Manoharan, "Structural behavior of slender columns infilled with fibre reinforced concrete," In. Proceedings ASSCCA'03 International Conference Advances in Structures (ASCCS-7), Sydney, Australia, pp. 871–875, 2003.
- [100] L.H. Han and G.H. Yao, "Behaviour of concrete-filled hollow structural steel (HSS) columns with pre-load on the steel tubes," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 59, no. 12, pp. 1455–1475, 2003.
- [101] K. Uenaka, H. Kitoh, K. Sonoda, and M. Hayami, "Experimental Study on Concrete Filled Double Tubular Steel Column under Axial Loading," *Advances in Structures*, pp. 877–882, 2003.
- [102] Y.Y. Wang and S.M. Zhang, "Individual behavior of steel tube and concrete in CFST stub columns subjected to axial compression," *Journal of Harbin Institute of Technology*, vol. 35, pp. 31–34, 2003.
- [103] D. Belete, "A Database on Concrete Filled Steel Tube Columns" Master of Science Thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia, 2016.
- [104] S. Ghannam, Y.A. Jawad, and Y. Hunaiti, "Failure of lightweight aggregate concrete-filled steel tubular columns," *Steel and Composite Structures/An International Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2004.
- [105] L.H. Han and G.H. Yao, "Experimental behaviour of thin-walled hollow structural steel (HSS) columns filled with self-consolidating concrete (SCC)," *Thin-Walled Structures*, vol. 42, no. 9, pp. 1357–1377, 2004.
- [106] K. Sakino, H. Nakahara, S. Morino, and I. Nishiyama, "Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns," *Journal of Structural Engineering*, vol. 130, no. 2, pp. 180–188, 2004.
- [107] L.H. Han, G.H. Yao, and X.L. Zhao, "Tests and calculations for hollow structural steel (HSS) stub columns filled with self-consolidating concrete (SCC)," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 61, no. 9, pp. 1241–1269, 2005.
- [108] J. Zeghiche and K. Chaoui, "An experimental behaviour of concrete-filled steel tubular columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 61, no. 1, pp. 53–66, 2005.
- [109] M.N. Baig, F. Jiansheng, and N. Jianguo, "Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns," *Tsinghua Science and Technology*, vol. 11, no. 6, 2006.
- [110] Z. Yu, F. Ding, and C.S. Cai, "Experimental behavior of circular concrete-filled steel tube stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 63, no. 2, pp. 165–174, 2007.
- [111] S. Zhang, J. Liu, L. Ma, and T. Xing, "Axial compression test and analysis of circular tube confined HSC stub columns.," *Tumu Gongcheng Xuebao(China Civil Engineering Journal)*, vol. 40, no. 3, pp. 24–31, 2007.

- [112] Q. Yu, Z. Tao, and Y.X. Wu, "Experimental behaviour of high performance concrete-filled steel tubular columns," *Thin-Walled Structures*, vol. 46, no. 4, pp. 362–370, 2008.
- [113] A.T. Beck, W.L.A. de Oliveira, S. De Nardim, and A.L.H.C. ElDebs, "Reliability-based evaluation of design code provisions for circular concrete-filled steel columns," *Engineering Structures*, vol. 31, no. 10, pp. 2299–2308, 2009.
- [114] J.W. Park, Y.K. Hong, G.S. Hong, and S.M. Choi, "Experimental Study on Concrete Steel Circular Tubes Confined by Carbon Fiber Sheet under Axial Compression Loads," *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, vol. 13, no. 5, pp. 61–71, 2009.
- [115] T. Perea, R.T. Leon, M.D. Denavit, and J.F. Hajjar, "Experimental tests on cyclic beam-column interaction strength of concrete-filled steel tubes," *Proceedings of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, Toronto, Canada, 2010.
- [116] Y.M. Hu, T. Yu, and J.G. Teng, "FRP-Confined Circular Concrete-Filled Thin Steel Tubes under Axial Compression," *Journal of Composites for Construction*, vol. 15, no. 5, pp. 850–860, 2011.
- [117] S.H. Lee, B. Uy, S.H. Kim, Y.H. Choi, and S.M. Choi, "Behavior of high-strength circular concrete-filled steel tubular (CFST) column under eccentric loading," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, no. 1, pp. 1–13, 2011.
- [118] F.Y. Liao, L.H. Han, and S.H. He, "Behavior of CFST short column and beam with initial concrete imperfection: Experiments," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, no. 12, pp. 1922–1935, 2011.
- [119] Y. Che, Q.L. Wang, and Y.B. Shao, "Compressive performances of the concrete filled circular CFRP-steel tube (C-CFRP-CFST)," *Advanced Steel Construction*, vol. 8, no. 4, pp. 331–35, 2012.
- [120] J.Q. Xue, B. Briseghella, and B.C. Chen, "Effects of debonding on circular CFST stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 69, no. 1, pp. 64–76, 2012.
- [121] Y.F. Yang and L.H. Han, "Concrete filled steel tube (CFST) columns subjected to concentrically partial compression," *Thin-Walled Structures*, vol. 50, no. 1, pp. 147–156, 2012.
- [122] X. Chang, L. Fu, H.B. Zhao, and Y. Bin Zhang, "Behaviors of axially loaded circular concrete-filled steel tube (CFT) stub columns with notch in steel tubes," *Thin-Walled Structures*, vol. 73, pp. 273–280, 2013.
- [123] J.C.M. Ho and M.H. Lai, "Behaviour of uni-axially loaded CFST columns confined by tie bars," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 83, pp. 37–50, 2013.
- [124] J.M. Portolés, E. Serra, and M.L. Romero, "Influence of ultra-high strength infill in slender concrete-filled steel tubular columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 86, pp. 107–114, 2013.

- [125] Y. Lu, N. Li, and S. Li, "Behavior of FRP-confined concrete-filled steel tube columns," *Polymers (Basel)*, vol. 6, no. 5, pp. 1333–1349, 2014.
- [126] Q.X. Ren, L.H. Han, D. Lam, and C. Hou, "Experiments on special-shaped CFST stub columns under axial compression," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 98, pp. 123–133, 2014.
- [127] W.H. Wang, L.H. Han, W. Li, and Y.H. Jia, "Behavior of concrete-filled steel tubular stub columns and beams using dune sand as part of fine aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp. 352–363, 2014.
- [128] Y. Wei, G. Wu, and G. Li, "Performance of circular concrete-filled fiber-reinforced polymer-steel composite tube columns under axial compression," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 33, no. 20, pp. 1911–1928, 2014.
- [129] H.C. Niu and W.L. Cao, "Full-scale testing of high-strength RACFST columns subjected to axial compression," *Magazine of Concrete Research*, vol. 67, no. 5, pp. 257–270, 2015.
- [130] Y.J. Li, L.H. Han, W. Xu, and Z. Tao, "Circular concrete-encased concrete-filled steel tube (CFST) stub columns subjected to axial compression," *Magazine of Concrete Research*, vol. 68, no. 19, pp. 995–1010, 2016.
- [131] Y. Ye, L.H. Han, T. Sheehan, and Z.X. Guo, "Concrete-filled bimetallic tubes under axial compression: Experimental investigation," *Thin-Walled Structures*, vol. 108, pp. 321–332, 2016.
- [132] M.L. Romero, C. Ibañez, A. Espinos, J.M. Portolés, and A. Hospitaler, "Influence of Ultra-high Strength Concrete on Circular Concrete-filled Dual Steel Columns," *Structures*, vol. 9, pp. 13–20, 2017.
- [133] W. Wang, H. Ma, Z. Li, and Z. Tang, "Size effect in circular concrete-filled steel tubes with different diameter-to-thickness ratios under axial compression," *Engineering Structures*, vol. 151, pp. 554–567, 2017.
- [134] M.X. Xiong, D.X. Xiong, and J.Y.R. Liew, "Axial performance of short concrete filled steel tubes with high- and ultra-high- strength materials," *Engineering Structures*, vol. 136, pp. 494–510, 2017.
- [135] F. Ding, D. Lu, Y. Bai, Y. Gong, Z. Yu, M. Ni, W. Li, "Behaviour of CFRP-confined concrete-filled circular steel tube stub columns under axial loading," *Thin-Walled Structures*, vol. 125, pp. 107–118, 2018.
- [136] C. Ibañez, D. Hernández-Figueirido, and A. Piquer, "Shape effect on axially loaded high strength CFST stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 147, pp. 247–256, 2018.
- [137] P. Li, T. Zhang, and C. Wang, "Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, 2018.
- [138] S. Lin, Y.G. Zhao, and L. He, "Stress paths of confined concrete in axially loaded circular concrete-filled steel tube stub columns," *Engineering Structures*, vol. 173, pp. 1019–1028, 2018.

- [139] J.P. Liu, T.X. Xu, Y.H. Wang, and Y. Guo, "Axial behaviour of circular steel tubed concrete stub columns confined by CFRP materials," *Construction and Building Materials*, vol. 168, pp. 221–231, 2018.
- [140] L. Na, L. Yiyan, L. Shan, and L. Lan, "Slenderness effects on concrete-filled steel tube columns confined with CFRP," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 143, pp. 110–118, 2018.
- [141] L. Xu, P. Zhou, Y. Chi, L. Huang, J. Ye, and M. Yu, "Performance of the high-strength self-stressing and self-compacting concrete-filled steel tube columns subjected to the uniaxial compression," *International Journal of Civil Engineering*, vol. 16, pp. 1069–1083, 2018.
- [142] J.Y. Zhu and T.M. Chan, "Experimental investigation on octagonal concrete filled steel stub columns under uniaxial compression," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 147, pp. 457–467, 2018.
- [143] S.K. Alrebeh and T. Ekmekyapar, "Structural behavior of concrete-filled steel tube short columns stiffened by external and internal continuous spirals," *Structures*, vol. 22, pp. 98–108, 2019.
- [144] V.W.Y. Tam, J. Xiao, S. Liu, and Z. Chen, "Behaviors of recycled aggregate concrete-filled steel tubular columns under eccentric loadings," *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 628–639, 2019.
- [145] A. He and O. Zhao, "Experimental and numerical investigations of concrete-filled stainless steel tube stub columns under axial partial compression," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 158, pp. 405–416, 2019.
- [146] S. Ahmad, A. Kumar, and K. Kumar, "Axial performance of GGBFS concrete filled steel tubes," *Structures*, vol. 23, pp. 539–550, 2020.
- [147] S. Gao, Z. Peng, L. Guo, F. Fu, and Y. Wang, "Compressive behavior of circular concrete-filled steel tubular columns under freeze-thaw cycles," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 166, 2020.
- [148] M. Su, Y. Cai, X. Chen, and B. Young, "Behaviour of concrete-filled cold-formed high strength steel circular stub columns," *Thin-Walled Structures*, vol. 157, 2020.
- [149] H. Tang, J. Chen, L. Fan, X. Sun, and C. Peng, "Experimental investigation of FRP-confined concrete-filled stainless steel tube stub columns under axial compression," *Thin-Walled Structures*, vol. 146, 2020.
- [150] J.B. Yan, T. Wang, and X. Dong, "Compressive behaviours of circular concrete-filled steel tubes exposed to low-temperature environment," *Construction and Building Materials*, vol. 245, 2020.
- [151] M.X. Xiong, Z.H. Lan, G.M. Chen, Y.C. Lu, and Z. Xu, "Behavior of FRP-HSC-steel tubular columns under axial compression: A comparative study," *Composite Structures*, vol. 261, 2021.
- [152] Y. Yan, H. Liang, Y. Lu, and Y. Huang, "Behaviour of concrete-filled steel-tube columns strengthened with high-strength CFRP textile grid-reinforced high-ductility engineered cementitious composites," *Construction and Building Materials*, vol. 269, 2021.

- [153] J.J. Zeng, Y.W. Zheng, F. Liu, Y.C. Guo, and C. Hou, "Behavior of FRP Ring-Confined CFST columns under axial compression," *Composite Structures*, vol. 257, 2021.
- [154] L. Ma, C. Zhou, D. Lee, and J. Zhang, "Prediction of axial compressive capacity of CFRP-confined concrete-filled steel tubular short columns based on XGBoost algorithm," *Engineering Structures*, vol. 260, 2022.
- [155] C. Ferreira, "Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems," *Complex Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 87–129, 2001.
- [156] C. Ferreira, "Gene Expression Programming in Problem Solving," *Soft Computing and Industry*, pp. 635-653, 2001.
- [157] GeneXproTools, "Gepsoft GeneXproTools - Veri Modelleme ve Analiz Yazılımı." 2023, Available: <https://www.gepsoft.com/>
- [158] M.F. Javed, M.N. Amin, M.I. Shah, K. Khan, B. Iftikhar, F. Farooq, F. Aslam, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, "Applications of gene expression programming and regression techniques for estimating compressive strength of bagasse ash-based concrete," *Crystals (Basel)*, vol. 10, no. 9, pp. 1–17, 2020.

DAİRESEL KESİTLİ BETON DOLGULU ÇELİK TÜPLÜ KOLON DENEY VERİLERİ

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Klöppel ve Goder [10] (1957)	8.68	121	5.46	1050	336	24.6	1099
	8.68	121	5.46	1050	327	24.6	1079
	8.68	121	5.41	1050	348	21.4	1018
	8.68	121	5.61	1050	349	21.4	998
	8.68	121	3.99	1050	332	24.6	867
	8.68	121	3.76	1050	313	24.6	837
	8.68	121	3.73	1050	333	21.4	746
	8.68	121	3.66	1050	300	21.4	695
	9.05	95	12.70	860	277	20.6	1034
	9.05	95	12.60	860	279	20.6	1018
	9.05	95	12.70	860	277	20.6	1008
	9.05	95	3.68	860	392	25.3	686
	9.05	95	3.40	860	340	25.3	656
	9.05	95	3.66	860	332	25.3	656
	10.28	216	6.30	2220	411	30.2	2932
	10.28	216	6.50	2220	300	30.2	2804
	10.28	216	6.05	2220	395	23.2	2462
	10.28	216	5.97	2220	399	23.2	2421
	10.28	216	4.04	2220	293	30.2	2289
	10.28	216	4.11	2220	291	30.2	2239
	10.28	216	4.11	2220	304	23.2	1834
	10.28	216	4.06	2220	289	23.2	1023
	14.95	95	12.50	1420	279	20.6	947
	14.95	95	12.75	1420	277	20.6	938
	14.95	95	12.40	1420	277	20.6	907
	14.95	95	3.91	1420	392	25.3	606
	14.95	95	3.58	1420	340	25.3	576
	14.95	95	3.86	1420	332	25.3	567
	19.09	121	5.64	2310	336	24.6	874
	19.09	121	5.44	2310	327	24.6	865
	19.09	121	5.49	2310	348	21.4	816
	19.09	121	5.69	2310	349	21.4	786
	19.09	121	3.86	2310	332	24.6	755
	19.09	121	3.71	2310	313	24.6	695
	19.09	121	3.71	2310	300	21.4	641
	19.09	121	3.76	2310	333	21.4	629
	20.84	95	12.60	1980	294	20.6	917
	20.84	95	12.50	1980	280	20.6	907
	20.84	95	12.80	1980	283	20.6	886
	20.84	95	3.78	1980	392	25.3	567
	20.84	95	3.76	1980	332	25.3	536
	20.84	95	3.86	1980	337	24.4	498

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	20.84	95	3.51	1980	340	25.3	488
	20.84	95	3.58	1980	360	24.4	473
	20.84	95	3.40	1980	343	24.4	473
	20.84	95	3.73	1980	332	24.4	413
Salani ve Sims [11] (1964)	20	76.2	1.65	1524	532	27.7	320.30
	20	76.2	1.65	1524	532	27.4	245.10
	20	76.2	1.65	1524	532	27.4	226.40
	21.80	69.9	1.24	1524	532	28.3	230.90
	30	50.8	1.65	1524	532	28.3	120.50
	30	50.8	1.65	1524	532	21.6	115.20
	30	50.8	1.65	1524	532	21.6	114.30
	40	38.1	2.77	1524	532	17.93	120.99
	40	38.1	2.77	1524	532	27.82	112.98
	40	38.1	2.77	1524	532	17.93	107.65
	40	38.1	2.77	1524	532	27.82	106.76
	40	38.1	2.77	1524	532	17.93	106.76
Chapman ve Neogi [12] (1966)	2.89	140.4	4.93	406	302	33.2	1824
	2.89	140.4	4.93	406	293	33.2	1824
	2.90	140.1	9.68	406	273	32.6	2949
	2.90	140.1	9.68	406	270	32.6	2949
	4.83	168.4	4.52	813	302	43.8	2233
	4.83	168.3	4.47	813	302	23.4	1744
	4.83	168.2	4.52	813	302	43.8	2113
	4.83	168.2	4.52	813	302	31.9	2006
	5.29	355.6	11.18	1880	361	38.6	11460
	5.29	355.6	11.18	1880	361	33.3	10710
	5.29	355.6	4.72	1880	281	21.3	3517
	5.59	127.3	1.63	711	376	67.2	1285
	5.59	127.3	1.63	711	334	67.2	1285
	5.59	127.1	2.95	711	376	67.2	1305
	5.59	127.1	2.95	711	334	67.2	1305
	5.86	355.6	7.98	2083	361	23.8	7433
Gardener ve Jacobson [13] (1967)	1.99	76.45	1.68	152.35	363.28	40.89	434.59
	1.99	76.43	1.70	152.35	363.28	24.96	355.86
	1.99	76.45	1.70	152.40	363.28	33.30	433.26
	1.99	76.43	1.70	152.37	363.28	25.92	372.32
	1.99	76.45	1.73	152.48	363.28	33.30	434.59
	2	152.63	3.18	304.80	415.13	20.89	1201.02
	2	120.83	4.06	241.33	451.61	34.40	1201.02
	2	120.83	4.09	241.35	451.61	25.92	1112.06
	2	120.80	4.09	241.35	451.61	29.58	1201.02
	2	152.60	3.15	304.93	415.13	23.10	1201.02
	2	152.58	4.93	304.90	633.42	41.99	2909.14
	2	152.55	4.90	304.88	633.42	43.44	2913.59
	2	101.70	3.07	203.25	605.08	31.16	1067.57
	2	101.70	3.07	203.28	605.08	34.13	1112.06
	7.97	76.48	1.73	609.45	363.28	25.92	330.28
	7.98	76.43	1.73	609.55	363.28	40.89	411.46
	8.69	120.83	4.09	1050.04	451.61	29.58	1092.71

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	8.69	120.83	4.09	1050.04	451.61	25.92	949.70
	8.70	120.65	4.09	1050.04	451.61	34.40	1156.54
	10.98	152.70	3.15	1676.40	415.13	23.10	880.75
	10.99	152.60	3.15	1676.40	415.13	20.89	938.57
	14.98	101.73	3.10	1524	605.08	31.16	800.68
	14.99	101.68	3.07	1524	605.08	34.13	818.47
	19.93	76.48	1.70	1524	363.28	24.96	244.65
Furlong [14] (1967)	6	152.4	1.55	914	336	26.3	733
	6	152.4	1.55	914	336	26.3	721
	6	152.4	1.55	914	336	21.4	682
	7.2	127	2.41	914	294	35.6	658
	7.2	127	2.41	914	294	35.6	627
	7.2	127	2.41	914	294	35.6	623
	8	114.3	3.18	914	420	29.4	756
Gardner [63] (1968)	8	114.3	3.18	914	420	29.4	712
	1.80	169.3	2.62	305	338.1	34.1	1330
	1.80	169.3	2.62	305	338.1	37.1	1308
	1.81	168.8	5	305	200.2	27.9	1984
	1.81	168.8	5	305	200.2	27.9	1984
	1.81	168.8	5	305	200.2	33.4	1970
	1.81	168.8	5	305	200.2	33.4	1966
	1.81	168.8	2.64	305	302.4	18.2	1326
	1.81	168.8	2.64	305	302.4	34.7	1219
	1.81	168.3	3.6	305	288.4	27.0	1557
	1.81	168.3	3.6	305	288.4	33.3	1463
	1.81	168.3	3.6	305	288.4	33.3	1432
	10.81	169.3	2.62	1830	338.1	37.1	756
	10.81	169.3	2.62	1830	338.1	34.1	689
	10.84	168.8	2.64	1830	200.2	34.7	916
	10.84	168.8	2.64	1830	200.2	18.2	823
	12.65	168.8	5	2135	302.4	27.8	1165
	12.65	168.8	5	2135	302.4	33.4	1130
	12.69	168.3	3.6	2135	288.4	33.3	1050
	12.69	168.3	3.6	2135	288.4	27.0	947
Knowles ve Park [15] (1969)	5.71	88.90	5.84	508	406	41.5	991.90
	5.71	88.90	5.84	508	406	41.5	889.60
	6.15	82.55	1.40	508	490	41.5	489.30
	9.15	88.90	5.84	813	406	41.5	918.50
	9.85	82.55	1.40	813	490	41.5	400.30
	12.58	88.90	5.84	1118	406	41.5	715.20
	13.54	82.55	1.40	1118	490	41.5	355.80
	16	88.90	5.84	1422	406	41.5	711.70
	17.23	82.55	1.40	1422	490	41.5	294.50
	19.43	88.90	5.84	1727	406	41.5	614.70
Guiaux ve Janss [64] (1970)	20.92	82.55	1.40	1727	490	41.5	224.60
	4.29	219.25	6.05	941.50	302.04	29.66	2804.70
	4.31	218.50	6.38	941.50	302.04	29.66	2745.86
	4.32	218.25	6.50	943	302.04	29.66	2755.67
	5.27	95.50	3.75	503.75	281.45	33.73	632.53

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	5.29	95.50	3.725	505	281.45	33.73	666.85
	5.29	95.25	3.725	504	281.45	33.73	637.43
	10.10	218.25	6.30	2204	302.05	29.66	2412.44
	10.41	95.25	3.55	992	281.45	33.73	507
	10.45	95.50	3.70	997.5	281.45	33.73	524.66
	10.45	95.25	3.675	995	281.45	33.73	534.46
	15.05	218.25	6.45	3285	302.05	33.73	2064.30
	15.38	95.50	3.75	1469	281.45	33.73	444.24
	15.40	95.25	3.725	1466.75	281.45	33.73	441.30
	15.45	95	3.70	1468	281.45	33.73	495.24
	20	218.25	6.05	4346	302.05	31.46	1716.16
	20.34	95.50	3.725	1942.5	281.45	29.66	362.85
	20.39	95.25	3.775	1942	281.45	29.66	406.98
	20.40	95.25	3.775	1943.25	281.45	29.66	406.98
	29.78	95.50	3.825	2844	281.45	33.73	291.26
	29.86	95.25	3.70	2844	281.45	33.73	281.45
	29.86	95.25	3.775	2844	281.45	33.73	279.49
	45.24	95.50	3.625	4320	281.45	31.46	140.24
	45.35	95.25	3.70	4320	281.45	31.46	154.95
	45.45	95	3.80	4318	281.45	31.46	202.02
Janss ve Ansjin [65] (1974)	2.94	406	5	1194	356	35	7695
	2.98	406	5	1209	356	36	7450
	3.92	406	5	1590	356	35	7549
	3.99	406	5	1621	356	38	7549
	4.20	356	7.7	1496	321	28	7186
	4.21	356	8.2	1499	321	28	6813
	4.22	356	8.1	1504	321	28	7059
	5.18	275	9	1425	626	28	8137
	5.20	275	9	1430	626	28	8186
	5.24	275	9	1440	626	28	8382
	5.24	275	9	1440	626	28	8039
	5.41	275	9	1488	626	28	8233
	5.42	275	9	1491	626	28	8235
Zhong ve Wang [66] (1978)	2.22	108	4.5	240	409.64	28.60	1244.60
	2.22	108	4.5	240	409.64	28.60	1234.80
	2.64	108	4.5	285	409.64	28.60	1254.40
	2.69	108	4.5	290	409.64	28.60	1225
	3	108	4.6	326	271.90	30.70	757
	3.15	108	4.5	340	409.64	28.60	1161.30
	3.52	108	4.5	380	409.64	28.60	1210.30
	3.52	108	4.5	380	409.64	28.60	1166.20
	3.70	108	4.5	400	409.64	28.60	1871.80
	4.12	108	4.5	445	409.64	28.60	970.20
	4.49	108	4.5	485	409.64	28.60	1205.40
	5	108	4	540	332.02	40.40	835.90
	6	140	5	840	178.28	51	1705.20
	6	152	7	912	238.22	42.90	1693.40
	6	140	5	840	378.28	45.10	1685.60
	6	140	5	840	378.28	45.10	1667

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	6	140	5	840	378.28	31.60	1391.60
	6	140	5.5	840	333.20	42.90	1379.80
	6	140	5	840	378.28	23.10	1283.80
	6	100	2.5	600	244.02	43.40	686
	6	100	2	600	236.18	36.70	558.60
	6	100	4	600	236.18	36.70	512.50
	7	108	2	756	337.61	36.30	785
	7.95	210	2.5	1670	235.20	27.70	1323
	8.66	121	4.8	1048	449.82	33.90	1146.60
	8.66	121	4.8	1048	449.82	29.10	1078
	8.66	121	4.8	1048	449.82	25.60	940.80
	8.68	121	6	1050	325.85	26.50	1088.80
	8.68	121	6	1050	349.37	22.20	1007.40
	8.68	121	4	1050	317.03	26.50	851.60
	8.68	121	4	1050	311.15	22.20	702.70
	8.98	108	4.5	970	259.70	32.20	740.90
	9	108	4	972	337.61	34.50	737
	9	100	2	900	236.18	43.40	587
	9.05	95	3.5	860	348.88	26.20	665.40
	10	500	11	5000	253.20	47	12838
	10	500	11	5000	235.20	43.70	11838.40
	10	240	12	2400	191.79	54.50	3900.40
	10.19	106	3.5	1080	259.70	28.10	559.60
	10.28	216	6	2220	379.26	31.40	2865.50
	10.28	216	6	2220	391.02	24.10	2440.20
	10.28	216	4	2220	287.14	31.40	2261.80
	10.28	216	4	2220	289.39	24.10	1868.90
	10.37	164	6	1700	356.82	31.50	1633.70
	10.38	104	2.5	1080	259.70	28.10	433.20
	10.80	100	4.5	1080	259.70	28.10	743.80
	10.91	220	10	2400	224.22	36.60	1729.30
	10.97	153	3.2	1679	413.56	21.80	901.60
	11	108	4	1188	327.12	35	686
	13	108	4	1404	332.02	34.10	686
	13.19	318.50	6.9	4200	301.84	47	5494.90
	14.95	95	3.5	1420	348.88	26.20	582.10
	15	108	4	1620	351.23	34.10	637
	15.15	101	3.4	1530	602.70	32.20	802.60
SSRC Task group 20 [67] (1979)	8.68	120.90	5.53	1050	343	24.20	1090
	8.68	120.90	5.53	1050	343	21.10	1010
	8.68	120.90	3.76	1050	312	21.10	721
	10.28	215.90	6	2220	350	30	2869
	10.28	215.90	6	2220	392	22.90	2442
	10.28	215.90	4.09	2220	292	30	2264
	10.28	215.90	4.09	2220	292	22.90	1650
	14.42	95	3.65	1370	350	25	667
	14.95	95	3.65	1420	350	25	583
	19.11	120.90	3.76	2310	312	21.10	636
	20.84	95	3.65	1980	350	25	529

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Tang vd. [16] (1982)	2	101.50	3.4	203	602.70	32.68	1080
	2	76.50	1.7	153	361.60	24.37	344
	2.10	153	3.2	322	413.60	21.54	1191
	2.62	106	3	278	298.90	43.21	848
	3	210	2.5	630	237.20	27.82	1637
	3	210	2.5	630	237.20	26.56	1637
	3	210	2.5	630	237.20	26.56	1637
	3	108	4	324	332	41.17	970
	3	108	4	324	332	39.23	970
	3	108	4.5	324	259.70	20.22	931
	3	108	4.2	324	259.70	20.54	916
	3	100	2.5	300	433.20	48.35	828
	3	100	2.5	300	433.20	45.77	828
	3	100	3	300	426.30	35.17	777
	3	100	2.5	300	244	36.19	670
	3	100	2.5	300	244	34.85	670
	3	92	3	276	260.70	23.37	538
	3	92	3	276	260.70	20.71	538
	3	100	2	300	236.20	36.19	537
	3	100	2	300	236.20	34.85	537
	3	100	1.5	300	232.30	36.19	505
	3	100	1.5	1000	232.30	34.85	505
	3.33	300	3	1000	274.40	28.72	3420
	3.33	300	3	1000	266.90	24.12	3038
	3.33	300	3	1000	274.40	9.90	2636
	3.94	106	3	418	298.90	36.14	736
	4.65	200	2	930	237.20	24.24	1411
	4.78	180	3	860	233.20	24.24	1352
	4.95	210	3	1040	233.20	27.07	1705
	4.95	210	2.5	1040	237.20	27.07	1607
	4.95	210	2.5	1040	237.20	27.07	1607
	5	108	4	540	327.10	39.23	836
	5	92	3	460	260.70	20.71	501
	5.04	104	2	524	344	32.65	540
	5.05	105	2.5	530	344	35.65	613
	5.06	106	3	536	344	33.47	674
	5.07	107	4	542	379.80	31.87	889
	5.07	107	3.5	542	379.80	31.87	835
	5.07	108	5	548	379.80	33.5	1084
	5.07	108	4.5	548	344	33.5	917
	5.92	250	7	1480	243	46.57	4116
	6	240	10	1480	269	49.80	5135
	6	140	5.3	840	378.30	51.50	1664
	6	140	5	840	378.30	42.25	1539
	6	140	5	840	378.30	34.92	1501
	6	160	2.5	960	433.20	32.22	1426
	6	140	5	840	378.30	30.58	1379
	6	140	5.3	840	378.30	21.86	1326
	6	140	3	840	426.30	33.06	1208

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	6	140	2.5	840	433.20	38.88	1124
	6	100	2.5	600	433.20	45.77	750
	6	100	3	600	426.30	29.13	723
	6	108	4.2	648	259.70	20.54	722
	6	108	4.5	648	259.70	20.22	665
	6.27	166	5	1040	288.10	54.33	1862
	6.27	166	5	1040	288.10	55.65	1852
	6.27	166	5	1040	288.10	43.89	1764
	6.27	166	5	1040	288.10	44.11	1695
	6.27	166	5	1040	288.10	37.75	1627
	6.27	166	5	1040	288.10	29.72	1495
	6.27	166	5	1040	288.10	23	1392
	6.27	166	5	1040	288.10	26.73	1372
	7	108	4	756	337.60	35.33	785
	7.95	210	2.5	1670	237.20	26.56	1323
	9	108	4	972	337.60	33.54	736
	9	108	4.5	972	259.70	20.22	666
	9	108	4.2	972	259.70	22.84	640
	10	92	3	920	260.70	20.71	431
	11	108	4	1188	327.10	34.03	686
	12	108	4.5	1296	259.70	20.22	563
	13	108	4	1404	332	33.15	686
	15	108	4	1620	347.70	33.15	672
	15	108	4.5	1620	259.70	20.22	524
	15	92	3	1380	260.70	20.71	409
	18.46	108	4.5	1994	259.70	20.22	495
Zhanshuan ve Cai [17] (1984)	0.81	320	7	260	250.07	42.36	7913.97
	1.38	320	7	440	250.07	42.36	5903.60
	1.63	320	7	520	250.07	42.36	6384.13
	1.63	320	7	520	250.07	42.36	5893.80
	1.65	121	12	200	294.20	12.55	2843.93
	1.65	121	12	200	294.20	12.55	2745.86
	1.65	121	12	200	294.20	7.34	2706.64
	2.11	166	5	350	274.59	27.77	2039.79
	2.11	166	5	350	274.59	27.77	1784.81
	3.01	166	5	500	274.59	27.77	2044.69
	3.01	166	5	500	274.59	27.77	2000.56
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	2108.43
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	2029.98
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	1976.04
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	1873.07
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	1863.26
	3.98	166	5	660	274.59	25.11	1745.58
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	1735.78
	3.98	166	5	660	274.59	27.77	1696.55
	3.98	166	5	660	274.59	25.11	1696.55
	4.03	273	8	1100	306.95	27.77	5579.98
	4.03	273	8	1100	306.95	13.96	5295.59
	4.03	273	8	1100	306.95	13.96	5197.52

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	4.03	273	8	1100	306.95	9.49	4040.34
	4.03	273	8	1100	306.95	9.49	3844.21
	4.12	204	2	840	235.36	37.50	1691.65
	4.12	204	2	840	235.36	36.87	1637.71
	4.12	204	2	840	235.36	26.75	1294.48
	4.13	121	12	500	294.20	37.50	2588.96
	4.13	121	12	500	294.20	26.75	2500.70
	4.13	121	12	500	294.20	26.75	2422.24
	4.13	121	12	500	294.20	9.73	2417.34
	4.13	121	12	500	294.20	9.73	2373.21
	4.13	121	12	500	294.20	9.49	2333.98
	4.17	96	5	400	410.90	36.87	1176.80
	4.17	96	5	400	410.90	36.87	1171.89
	4.17	96	5	400	410.90	36.87	1073.83
	4.22	96	5	405	410.90	36.87	1122.86
	4.27	96	5	410	410.90	9.73	912.02
	4.31	204	2	880	235.36	9.73	1068.92
	4.31	204	2	880	235.36	9.73	1039.50
	4.69	96	5	450	410.90	26.75	1166.99
	4.69	96	5	450	410.90	26.75	1044.41
	4.69	96	5	450	410.90	9.73	843.37
	6.63	166	5	1100	274.59	27.77	1985.85
S.H. Cai [68] (1984)	0.81	320	7	260	249.90	46.57	7909
	1.38	320	7	440	249.90	46.57	5900
	1.63	320	7	520	249.90	46.57	6380
	1.63	320	7	520	249.90	46.57	5890
	2.11	166	5	350	274.40	29.62	2038
	2.11	166	5	350	274.40	29.62	1784
	3.01	166	5	500	274.40	29.62	2043
	3.01	166	5	500	274.40	29.62	1999
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	2107
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	2029
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	1975
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	1872
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	1862
	3.98	166	5	660	274.40	26.56	1744
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	1735
	3.98	166	5	660	274.40	29.62	1695
	3.98	166	5	660	274.40	26.56	1695
	4.03	273	8	1100	306.70	29.62	5576
	4.03	273	8	1100	306.70	40.28	5292
	4.03	273	8	1100	306.70	40.28	5194
	4.12	204	2	840	235.20	40.28	1691
	4.12	204	2	840	235.20	39.53	1637
	4.12	204	2	840	235.20	28.45	1294
	4.13	121	12	500	294	40.28	2587
	4.13	121	12	500	294	28.45	2421
	4.17	96	5	400	410.60	39.53	1176
	4.17	96	5	400	410.60	39.53	1171

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	4.17	96	5	400	410.60	39.53	1073
	4.22	96	5	405	410.60	39.53	1122
	4.69	96	5	450	410.60	28.45	1166
	4.69	96	5	450	410.60	28.45	1044
Cai ve Gu [69] (1985)	3	108	4	324	339.11	27.22	1117.96
	3	108	4	324	339.11	27.22	1073.83
	3	108	4	324	339.11	27.22	1059.12
	3.14	108	4	338.88	324	28.99	1117.20
	3.14	108	4	338.88	324	28.99	1073.10
	3.14	108	4	338.88	324	28.99	1058.40
	6	108	4	648	339.11	27.22	828.66
	6	108	4	648	338.88	28.99	828.10
	6	108	4	648	339.11	27.22	825.72
	6	108	4	648	338.88	28.99	825.16
	8	108	4	864	339.11	27.22	869.85
	8	108	4	864	338.88	28.99	869.26
	8	108	4	864	339.11	27.22	802.18
	8	108	4	864	338.88	28.99	801.64
	8	108	4	864	339.11	27.22	766.88
	8	108	4	864	338.88	28.99	766.36
	10	108	4	1080	339.11	27.22	837.49
	10	108	4	1080	338.88	28.99	836.92
	10	108	4	1080	339.11	27.22	783.55
	10	108	4	1080	338.88	28.99	783.02
	15	108	4	1620	339.11	27.22	708.04
	15	108	4	1620	338.88	28.99	707.56
	15	108	4	1620	339.11	27.22	647.24
	15	108	4	1620	338.88	28.99	646.80
	15	108	4	1620	339.11	27.22	644.30
	15	108	4	1620	338.88	28.99	643.86
	20	108	4	2160	339.11	27.22	698.23
	20	108	4	2160	338.88	28.99	697.76
	20	108	4	2160	339.11	27.22	676.66
	20	108	4	2160	338.88	28.99	676.20
	20	108	4	2160	339.11	27.22	672.74
	20	108	4	2160	338.88	28.99	672.28
	25	108	4	2700	339.11	27.22	649.20
	25	108	4	2700	338.88	28.99	648.76
	30	108	4	3240	339.11	27.22	601.15
	30	108	4	3240	338.88	28.99	600.74
	30	108	4	3240	339.11	27.22	559.96
	30	108	4	3240	338.88	28.99	559.58
	30	108	4	3240	339.11	27.22	478.56
	30	108	4	3240	338.88	28.99	478.24
	40	108	4	4320	339.11	27.22	373.63
	40	108	4	4320	338.88	28.99	373.38
	40	108	4	4320	338.88	28.99	345.94
	40	108	4	4320	339.11	27.22	343.23
	40	108	4	4320	339.11	27.22	294.20

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	40	108	4	4320	338.88	28.99	294.00
	50	108	4	5400	339.11	27.22	225.55
	50	108	4	5400	338.88	28.99	225.40
	50	108	4	5400	339.11	27.22	212.80
	50	108	4	5400	339.11	27.22	210.84
	50	108	4	5400	338.88	28.99	210.70
	51.48	108	4	5560	338.88	28.99	212.50
Sakino [70] (1985)	1.96	101.80	5.70	200	305	37.40	971
	1.96	101.80	5.70	200	304.99	37.36	970.86
	1.96	101.80	5.70	200	305	18	954
	1.96	101.80	5.70	200	304.99	17.95	953.21
	1.96	101.80	2.94	200	320	37.40	660
	1.96	101.80	2.94	200	319.70	37.36	659.99
	1.96	101.80	2.94	200	320	18	628
	1.96	101.80	2.94	200	319.70	17.95	627.63
	2	100	0.52	200	244.19	37.36	404.03
	2	100	0.52	200	244	37.40	396
	2	100	0.52	200	244.19	37.36	394.23
	2	100	0.52	200	244.19	37.36	389.32
	2	100	0.52	200	244.19	17.95	242.22
	2	100	0.52	200	244	18	239
	2	100	0.52	200	244.19	17.95	238.30
	2	100	0.52	200	244.19	17.95	237.32
Wang ve Yang [71] (1985)	1.97	134.30	3.12	264	235	26.60	681
	1.97	134.10	6.20	264	235	26.60	1006
	1.99	132.45	5.25	264	235	26.60	872
	2	131.76	2.38	264	235	17.40	535
	2.02	130.60	4.30	264	235	26.60	725
Cheng vd. [72] (1988)	4	165	4.5	660	254.40	33.20	1647
	4	114	4.5	456	271	33.20	1033
	4	88.50	4	354	232	33.20	602
	4	60	3.5	240	223	33.20	334
	4	48	3.5	192	304	33.20	273
Lin [18] (1988)	3.20	150	0.7	480	245.17	33.44	744.32
	3.20	150	0.7	480	245.17	22.56	538.39
	5.33	150	2.1	800	245.17	35.30	1073.83
	5.33	150	2.1	800	245.17	22.56	787.83
	5.33	150	1.4	800	245.17	22.56	697.25
	5.33	150	0.7	800	245.17	22.56	513.87
Pan ve Liang [73] (1988)	14.79	165	4.3	2440	317.70	43.30	1149
	15.13	160	4.5	2420	317.70	43.30	1561
	22.06	165	4.3	3640	317.70	43.30	987
Goode [74] (1989)	3.02	89.27	4	270	226.70	30.20	491
	3.03	89.19	4.05	270	226.70	48	605
	3.12	86.54	2.80	270	226.70	48	489
	3.12	86.49	2.74	270	226.70	30.20	412
	3	1020	13.25	3060	368.70	28.90	46000
	3	820	8.93	2460	331	45	33600
	3	1020	9.64	3060	336	16.90	30000

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Luksha ve Nesterovich [75] (1991)	3	630	11.60	1890	347.20	46	24400
	3	630	10.21	1890	323.30	38.40	20500
	3	630	8.44	1890	350	34.50	18600
	3	630	7.61	1890	349.50	35	18000
	3	630	7	1890	291.40	36	16650
	3	720	8.30	2160	312	15	15000
	3	159	5.07	477	391.50	41.50	2230
Masuo vd. [76] (1991)	5.98	267.40	7	1600	461	48.40	5190
	5.98	267.40	7	1600	460.91	48.35	5187.72
	5.98	267.40	7	1600	460.91	55.90	5180.85
	5.98	267.40	7	1600	461	55.90	5180
	6.03	190.70	6	1150	505	48.40	3150
	6.03	190.70	6	1150	505.04	48.35	3147.93
	6.03	190.70	6	1150	505	55.90	3064
	6.03	190.70	6	1150	505.04	55.90	3062.62
	11.97	267.40	7	3200	461	55.90	4540
	11.97	267.40	7	3200	460.91	55.90	4533.61
	12.06	190.70	6	2300	505.04	55.90	2611.51
	12.06	190.70	6	2300	505	55.90	2610
	12.85	190.70	6	2450	505	55.90	2060
	17.95	267.40	7	4800	460.91	48.35	3903.05
	17.95	267.40	7	4800	461	48.40	3900
	17.95	267.40	7	4800	461	55.90	3630
	17.95	267.40	7	4800	460.91	55.90	3625.52
	18.09	190.70	6	3450	505.04	48.35	2132.95
	18.09	190.70	6	3450	505	48.40	2130
	18.09	190.70	6	3450	505.04	55.90	2059.40
Sakino [77] (1991)	2.01	179	5.5	360	248.50	43.64	2039.78
	2.01	179	5.5	360	248.50	43.64	2029.98
	2.01	179	5.5	360	248.50	23.93	1814.23
	2.01	179	5.5	360	248.50	22.16	1814.23
	2.02	178	9	360	283.31	45.40	3216.58
	2.02	178	9	360	283.31	45.40	3177.35
	2.02	178	9	360	283.31	22.16	2922.38
	2.02	178	9	360	283.31	22.16	2853.74
	2.07	174	3	360	265.96	45.70	1676.94
	2.07	174	3	360	265.96	45.70	1608.29
	2.07	174	3	360	265.96	23.93	1314.09
	2.07	174	3	360	265.96	23.93	1304.28
Tsuji vd. [78] (1991)	2	114.30	4.5	229	339	33.40	1069
	2	114.30	3.5	229	350	33.40	969
Gu vd. [79] (1993)	4.08	169	7.5	690	360	70.80	4190
	4.08	169	7.5	690	360	70.80	3080
	10.46	169	7.5	1768	360	70.80	2870
Bergman [80] (1994)	3.09	323.90	5.6	1000	443.90	92.30	11481
	12.35	323.90	5.6	4000	478	92.30	10401
	7.46	114	6	850	486	37	1334
	7.46	114	4.44	850	332	37	902

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Fujii [81] (1994)	7.46	114	3.35	850	291	37	785
	7.46	114	1.79	850	266	37	515
	10.96	114	5.91	1250	486	25	1177
	15.35	114	5.94	1750	486	37	1138
	15.35	114	3.32	1750	291	30	628
	15.35	114	1.93	1750	266	33	461
	19.74	114	6.14	2250	486	28	1000
	19.74	114	1.78	2250	266	28	373
	20.35	114	3.31	2320	291	24	535
	24.12	114	6.11	2750	486	33	941
	24.12	114	4.49	2750	332	31	657
	24.12	114	3.41	2750	291	36	569
	24.12	114	1.72	2750	266	36	353
Kenny vd. [82] (1994)	5.14	177.8	12.75	914.4	593.66	38.40	5524.69
	5.14	177.8	12.75	914.4	593.66	38.40	5253.35
	6.55	139.7	9.22	914.4	681.92	38.40	3047.03
	6.55	139.7	9.22	914.4	681.92	38.40	2597.76
	17.14	177.8	12.75	3048	593.66	38.40	4310.33
	21.82	139.7	9.22	3048	681.92	38.40	2001.70
Kilpatrick [83] (1994)	3.50	76	2.2	266	390	57	480
	3.50	76	2.2	266	390	57	470
	3.50	76	2.2	266	390	57	465
	3.50	76	2.2	266	390	57	420
	3.50	101.70	2.4	356	380	57	775
	3.50	101.70	2.4	356	380	57	775
	3.50	101.70	2.4	356	380	57	770
	3.50	101.70	2.4	356	380	57	740
	3.50	101.70	2.4	356	380	57	690
Prion ve Boehme [84] (1994)	3.29	152	1.7	500	270	73	1548
	3.29	152	1.7	500	270	73	1448
	4.34	152	1.7	660	328	85	1895
	4.34	152	1.7	660	328	85	1863
	5.92	152	1.7	900	270	73	1550
	5.92	152	1.7	900	270	73	1458
Matsui [85] (1995)	4	165.20	4.17	165	358.70	40.90	1594
	8	165.20	4.17	1322	358.70	40.90	1445
	12	165.20	4.17	1982	358.70	40.90	1305
	18	165.20	4.17	2974	358.70	40.90	1180
	24	165.20	4.17	3965	358.70	40.90	956
	30	165.20	4.17	4956	358.70	40.90	800
Kato [19] (1996)	4	165.2	4.1	661	353	48.57	1562
	5.86	114.3	3.1	670	348	63.53	910
	5.86	114.3	3.1	670	348	63.53	904
	5.86	114.3	3.1	670	348	63.53	898
	5.98	267.4	6.4	1600	461	57.36	5188
	5.98	267.4	6.4	1600	461	66.38	5181
	6.03	190.7	5.5	1150	505	57.36	3148
	6.03	190.7	5.5	1150	505	66.38	3063
	8	165.2	4.1	1322	353	48.57	1412

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	8.92	114.3	3.1	1020	348	63.41	888
	8.92	114.3	3.1	1020	348	63.41	849
	8.92	114.3	3.1	1020	348	63.41	845
	11.68	114.3	3.1	1335	348	66.50	794
	11.68	114.3	3.1	1335	348	66.50	784
	11.68	114.3	3.1	1335	348	66.50	773
	11.97	267.4	6.4	3200	461	66.38	4534
	12	165.2	4.1	1982	353	48.57	1372
	12.06	190.7	5.5	2300	505	66.38	2612
	17.85	114.3	3.1	2040	348	68.28	688
	17.85	114.3	3.1	2040	348	68.28	649
	17.85	114.3	3.1	2040	348	68.28	617
	17.95	267.4	6.4	4800	461	57.36	3903
	17.95	267.4	6.4	4800	461	66.38	3626
	18	165.2	4.1	2974	353	48.57	1147
	18.09	190.7	5.5	3450	505	57.36	2133
	18.09	190.7	5.5	3450	505	66.38	2059
	23.62	114.3	3.1	2700	340	68.28	537
	23.62	114.3	3.1	2700	340	68.28	536
	23.62	114.3	3.1	2700	340	68.28	516
	24	165.2	4.1	3965	353	48.57	1019
	29.48	114.3	3.1	3370	340	74.94	401
	29.48	114.3	3.1	3370	340	74.94	379
	29.48	114.3	3.1	3370	340	74.94	362
	30	165.2	4.1	4956	353	48.57	782
	32.55	114.3	3.1	3720	340	65.43	320
	32.55	114.3	3.1	3720	340	65.43	305
	32.55	114.3	3.1	3720	340	65.43	293
Tsuda vd. [86] (1996)	4	165.2	4.5	661	413.84	40.89	1562.20
	8	165.2	4.5	1322	413.84	40.89	1412.16
	12	165.2	4.5	1982	413.84	40.89	1371.95
	18	165.2	4.5	2974	413.84	40.89	1147.38
	24	165.2	4.5	3965	413.84	40.89	1018.91
	30	165.2	4.5	4956	413.84	40.89	781.59
Zha [87] (1996)	14	133	4.5	1862	325	42.20	882
	14	133	4.5	1862	325	42.20	715
	21	133	4.5	2793	325	42.20	800
	21	133	4.5	2793	325	42.20	784
Han [88] (1997)	2.94	114.80	3.9	338	357.70	60.75	1116
	2.95	141.80	4.3	419	433	60.75	1618
	2.98	113.60	3.2	338	354.60	60.75	1145
	2.98	159.80	6.3	476	482.50	60.75	3123
	2.98	133.10	4.5	397	324.30	60.75	1535
	3	165.70	5.1	497	373.30	60.75	2309
	3.03	130.60	2.3	396	324.30	60.75	1250
	3.05	111.30	2	339	354.60	60.75	855
	3.07	115.90	4.9	356	309.50	60.75	1174
	3.45	190	1.1	656	203.10	110.30	2940
	3.47	190	1.1	660	203.10	110.30	3000

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
O'Shea ve Bridge [20] (1998)	3.48	190	1.1	662	203.10	110.30	3140
	3.48	190	1.1	662	203.10	110.30	3030
	3.48	190	1.1	662	203.10	94.70	2462
	3.49	190	1.1	664	203.10	110.30	3055
Schneider ve ASCE [89] (1998)	4.49	141.40	6.50	635	313	23.81	1825
	4.51	140.80	3	635	285	28.18	881
	4.54	140	6.68	635	537	28.18	2715
Kilpatrick ve Rangan [90] (1999)	21.43	101.5	2.4	2175	410	58	523
Zhong [91] (1999)	2.87	107.9	4.32	310	264.90	18.40	686
	2.92	114.8	3.90	335	357.70	42.70	1041
	2.93	115.9	4.90	340	309.50	42.70	1102
	2.93	160.2	5.40	470	356.10	21.90	1775
	2.94	159.8	5.08	470	356.10	21.90	1746
	2.94	114.8	3.90	338	357.70	42.70	1110
	2.95	105.1	2.85	310	264.90	18.40	550
	2.95	159.3	5.25	470	356.10	21.90	1577
	2.95	105	2.06	310	264.90	18.40	539
	2.96	113.6	3.20	336	354.60	42.70	1139
	2.97	113.6	3.20	337	354.60	42.70	1141
	2.97	115.9	4.90	344	309.50	42.70	1234
	2.98	104.2	2.44	310	264.90	21.90	450
	2.98	113.6	3.20	338	354.60	42.70	1091
	2.98	133.1	4.50	397	324.30	42.70	1440
	2.99	114.8	3.90	343	357.70	42.70	1030
	3.02	155.6	2.63	470	356.10	23	1300
	3.03	102.3	1.52	310	264.90	21.90	485
	3.04	130.1	2.30	396	324.30	42.70	1240
	3.05	154.2	2.65	470	356.10	18.40	1294
	3.05	153.9	1.80	470	356.10	18.40	981
	3.06	101.3	1.50	310	264.90	21.90	370
	3.06	265	4.75	812	323.40	21.90	3789
	3.07	264.6	4.55	812	323.40	21.90	3579
	3.07	264.4	4.50	812	323.40	21.90	3357
	3.07	115.9	4.90	356	309.50	42.70	1122
	3.08	115.9	4.90	357	309.50	42.70	1140
	3.58	111.3	2	399	354.60	42.70	840
	3.93	107.9	4.32	424	264.90	18.40	803
	3.93	107.9	4.32	424	264.90	18.40	734
	3.93	107.9	4.32	424	264.90	18.40	727
Han [21] (2000)	32.50	108	4.5	3510	348.1	37.44	440
	32.50	108	4.5	3510	348.1	25.44	400
	32.50	108	4.5	3510	348.1	25.44	390
	35.25	108	4.5	3807	348.1	25.44	370
	35.25	108	4.5	3807	348.1	25.44	350
	37.25	108	4.5	4023	348.1	37.44	320
	37.25	108	4.5	4023	348.1	37.44	318
	38.50	108	4.5	4158	348.1	25.44	342

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	38.50	108	4.5	4158	348.1	37.44	298
	38.50	108	4.5	4158	348.1	25.44	292
	38.50	108	4.5	4158	348.1	37.44	280
O'Shea ve Bridge [92] (2000)	3.47	190	0.86	659	210.70	41	1350
	3.47	190	1.94	660	256.40	108	3360
	3.47	190	1.13	660	185.70	108	3058
	3.48	190	1.52	661.50	306.10	108	3260
	3.48	190	0.86	662	210.70	108	3070
	3.49	190	1.13	662.50	185.70	80.20	2295
	3.49	190	1.52	663.50	306.10	80.20	2602
	3.49	190	1.94	663.50	256.40	74.70	2592
	3.49	190	0.86	663.50	210.70	74.70	2451
	3.49	190	1.94	663.50	256.40	41	1678
	3.50	190	1.52	664.50	306.10	48.30	1695
	3.50	190	1.13	664.50	185.70	41	1377
	3.50	165	2.82	577.50	363.30	108	2673
	3.52	165	2.82	580.50	363.30	80.20	2295
	3.52	165	2.82	580.50	363.30	48.30	1662
Elchalakani vd. [93] (2001)	2.62	114.3	5.90	300	355	66.75	1819
	2.62	114.3	5.90	300	355	56.20	1736
	2.62	114.3	2.74	300	235	107.20	1295
	2.62	114.3	2.74	300	235	66.75	981
	2.62	114.3	2.74	300	235	56.20	902
Yamamoto vd. [94] (2002)	2.99	101.90	3.03	305	371	51.30	926
	2.99	101.90	3.03	305	371	51.30	877
	2.99	101.90	3.03	305	371	23.20	649
	3	101.80	3.03	305	371	23.20	682
	3	101.80	3.03	305	371	23.20	679
	3	101.80	3.03	305	371	23.20	632
	3	318.50	10.37	955	335	52.20	8289
	3	318.50	10.37	955	335	24.20	6901
	3	101.70	3.03	305	371	40.20	803
	3	101.70	3.03	305	371	40.20	800
	3	216.40	6.61	649	452	46.80	4214
	3	216.40	6.61	649	452	38.20	4023
	3	216.40	6.61	649	452	24.30	3568
	3	318.40	10.37	955	335	39.20	7742
	3	318.30	10.37	955	335	52.20	9297
	3	318.30	10.37	955	335	39.20	7933
	3	318.30	10.37	955	335	24.20	6565
	3	101.60	3.03	305	371	40.20	864
	3	101.60	3.03	305	371	23.20	635
	3	216.50	6.61	650	452	38.20	4200
	3	216.50	6.61	650	452	24.30	3568
	3	216.40	6.61	650	452	46.70	4283
	3	101.50	3.03	305	371	51.30	862
	3	101.50	3.03	305	371	51.30	859
	3.01	101.40	3.03	305	371	23.20	660
	3.01	101.30	3.03	305	371	40.20	742

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Johansson ve Gylltoft [95] (2002)	4.09	159	4.8	650	433	64.50	2150
Bai ve Li [96] (2003)	3.17	164	3.8	520	342	24.2	1639
	3.17	164	3.8	520	342	24.2	1639
	3.17	164	3.8	520	342	24.2	1639
	3.27	159	6.3	520	360	24.2	2177
	3.27	159	6.3	520	360	24.2	2177
	3.27	159	6.3	520	360	24.2	2177
	3.27	159	5.2	520	379	24.2	2037
	3.27	159	5.2	520	379	24.2	2037
	3.27	159	5.2	520	379	24.2	2037
	3.27	159	4.8	520	366	24.2	1907
	3.27	159	4.8	520	366	24.2	1907
	3.27	159	4.8	520	366	24.2	1907
	4.52	219	7	990	273	38.2	3278
	4.52	219	7	990	273	38.2	3278
	4.52	219	7	990	273	38.2	3278
	5.48	219	7	1200	273	38.2	3200
	5.48	219	7	1200	273	38.2	3200
	5.48	219	7	1200	273	38.2	3200
	6.48	219	7	1420	273	38.2	3070
	6.48	219	7	1420	273	38.2	3070
	6.48	219	7	1420	273	38.2	3070
	7.49	219	7	1640	273	38.2	2956
	7.49	219	7	1640	273	38.2	2956
	7.49	219	7	1640	273	38.2	2956
Baochun vd. [97] (2003)	4.57	219	6	1000	325	58	2989
	4.57	219	4	1000	325	52.3	1980
	4.57	219	4	1000	325	47.6	1931
Chen ve Hikosaka [98] (2003)	4.57	219	6	1000	325	58	2989
	4.57	219	4	1000	325	52.3	1979.6
	4.57	219	4	1000	325	47.6	1930.6
Gopal ve Manoharan [99] (2003)	20.46	76	2	1555	275	41.6	355
	20.47	76	2	1556	275	41.6	330
Han ve Yao [100] (2003)	3	120	2.65	360	340	36	816
	11.67	120	2.65	1400	340	36	769
Uenaka vd. [101] (2003)	2.84	158.7	0.90	450	221	18.70	699.70
	2.85	157.7	2.14	450	286	18.70	907.50
	2.86	157.5	1.50	450	308	18.70	815.40
Wang ve Zhang [102] (2003)	2.97	133.4	5.2	396	351	61.7	1955
	2.97	133.4	5.17	396	351	56.5	1810
	2.97	133.4	5.21	396	351	37.2	1612
	2.97	133.3	5.10	396	351	61.7	1930
	2.97	160.2	5.01	476	356.30	61.7	2440
	2.97	133.2	5.03	396	351	56.5	1770
	2.97	139.9	3.58	416	325.30	35.7	1222
	2.98	133.3	5.43	397	392	61.7	1820

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	2.98	140.3	3.62	418	325.30	49.1	1582
	2.98	133.2	5.07	397	351	56.5	1835
	2.98	133.2	5.06	397	351	37.2	1580
	2.98	133.1	5.04	397	351	61.7	1955
	2.98	133.1	5.43	397	392	61.7	1930
	2.98	133.1	5.44	397	392	61.7	1915
	2.98	133.4	5.23	398	351	37.2	1640
	2.99	140	3.60	418	325.30	49.1	1582
	2.99	159.3	5.36	477	356.30	61.7	2480
	2.99	139.9	3.48	419	325.30	35.7	1300
	3	167.3	3.35	502	354	40.6	1668
	3	159.3	5.07	478	356.30	61.7	2460
	3	167.5	3.33	503	354	40.6	1700
	3	167.8	3.33	504	354	56.5	2055
	3	139.5	3.27	419	331.70	35.7	1180
	3	167.4	3.32	503	354	40.6	1704
	3.01	139.7	3.61	420	325.30	49.1	1540
	3.01	139	3.29	418	331.70	61.7	1629
	3.01	139.9	3.54	421	325.30	35.7	1242
	3.01	167.1	3.33	503	354	56.5	2105
	3.01	167	3.37	503	354	56.5	2075
	3.01	138.7	3.28	418	331.70	61.7	1680
	3.01	139	3.29	419	331.70	35.7	1220
	3.02	138.6	3.31	418	331.70	50	1490
	3.02	138.9	3.29	419	331.70	35.7	1140
	3.02	138.9	3.28	420	331.70	61.7	1688
	3.02	138.9	3.36	420	331.70	50	1520
	3.03	138.6	3.30	420	331.70	50	1500
Han ve Yao [103] (2003)	3.50	133	4.5	465	325	33.76	800
	14	133	4.5	1862	325	33.76	715
	14	133	4.5	1862	325	33.76	882
	21	133	4.5	2793	325	33.76	784
Ghannam vd. [104] (2004)	15	165	4.70	2475	355	26.72	1058
	15.01	165	4.70	2476	355	26.72	1037
	15.01	165	4.70	2477	355	8	800
	15.02	165	4.70	2478	355	8	834
	20	110	1.90	2200	350	26.72	437
	20	110	1.90	2200	350	26.72	374
	20	110	1.90	2200	350	26.72	368
	20	110	1.90	2200	350	26.72	355
	20	110	1.90	2200	350	8	269
	20	110	1.90	2200	350	8	252
	20	110	1.90	2200	350	8	219
	20	110	1.90	2200	350	8	211
Giakoumelis ve Lam [22] (2004)	2.61	115.04	4.92	300	365	83.92	1787
	2.61	115.02	5.02	300.5	365	46.08	1413
	2.61	114.49	3.75	299.3	343	46.08	1038
	2.62	114.88	4.91	300.5	365	27.76	1380
	2.62	114.57	3.99	300	343	74.88	1308

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	2.62	114.37	3.85	299.5	343	79.12	1182
	2.62	114.54	3.84	300	343	79.12	1359
	2.62	114.43	3.98	300	343	25.12	948
	2.62	114.43	3.82	300	343	27.76	929
	2.62	114.30	3.85	300	343	25.52	998
	2.62	114.29	3.75	300	343	46.08	1067
	2.63	114.26	3.93	300	343	77.76	1359
	2.63	114.09	3.85	300.5	343	25.52	948
Han ve Yao [105] (2004)	3	200	3	600	303.5	32	2383
	3	200	3	600	303.5	32	2330
	3	200	3	600	303.5	32	2320
	3	200	3	600	303.5	32	2256
	3	200	3	600	303.5	32	2160
	3	200	3	600	303.5	32	2160
	3	100	3	600	303.5	32	820
	3	100	3	600	303.5	32	820
	3	100	3	600	303.5	32	814
	3	100	3	600	303.5	32	780
	3	100	3	600	303.5	32	766
	3	100	3	600	303.5	32	708
	10	200	3	2000	303.5	32	2115
	10	200	3	2000	303.5	32	2060
	10	200	3	2000	303.5	32	1882
	10	200	3	2000	303.5	32	1830
	10	200	3	2000	303.5	32	1806
Sakino vd. [106] (2004)	3	337	6.47	1011	823	85.10	13776
	3	450	2.96	1350	279	85.10	11665
	3	360	4.54	1080	525	85.10	11505
	3	337	6.47	1011	823	41.10	9835
	3	337	6.47	1011	823	41.10	9668
	3	337	6.47	1011	823	25.40	8475
	3	222	6.47	666	843	77.00	7304
	3	361	4.54	1083	525	41.10	7260
	3	360	4.54	1080	525	41.10	7045
	3	450	2.96	1350	279	41.10	6985
	3	450	2.96	1350	279	41.10	6870
	3	222	6.47	666	843	40.50	5714
	3	222	6.47	666	843	40.50	5638
	3	361	4.54	1083	525	25.40	5633
	3	238	4.54	714	507	77.00	5578
	3	301	2.96	903	279	80.30	5540
	3	222	6.47	666	843	25.40	4964
	3	450	2.96	1350	279	25.40	4415
	3	238	4.54	714	507	40.50	3647
	3	238	4.54	714	507	40.50	3583
	3	300	2.96	900	279	41.10	3277
	3	300	2.96	900	279	41.10	3152
	3	239	4.54	717	507	25.40	3035
	3	108	6.47	324	853	77.00	2713

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	3	109	6.47	327	853	40.50	2446
	3	108	6.47	324	853	40.50	2402
	3	301	2.96	903	279	25.40	2382
	3	108	6.47	324	853	25.40	2275
	3	122	4.54	366	576	77.00	2100
	3	149	2.96	447	308	77.00	1781
	3	122	4.54	366	576	40.50	1663
	3	122	4.54	366	576	40.50	1657
	3	122	4.54	366	576	25.40	1509
	3	149	2.96	447	308	40.50	1080
	3	149	2.96	447	308	40.50	1064
	3	149	2.96	447	308	25.40	941
Han vd. [107] (2005)	3	250	2	750	404	72.00	4800
	3	250	2	750	404	72.00	4720
	3	250	2	750	404	68.16	4550
	3	250	2	750	404	68.16	4442
	3	250	1.87	750	282	68.16	4102
	3	250	1.87	750	282	68.16	3950
	3	200	2	600	404	68.16	3020
	3	200	2	600	404	68.16	3011
	3	200	1.87	600	282	68.16	2824
	3	200	1.87	600	282	68.16	2783
	3	150	2	450	404	72.00	1980
	3	150	2	450	404	72.00	1910
	3	150	2	450	404	68.16	1870
	3	150	2	450	404	68.16	1743
	3	150	1.87	450	282	68.16	1701
	3	150	1.87	450	282	68.16	1670
	3	100	2	300	404	68.16	930
	3	100	2	300	404	68.16	920
	3	100	1.87	300	282	68.16	845
	3	100	1.87	300	282	68.16	822
	3	60	2	180	404	72.00	437
	3	60	2	180	404	72.00	432
	3	60	2	180	404	68.16	427
	3	60	2	180	404	68.16	415
	3	60	1.87	180	282	68.16	320
	3	60	1.87	180	282	68.16	312
Zeghiche ve Chaoui [108] (2005)	12.48	160.3	5.03	2000	281	99	2000
	12.49	160.1	4.98	2000	280	40	1261
	12.52	159.8	5.01	2000	283	70	1650
	15.61	160.2	4.96	2500	281	41	1244
	15.64	159.8	5.01	2500	275	100	1818
	15.65	159.7	5.2	2500	281	71	1562
	18.71	160.3	5	3000	270	43	1236
	18.77	159.8	5.1	3000	276	73	1468
	18.79	159.7	4.97	3000	275	101	1636
	21.85	160.2	4.97	3500	273	41	1193
	21.86	160.1	4.98	3500	276	74	1326

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	21.93	159.6	4.98	3500	270	106	1454
	24.97	160.2	5.02	4000	281	71	1231
	25.02	159.9	4.98	4000	281	45	1091
	25.03	159.8	4.97	4000	270	102	1333
Baig vd. [109] (2006)	4.69	160	2.5	750	250	62.26	1153
	6.74	11.25	2.5	750	250	58.6	526
Wu vd. [103] (2006)	2.97	219	4.78	650	350	41.92	3400
	2.97	219	4.72	650	350	40.40	3350
	2.97	219	4.75	650	350	34.08	3150
	2.97	219	4.73	650	350	34.08	3150
	3.03	165	2.76	500	350	61.76	2250
	3.03	165	2.81	500	350	61.76	2160
	3.03	165	2.81	500	350	61.76	2095
	3.09	165	2.73	510	350	40.40	2080
	3.09	165	2.72	510	350	45.60	1750
	3.09	165	2.75	510	350	37.04	1560
Gupta vd. [23] (2007)	3.02	112.56	2.89	340	360	37.60	822
	3.02	112.56	2.89	340	360	37.77	801
	3.02	112.56	2.89	340	360	40.00	788
	3.02	112.56	2.89	340	360	35.68	785
	3.02	112.56	2.89	340	360	34.66	770
	3.02	112.56	2.89	340	360	32.44	758
	3.02	112.56	2.89	340	360	38.31	757
	3.02	112.56	2.89	340	360	36.67	755
	3.02	112.56	2.89	340	360	25.15	754
	3.02	112.56	2.89	340	360	36.88	747
	3.02	112.56	2.89	340	360	30.88	745
	3.02	112.56	2.89	340	360	28.22	745
	3.02	112.56	2.89	340	360	31.42	735
	3.02	112.56	2.89	340	360	28.89	730
	3.02	112.56	2.89	340	360	38.32	727
	3.02	112.56	2.89	340	360	25.33	720
	3.02	112.56	2.89	340	360	28.22	716
	3.02	112.56	2.89	340	360	25.20	700
	3.02	112.56	2.89	340	360	28.53	687
	3.02	112.56	2.89	340	360	29.02	686
	3.02	112.56	2.89	340	360	19.73	681
	3.02	112.56	2.89	340	360	22.44	674
	3.02	112.56	2.89	340	360	22.22	650
	3.02	112.56	2.89	340	360	27.15	635
	3.81	89.32	2.74	340	360	37.77	650
	3.81	89.32	2.74	340	360	37.60	644
	3.81	89.32	2.74	340	360	28.89	635
	3.81	89.32	2.74	340	360	28.22	630
	3.81	89.32	2.74	340	360	40.00	620
	3.81	89.32	2.74	340	360	36.67	620
	3.81	89.32	2.74	340	360	30.88	613
	3.81	89.32	2.74	340	360	25.15	610

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	3.81	89.32	2.74	340	360	38.31	605
	3.81	89.32	2.74	340	360	34.66	605
	3.81	89.32	2.74	340	360	31.42	603
	3.81	89.32	2.74	340	360	35.68	599
	3.81	89.32	2.74	340	360	32.44	599
	3.81	89.32	2.74	340	360	25.20	582
	3.81	89.32	2.74	340	360	38.32	577
	3.81	89.32	2.74	340	360	28.53	571
	3.81	89.32	2.74	340	360	19.73	560
	3.81	89.32	2.74	340	360	22.44	557
	3.81	89.32	2.74	340	360	36.88	552
	3.81	89.32	2.74	340	360	29.02	540
	3.81	89.32	2.74	340	360	22.22	530
	3.81	89.32	2.74	340	360	27.15	524
	3.81	89.32	2.74	340	360	28.22	494
	3.81	89.32	2.74	340	360	25.33	494
	7.19	47.28	1.87	340	360	37.60	250
	7.19	47.28	1.87	340	360	37.77	246
	7.19	47.28	1.87	340	360	40.00	225
	7.19	47.28	1.87	340	360	28.89	215
	7.19	47.28	1.87	340	360	25.15	215
	7.19	47.28	1.87	340	360	28.22	210
	7.19	47.28	1.87	340	360	32.44	203
	7.19	47.28	1.87	340	360	34.66	194
	7.19	47.28	1.87	340	360	36.67	192
	7.19	47.28	1.87	340	360	30.88	190
	7.19	47.28	1.87	340	360	22.22	187
	7.19	47.28	1.87	340	360	25.33	178
	7.19	47.28	1.87	340	360	35.68	177
	7.19	47.28	1.87	340	360	19.73	176
	7.19	47.28	1.87	340	360	28.53	171
	7.19	47.28	1.87	340	360	25.20	168
	7.19	47.28	1.87	340	360	27.15	167
	7.19	47.28	1.87	340	360	28.22	166
	7.19	47.28	1.87	340	360	38.31	165
	7.19	47.28	1.87	340	360	36.88	162
	7.19	47.28	1.87	340	360	22.44	160
	7.19	47.28	1.87	340	360	31.42	157
	7.19	47.28	1.87	340	360	38.32	156
	7.19	47.28	1.87	340	360	29.02	145
Yu vd. [110] (2007)	2.97	219	4.73	650	350	34.08	3600
	2.97	219	4.78	650	350	40.40	3400
	2.97	219	4.72	650	350	34.08	3380
	2.97	219	4.72	650	350	40.40	3350
	2.97	219	4.74	650	350	40.40	3160
	2.97	219	4.75	650	350	34.08	3150
	2.97	219	4.73	650	350	34.08	3150
	2.97	219	4.73	650	350	40.40	2900
	2.97	219	4.74	650	350	40.40	1680

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	3.09	165	2.76	510	350	61.76	2250
	3.09	165	2.81	510	350	61.76	2160
	3.09	165	2.81	510	350	61.76	2095
	3.09	165	2.43	510	350	40.40	2080
	3.09	165	2.76	510	350	40.40	2060
	3.09	165	2.74	510	350	45.60	1785
	3.09	165	2.72	510	350	61.76	1750
	3.09	165	2.75	510	350	37.04	1560
Zhang [96] (2007)	3	250	3	750	230	47.8	2831
	3.01	156	3	470	230	47.8	1245
Zhang ve Liu [111] (2007)	2.99	133.34	5.01	399	351	70.8	2004
	2.99	139.30	3.36	417	331.70	70.8	1920
	3	133.10	5.05	399	351	70.8	2514
	3	133.42	5.41	400	351	75.3	2324
	3	159.10	5.11	477	356.30	75.3	3031
	3	139.40	3.27	418	331.70	75.3	2120
	3	133.05	5.00	399	351	70.8	1890
	3	138.70	3.27	416	331.70	75.3	2185
	3	138.70	3.23	416	331.70	75.3	2147
	3	133.29	6.11	400	392	75.3	2275
	3	133.29	6.17	400	392	75.3	2267
	3	133.25	4.91	400	351	75.3	2347
	3	158.9	5.12	477	356.30	75.3	3095
	3	133.22	6.07	400	392	75.3	2234
	3	133.21	5.05	400	351	75.3	2366
	3.01	158.6	5.17	477	356.30	75.3	3198
	3.01	138.5	3.24	417	331.70	70.8	1851
	3.02	138.25	3.34	417	331.70	70.8	2330
Yu vd. [112] (2008)	3	100	1.90	300	404	97.28	1170
	3	100	1.90	300	404	97.28	1125
	3	100	1.90	300	404	97.28	1100
	3	100	1.90	300	404	97.28	1085
	9	100	1.90	900	404	97.28	1065
	9	100	1.90	900	404	97.28	980
	15	100	1.90	1500	404	97.28	907
	15	100	1.90	1500	404	97.28	760
	30	100	1.90	3000	404	97.28	317,50
	30	100	1.90	3000	404	97.28	288
Beck vd. [113] (2009)	3	114.30	6.00	343	342.95	105.45	1683.40
	3	114.30	6.00	343	342.95	88.78	1496
	3	114.30	3.35	343	287.33	105.45	1453.10
	3	114.30	6.00	343	342.95	73.30	1361.60
	3	114.30	6.00	343	342.95	58.68	1329.10
	3	114.30	3.35	343	287.33	88.78	1136.20
	3	114.30	6.00	343	342.95	32.68	1075.40
	3	114.30	3.35	343	287.33	58.68	952
	3	114.30	3.35	343	287.33	32.68	737
	5	114.30	6	571.5	342.95	105.45	1607.40
	5	114.30	6	571.5	342.95	88.78	1448.10

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	5	114.30	3.35	571.5	287.33	105.45	1407.10
	5	114.30	6	571.5	342.95	73.30	1308.50
	5	114.30	6	571.5	342.95	58.68	1263.20
	5	114.30	3.35	571.5	287.33	88.78	1180.70
	5	114.30	6	571.5	342.95	32.68	1016.60
	5	114.30	3.35	571.5	287.33	58.68	902.90
	5	114.30	3.35	571.5	287.33	32.68	739.50
	7	114.30	6	800	342.95	105.45	1622.50
	7	114.30	6	800	342.95	88.78	1400.60
	7	114.30	3.35	800	287.33	105.45	1375.80
	7	114.30	3.35	800	287.33	88.78	1198.30
	7	114.30	6	800	342.95	58.68	1190
	7	114.30	6	800	342.95	32.68	1057.10
	7	114.30	6	800	342.95	22.50	925.90
	7	114.30	3.35	800	287.33	58.68	868.50
	7	114.30	3.35	800	287.33	32.68	631.50
	10	114.30	6	1143	342.95	105.45	1574.30
	10	114.30	6	1143	342.95	88.78	1442.40
	10	114.30	3.35	1143	287.33	105.45	1319.90
	10	114.30	6	1143	342.95	58.20	1126.90
	10	114.30	6	1143	342.95	58.68	1120.60
	10	114.30	3.35	1143	287.33	88.78	1111.60
	10	114.30	6	1143	342.95	32.68	872.20
	10	114.30	3.35	1143	287.33	58.68	809.20
	10	114.30	3.35	1143	287.33	32.68	599.30
Park vd. [114] (2009)	4.43	139.8	6.6	620	295	37.5	1757.10
	4.43	139.8	4.5	620	327	37.5	1444.50
	4.43	139.8	3.2	620	357	37.5	1252.40
Chitawadagi vd. [26] (2010)	5.51	63.5	2	350	250	48.56	227.53
	5.51	63.5	1.6	350	250	48.56	212.35
	5.51	63.5	2	350	250	41.36	204.46
	5.51	63.5	1.25	350	250	48.56	198.88
	5.51	63.5	1.6	350	250	41.36	188.69
	5.51	63.5	2	350	250	33.92	181.34
	5.51	63.5	1.25	350	250	41.36	174.69
	5.51	63.5	1.6	350	250	33.92	164.95
	5.51	63.5	1.25	350	250	33.92	150.42
	6.12	57.15	2	350	250	48.56	190.33
	6.12	57.15	1.6	350	250	48.56	177.06
	6.12	57.15	2	350	250	41.36	172
	6.12	57.15	1.25	350	250	48.56	165.26
	6.12	57.15	1.6	350	250	41.36	158.17
	6.12	57.15	2	350	250	33.92	153.62
	6.12	57.15	1.25	350	250	41.36	145.86
	6.12	57.15	1.6	350	250	33.92	139.22
	6.12	57.15	1.25	350	250	33.92	126.4
	7.72	63.5	2	490	250	48.56	280.2
	7.72	63.5	2	490	250	41.36	269
	7.72	63.5	1.6	490	250	48.56	262

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	7.72	63.5	2	490	250	33.92	243.6
	7.72	63.5	1.6	490	250	41.36	240.8
	7.72	63.5	1.25	490	250	48.56	239.1
	7.72	63.5	1.6	490	250	33.92	226.3
	7.72	63.5	1.25	490	250	41.36	208
	7.72	63.5	1.25	490	250	33.92	191.3
	7.87	44.45	2	350	250	48.56	125.27
	7.87	44.45	1.6	350	250	48.56	115.38
	7.87	44.45	2	350	250	41.36	114.77
	7.87	44.45	1.25	350	250	48.56	106.52
	7.87	44.45	1.6	350	250	41.36	104.45
	7.87	44.45	2	350	250	33.92	104.22
	7.87	44.45	1.25	350	250	41.36	95.19
	7.87	44.45	1.6	350	250	33.92	93.47
	7.87	44.45	1.25	350	250	33.92	83.83
	8.57	57.15	2	490	250	48.56	231.3
	8.57	57.15	2	490	250	41.36	221.9
	8.57	57.15	2	490	250	33.92	205.8
	8.57	57.15	1.6	490	250	48.56	201.5
	8.57	57.15	1.6	490	250	41.36	192.1
	8.57	57.15	1.25	490	250	48.56	187.2
	8.57	57.15	1.6	490	250	33.92	181.6
	8.57	57.15	1.25	490	250	41.36	176.5
	8.57	57.15	1.25	490	250	33.92	163
	11.02	44.45	2	490	250	48.56	145.3
	11.02	44.45	2	490	250	41.36	138
	11.02	44.45	1.6	490	250	48.56	130
	11.02	44.45	2	490	250	33.92	127.1
	11.02	44.45	1.6	490	250	41.36	117.1
	11.02	44.45	1.25	490	250	48.56	109.9
	11.02	44.45	1.6	490	250	33.92	96.5
	11.02	44.45	1.25	490	250	41.36	94
	11.02	44.45	1.25	490	250	33.92	82
	11.02	63.5	2	700	250	48.56	240.6
	11.02	63.5	2	700	250	41.36	231.3
	11.02	63.5	1.6	700	250	48.56	226.7
	11.02	63.5	1.6	700	250	41.36	210.5
	11.02	63.5	2	700	250	33.92	202.3
	11.02	63.5	1.6	700	250	33.92	185.6
	11.02	63.5	1.25	700	250	48.56	181.2
	11.02	63.5	1.25	700	250	41.36	169.3
	11.02	63.5	1.25	700	250	33.92	150.5
	12.25	57.15	2	700	250	48.56	206.1
	12.25	57.15	2	700	250	41.36	188.3
	12.25	57.15	1.6	700	250	48.56	181.7
	12.25	57.15	1.6	700	250	41.36	173.1
	12.25	57.15	1.25	700	250	48.56	162
	12.25	57.15	1.25	700	250	41.36	151.6
	12.25	57.15	2	700	250	33.92	144.3

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	12.25	57.15	1.6	700	250	33.92	135
	12.25	57.15	1.25	700	250	33.92	119.8
	15.75	44.45	2	700	250	48.56	124
	15.75	44.45	2	700	250	41.36	104.8
	15.75	44.45	1.6	700	250	48.56	101
	15.75	44.45	1.6	700	250	41.36	86.5
	15.75	44.45	1.25	700	250	48.56	85.4
	15.75	44.45	2	700	250	33.92	82
	15.75	44.45	1.6	700	250	33.92	69.4
	15.75	44.45	1.25	700	250	41.36	68.6
	15.75	44.45	1.25	700	250	33.92	45.2
Oliveira vd. [27] (2010)	3	114.3	6	342.9	342.95	105.45	1943.4
	3	114.3	6	342.9	342.95	88.78	1673.9
	3	114.3	3.35	342.9	287.33	105.45	1610.6
	3	114.3	6	342.9	342.95	58.68	1425.3
	3	114.3	6	342.9	342.95	32.68	1380
	3	114.3	3.35	342.9	287.33	88.78	1242.2
	3	114.3	3.35	342.9	287.33	58.68	995.7
	3	114.3	3.35	342.9	287.33	32.68	816.2
	5	114.3	6	571.5	342.95	105.45	1827.1
	5	114.3	3.35	571.5	287.33	105.45	1595.9
	5	114.3	6	571.5	342.95	88.78	1564.7
	5	114.3	6	571.5	342.95	58.68	1389.3
	5	114.3	3.35	571.5	287.33	88.78	1281.4
	5	114.3	6	571.5	342.95	32.68	1218.7
	5	114.3	3.35	571.5	287.33	58.68	937
	5	114.3	3.35	571.5	287.33	32.68	749.4
	7	114.3	6	800.1	342.95	105.45	1788.9
	7	114.3	3.35	800.1	287.33	105.45	1513.5
	7	114.3	6	800.1	342.95	88.78	1509.3
	7	114.3	6	800.1	342.95	58.68	1244.4
	7	114.3	3.35	800.1	287.33	88.78	1206.5
	7	114.3	6	800.1	342.95	32.68	1000.4
	7	114.3	3.35	800.1	287.33	58.68	932.9
	7	114.3	3.35	800.1	287.33	32.68	736.8
	10	114.3	6	1143	342.95	105.45	1613.5
	10	114.3	3.35	1143	287.33	105.45	1481.2
	10	114.3	6	1143	342.95	88.78	1389.1
	10	114.3	3.35	1143	287.33	88.78	1200
	10	114.3	6	1143	342.95	58.68	1141.3
	10	114.3	6	1143	342.95	32.68	909.7
	10	114.3	3.35	1143	287.33	58.68	904.2
	10	114.3	3.35	1143	287.33	32.68	563.6
Perea vd. [115] (2010)	15.60	508	6.35	7924	328.19	79.98	5013.14
	15.60	508	6.35	7924	328.19	55.85	3567.47
	16.94	323.85	6.35	5486	337.15	91.01	2584.42
	16.94	323.85	6.35	5486	337.15	38.61	1899.39
	24.47	323.85	6.35	7924	337.15	79.98	1717.01
	24.47	323.85	6.35	7924	337.15	54.47	1610.16

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Hu vd. [116] (2011)	1.96	204	2	400	226	52.75	1491
	1.97	203	1.5	400	242	52.75	1359
	1.98	202	1	400	231	44.88	1104
Kwon vd. [28] (2011)	4.11	151	3.20	620	265	25.40	1129
	4.13	150	3.20	620	265	25.40	1123
	4.17	300	3.20	1250	265	25.40	2012
	4.18	251	3.20	1050	265	25.40	2033
	4.19	401	3.20	1680	265	25.40	3680
	4.19	350	3.20	1468	265	25.40	3000
	4.20	450	3.20	1888	265	25.40	4540
	4.20	199	3.20	835	265	25.40	1535
Lee vd. [117] (2011)	4.22	198	3.20	835	265	25.40	1560
	4.89	360	6	1760	498	37.608	6888
Liao vd.[118] (2011)	5.27	300	12	1580	479	37.608	9823
	4.11	180	3.8	740	360	51.28	2110
Che vd. [119] (2012)	4.11	180	3.8	740	360	51.28	2070
	3	136	6	408	330	54	1493
	3	133	4.5	399	330	54	1301
	3	131	3.5	393	330	54	1219
	3	129	2.5	387	330	54	990
Dundu [29] (2012)	3	127	1.5	381	330	54	866
	5.16	193.7	3	1000	398.8	25.6	1999.6
	6.06	165.1	3	1000	438.2	25.6	1549.5
	6.56	152.4	3	1000	488.2	25.6	1463.3
	7.18	139.2	3	1000	361.95	32.1	1059.8
	7.74	193.7	3.5	1500	398.8	25.6	1817.1
	7.86	127.3	3	1000	345.2	32.1	912.1
	8.71	114.85	3	1000	354.05	32.1	806.4
	9.09	165.1	3	1500	438.2	25.6	1338
	9.84	152.4	3	1500	488.2	25.6	1209.1
	10.33	193.7	3.5	2000	398.8	25.6	1796.3
	10.78	139.2	3	1500	361.95	32.1	941.9
	11.78	127.3	3	1500	345.2	32.1	848.5
	12.11	165.1	3	2000	438.2	25.6	1234.5
	12.91	193.7	3.5	2500	392.2	25.6	1620.8
	13.06	114.85	3	1500	354.05	32.1	688.2
	13.12	152.4	3	2000	488.2	25.6	1167.3
	14.37	139.2	3	2000	361.95	32.1	868.3
	15.14	165.1	3	2500	430.3	25.6	1232
	15.71	127.3	3	2000	345.2	32.1	715.8
	16.40	152.4	3	2500	394.3	32.1	968.9
	17.41	114.85	3	2000	354.05	32.1	632.2
	17.96	139.2	3	2500	361.95	32.1	750.7
	19.64	127.3	3	2500	345.2	32.1	638.8
	21.77	114.85	3	2500	354.05	32.1	566.1
Tan vd. [30] (2012)	3.5	133	4.7	465	352	84.7	2273
	3.5	133	4.7	465	352	84.7	2253
	3.5	133	4.7	465	352	84.7	2158

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	3.5	133	3.5	465	352	84.7	1995
	3.5	133	3.5	465	352	84.7	1991
	3.5	133	4.7	465	352	61.3	1981
	3.5	133	3.5	465	352	84.7	1962
	3.5	133	4.7	465	352	61.3	1912
	3.5	133	4.7	465	352	39.4	1535
	3.5	133	4.7	465	352	39.4	1462
	3.5	108	4.5	378	358	77.4	1578
	3.5	108	4.5	378	358	77.4	1535
	3.5	108	4.5	378	358	77.4	1518
	3.5	127	7	445	429	84.7	3404
	3.5	127	7	445	429	84.7	3370
	3.5	127	7	445	429	84.7	3364
	3.5	127	2	445	258	84.7	1491
	3.5	127	2	445	258	84.7	1339
	3.5	125	1	438	232	84.7	1275
	3.5	125	1	438	232	84.7	1239
Yang vd. [121] (2012)	4.5	150	3	675	324.4	52.6	1462
	6	150	3	900	324.4	52.6	1489
Abed vd. [31] (2013)	2.10	167	3.1	350	300	60	1873
	2.10	167	3.1	350	300	44	1710
	2.19	114	5.6	250	300	60	1365
	2.19	114	5.6	250	300	44	1314
	2.19	114	3.6	250	300	60	1095
	2.19	114	3.6	250	300	44	1042
Chang vd. [122] (2013)	3.52	113.64	3.64	400	259.60	56.70	1011
	3.58	111.64	1.90	400	261.30	56.70	701.90
	3.58	111.64	1.90	400	261.30	47.80	666.60
Guler vd. [32] (2013)	3.94	76.21	2.52	300	286	145	752
	3.94	76.19	2.99	300	278	145	805
	3.94	76.18	3.31	300	305	145	841
	3.94	76.12	2.51	300	286	145	762
	3.94	76.11	2.48	300	286	145	774
	3.95	75.97	2.98	300	278	145	801
	3.96	75.84	2.99	300	278	145	796
Ho ve Lai [123] (2013)	1.96	168	8	330	365	75.2	3101
	1.96	168	5	330	365	85.4	2926
	1.96	168	8	330	365	34.1	2810
	1.96	168	5	330	365	29.1	1908
	2.89	114	5	330	365	114.3	1876
Portoles vd. [124] (2013)	13.43	159	6	2135	457	120.1	2792
	13.43	159	6	2135	487	116	2193
	13.43	159	6	2135	394	37.7	1414
Yang vd. [33] (2013)	3	100	3,9	300	235.1	83.9	935.2
	3	100	3	300	176.5	83.9	772.1
	3	100	2	300	184.7	83.9	683
Lu vd. [125] (2014)	3.13	128	4	400	248	44.9	1130

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Ren vd.[126] (2014)	3.61	164,97	2.92	595	389.3	61.4	1984
	3.61	164,97	2.92	595	389.3	61.4	1904
Wang vd. [127] (2014)	3	160	3.46	480	363	78	2057
Wei vd. [128] (2014)	3.01	133	7.5	400	364.9	34.7	2249
	3.01	133	6	400	364.9	34.7	1798
	3.01	133	4.5	400	364.9	34.7	1568
	3.01	133	3	400	364.9	31.2	1153
Lu vd. [35] (2015)	3	133	5	399	306	61.12	1774
	3	133	5	399	306	59.68	1712
	3	133	5	399	306	57.28	1673
	3	133	5	399	306	52.96	1661
	3	133	5	399	306	55.76	1659
	3	133	5	399	306	51.20	1609
	3	133	5	399	306	49.92	1581
	3	133	5	399	306	47.04	1569
	3	133	5	399	306	48.72	1548
	3	131	4	393	306	61.12	1542
	3	133	5	399	306	45.04	1518
	3	131	4	393	306	59.68	1496
	3	131	4	393	306	57.28	1482
	3	133	5	399	306	44.24	1470
	3	131	4	393	306	55.76	1469
	3	131	4	393	306	47.04	1459
	3	133	5	399	306	42.96	1454
	3	131	4	393	306	52.96	1452
	3	131	4	393	306	51.20	1430
	3	131	4	393	306	45.04	1403
	3	131	4	393	306	49.92	1389
	3	131	4	393	306	44.24	1360
	3	129	3	387	306	61.12	1356
	3	131	4	393	306	48.72	1320
	3	129	3	387	306	59.68	1301
	3	129	3	387	306	57.28	1287
	3	131	4	393	306	42.96	1280
	3	129	3	387	306	55.76	1266
	3	129	3	387	306	52.96	1192
	3	129	3	387	306	47.04	1162
	3	129	3	387	306	51.20	1147
	3	129	3	387	306	49.92	1128
	3	129	3	387	306	45.04	1118
	3	129	3	387	306	48.72	1095
	3	129	3	387	306	44.24	1093
	3	129	3	387	306	42.96	1068
Niu ve Cao [129] (2015)	2.95	508	8.76	1500	360.4	70.91	18529.6
	2.62	114.30	5.90	300	355	107.20	1989.86
	2.62	114.30	5.90	300	355	66.75	1818.62

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Ekmekyapar ve AL-Eliwi [37] (2016)	2.62	114.30	5.90	300	355	56.20	1735.77
	2.62	114.30	2.74	300	235	107.20	1295.06
	2.62	114.30	2.74	300	235	66.75	981.23
	2.62	114.30	2.74	300	235	56.20	901.81
	5.25	114.30	5.90	600	355	107.20	1968.06
	5.25	114.30	5.90	600	355	66.75	1810.94
	5.25	114.30	5.90	600	355	56.20	1723.19
	5.25	114.30	2.74	600	235	107.20	1296.61
	5.25	114.30	2.74	600	235	66.75	1031.92
	5.25	114.30	2.74	600	235	56.20	947.75
	7.87	114.30	5.90	900	355	107.20	1907.29
	7.87	114.30	5.90	900	355	66.75	1713.34
	7.87	114.30	5.90	900	355	56.20	1592.48
	7.87	114.30	2.74	900	235	107.20	1233.24
	7.87	114.30	2.74	900	235	66.75	983.51
	7.87	114.30	2.74	900	235	56.20	877.28
Li vd. [130] (2016)	6.88	102	2.94	702	320	59.36	983
	6.88	102	2.94	702	320	59.36	936
	6.88	102	2.94	702	320	49.36	886
	6.88	102	2.94	702	320	49.36	824
Ye vd. [131] (2016)	3.73	165	2.37	615	287.50	24.16	1008
	3.73	165	2.37	615	287.50	24.16	996
Zhu vd. [38] (2016)	1.78	559.40	16.54	994.85	546	25.36	29590
	1.78	557.65	16.52	994.90	546	25.36	28830
	1.79	558.10	16.53	997.50	546	25.36	29050
Romero vd. [132] (2017)	17.11	193.7	8	3315	444	142	2703
	17.11	193.7	8	3315	444	40	1871
Wang vd. [40] (2017)	2	477	11.36	954	310	73.20	20462
	2	477	11.36	954	310	73.20	20237
	2	477	11.36	954	310	73.20	19854
	2	474	7.42	948	317	73.20	18306
	2	474	7.42	948	317	73.20	17885
	2	474	7.42	948	317	73.20	17787
	2	469	4.66	938	291	73.20	16670
	2	469	4.66	938	291	73.20	15827
	2	469	4.66	938	291	73.20	15239
	2	393	9.38	786	312	73.20	14406
	2	393	9.38	786	312	73.20	14161
	2	393	9.38	786	312	73.20	13936
	2	358	5.66	716	290	73.20	10045
	2	372	3.64	744	320	73.20	9996
	2	358	5.66	716	290	73.20	9947
	2	358	5.66	716	290	73.20	9609
	2	372	3.64	744	320	73.20	9604
	2	372	3.64	744	320	73.20	9163
	2	282	4.36	564	322	73.20	6860
	2	282	4.36	564	322	73.20	6811
	2	282	4.36	564	322	73.20	6380

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	2	235	5.66	470	290	73.20	5390
	2	235	5.66	470	290	73.20	5096
	2	235	5.66	470	290	73.20	5047
	2	250	2.48	500	326	73.20	4871
	2	250	2.48	500	326	73.20	4733
	2	250	2.48	500	326	73.20	4528
	2	153	3.64	306	320	73.20	2274
	2	153	3.64	306	320	73.20	2264
	2	153	3.64	306	320	73.20	2205
	2	157	2.48	314	326	73.20	2117
	2	157	2.48	314	326	73.20	2068
	2	157	2.48	314	326	73.20	2058
	2	153	1.54	306	345	73.20	1872
	2	153	1.54	306	345	73.20	1842
	2	153	1.54	306	345	73.20	1823
Wang vd. [133] (2017)	2.98	220.7	4.3	657	352.1	47.824	4245
	2.99	632.1	7	1890	276	47.824	26002
	2.99	426.8	5.1	1278	259.8	47.824	12360
	2.99	219.4	4.3	657	352.1	47.824	4234
	3.00	426.1	8.2	1278	276.2	47.824	15077
	3.00	425.7	5.1	1278	259.8	47.824	13092
	3.01	425.2	7.9	1278	276.2	47.824	14469
	3.02	626.3	11.2	1890	269.1	47.824	29463
	3.02	626	11.2	1890	269.1	47.824	29294
	3.02	625.6	7.2	1890	276	47.824	23663
	3.03	216.9	2.6	657	590.4	47.824	4244
	3.04	215.9	2.6	657	590.4	47.824	4030
Xiong vd. [134] (2017)	2.19	114.30	3.60	250	428	173.50	2633
	2.19	114.30	3.60	250	428	173.50	2610
	2.19	114.30	3.60	250	403	184.20	2497
	2.19	114.30	3.60	250	403	173.50	2422
	2.19	114.30	3.60	250	403	173.50	2340
	2.19	114.30	3.60	250	403	184.20	2314
	2.74	219.10	10.00	600	381	193.30	9187
	2.74	219.10	10.00	600	381	185.10	9085
	2.74	219.10	5.00	600	380	193.30	8664
	2.74	219.10	5.00	600	380	185.10	7837
	2.74	219.10	6.30	600	300	174.50	7569
	2.74	219.10	6.30	600	300	175.40	7407
	2.74	219.10	6.30	600	300	163.00	6915
	2.74	219.10	6.30	600	300	148.80	6838
	2.74	219.10	10.00	600	381	51.60	5241
	2.74	219.10	5.00	600	380	51.60	3118
	15.37	273	10	4195	412	180	8648
	19.15	219.1	16	4195	374	186	6402
Zhou vd. [41] (2017)	3.61	133	5.80	480	427	84.20	3193
	3.61	133	5.80	480	427	84.20	3187
	3.61	133	5.80	480	427	84.20	3112
	3.78	127	4.20	480	349	84.20	2254

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	3.78	127	4.20	480	349	84.20	2245
	3.78	127	4.20	480	349	84.20	2205
	3.94	203	9.60	800	352	84.20	6010
	3.94	203	9.60	800	352	84.20	5988
	3.94	203	9.60	800	352	84.20	5906
Chen vd. [42] (2018)	2.98	114.90	4.01	342	304.30	130.80	1748
	2.98	114.90	4.01	342	304.30	113.20	1631
	2.98	114.90	3.93	342	304.30	59.00	1163
	3.01	113.70	2.05	342	269.90	130.80	1535
	3.01	113.70	2.06	342	269.90	113.20	1491
	3.01	113.70	2.09	342	269.90	59.00	904
	3.17	107.90	8.03	342	251.80	130.80	1613
	3.17	107.90	8.01	342	251.80	113.20	1482
Ding vd. [135] (2018)	3.17	107.90	7.99	342	251.80	59.00	1249
	2.99	300	3.87	897	311	45.92	5106
	2.99	300	3.74	898	311	45.92	4729
	3	299	3.76	898	311	31.44	3534
Ibanez vd. [136] (2018)	3.02	298	3.70	899	311	31.44	3780
	1.78	168.30	2.80	300	317.80	93.74	2375.70
	1.78	168.30	2.80	300	317.80	37.71	1282.50
	1.89	159.00	3.00	300	336.28	90.85	2021.70
	1.89	159.00	3.00	300	336.28	33.39	1185.70
	2.50	120.00	2.50	300	445.52	94.68	1417.20
	2.50	120.00	2.50	300	445.52	41.44	879.20
	2.95	101.60	3.00	300	425.03	93.51	1075.50
	2.95	101.60	3.00	300	425.03	34.04	703.30
	3	100.00	3.00	300	432.82	93.51	1141.30
Li vd. [137] (2018)	3	100.00	3.00	300	432.09	34.04	724.00
	7.27	165	1.60	1200	375	27.92	885
	7.27	165	1.20	1200	375	27.68	830
Lin vd. [138] (2018)	8	150	1.20	1200	375	26.32	800
	3	190.70	5.30	572.10	382.50	41	2544.80
	3	190.70	5.30	572.10	382.50	41	2530.30
	3	140	4.50	420	462.90	52	1871.60
	3	140	4.50	420	462.90	52	1865.20
	3	140	4.50	420	462.90	39	1763.90
	3	140	4.50	420	462.90	39	1753.80
	3	140	4.50	420	462.90	28	1662.30
	3	140	4.50	420	462.90	28	1646.70
	3	140	4.50	420	374.20	52	1530.40
	3	140	4.50	420	374.20	52	1524.30
	3	140	4.50	420	374.20	39	1406.40
	3	140	4.50	420	374.20	39	1405.00
	3	140	4.50	420	374.20	28	1294.50
	3	140	4.50	420	374.20	28	1275.30
	3	216.30	8.20	648.90	381.10	41	3800.30
	3	216.30	8.20	648.90	381.10	41	3788.40
	3	216.30	4.50	648.90	371.90	41	2751.20
	3	216.30	4.50	648.90	371.90	41	2740.40

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Liu vd. [139] (2018)	3	260	2	780	264.30	53.44	4060
	3	260	2	780	264.30	45.68	3320
	3	200	2	600	264.30	53.44	2723
	3	200	2	600	264.30	45.68	1861
Na vd. [140] (2018)	12	168	6	2016	243	38	1620
Ren vd. [43] (2018)	3	200	3.82	600	432	52.64	3191
	3	200	3.82	600	432	52.64	3152
	3	200	2.90	600	390	52.64	2822
	3	200	2.90	600	390	52.64	2722
	3	200	1.98	600	388	52.64	2546
	3	200	1.98	600	388	52.64	2465
	3	150	3.82	450	432	52.64	1927
	3	150	3.82	450	432	52.64	1846
	3	100	3.82	300	432	52.64	1097
	3	100	3.82	300	432	52.64	1087
Xu vd. [141] (2018)	3	159	3.92	477	367.35	72.51	2662
	3	159	3.92	477	367.35	72.08	2613
	3	159	3.92	477	367.35	64.81	2555
	3	159	4.68	477	346.79	52.88	2526
	3	159	3.92	477	367.35	63.64	2506
	3	159	3.92	477	367.35	53.20	2464
	3	159	3.92	477	367.35	52.88	2379
	3	159	3.92	477	367.35	57.59	2157
	3	159	3.14	477	345.54	52.88	2093
	5	159	3.92	795	367.35	52.88	2139
	8	159	3.92	1272	367.35	72.08	2294
	8	159	3.92	1272	367.35	63.64	2181
	8	159	3.92	1272	367.35	53.20	2179
	8	159	3.92	1272	367.35	52.88	1972
	8	159	3.92	1272	367.35	57.59	1829
	10	159	3.92	1590	367.35	52.88	1951
	12	159	3.92	1908	367.35	52.88	1778
Zhou vd. [44] (2018)	3.70	182.50	2.27	675.00	734	45.40	2284
	3.71	141.44	2.22	525.00	734	42.40	1550
	3.71	141.42	2.35	525.00	734	42.40	1588
	3.71	181.80	2.17	675.00	734	45.40	2405
	3.71	151.50	2.98	562.50	691	45.40	2056
	3.72	262.00	2.16	975.00	734	45.40	4198
	3.72	261.90	2.11	975.00	734	45.40	4302
	3.72	151.05	2.98	562.50	691	42.40	2163
	3.72	221.50	2.17	825.00	734	45.40	3072
	3.73	261.70	2.13	975.00	734	45.40	4120
	3.73	181.15	2.27	675.00	734	42.40	2301
	3.73	140.84	2.37	525.00	734	42.40	1555
	3.73	220.97	2.13	825.00	734	42.40	2990
	3.73	150.62	3.04	562.50	691	45.40	1965
	3.75	220.00	2.13	825.00	734	45.40	3227
	3.48	200	6	695	451	112.10	5099

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Zhu ve Chan [142] (2018)	3.48	200	6	695	451	112.10	5071
	3.48	200	6	695	451	112.10	5040
	3.48	200	6	695	451	80.50	4463
	3.48	200	6	695	451	80.50	4423
	3.48	200	6	695	451	38.00	3519
	3.48	200	6	695	451	38.00	3503
Alrebeh ve Ekmekyapar [143] (2019)	2.80	114.30	3.05	320	380	48.69	960.87
Tam vd. [144] (2019)	4.55	220	4	1000	366	28.14	2913
	4.55	220	4	1000	366	25.07	2493
	4.55	220	4	1000	366	20.49	2401
	4.55	220	4	1000	366	21.64	1962
	4.55	220	4	1000	366	18.92	1907
	4.55	220	4	1000	366	19.47	1666
He ve Zhao [145] (2019)	2.95	72.80	2.85	215	729	49.90	415
	2.97	72.80	2.84	216	729	63.60	487
	2.98	89.30	3.12	266	673	63.60	750
Liao vd. [45] (2019)	3.02	159	4.50	480	401.00	33.76	1745.80
	3.02	159	4.50	480	401.00	34.64	1739.20
	3.02	159	4.50	480	401.00	34.64	1725.40
	3.02	159	4.50	480	401.00	33.76	1715.00
	3.02	159	4.50	480	401.00	35.20	1712.90
	3.02	159	3.80	480	400.70	33.76	1647.80
	3.02	159	3.80	480	400.70	33.76	1642.40
	3.02	159	4.50	480	401.00	35.20	1630.10
	3.02	159	3.80	480	400.70	35.20	1626.80
	3.02	159	3.80	480	400.70	35.20	1624.00
	3.02	159	3.80	480	400.70	34.64	1611.90
	3.02	159	3.80	480	400.70	34.64	1597.60
	3.02	159	2.88	480	383.90	46.96	1551.60
	3.02	159	2.88	480	383.90	46.96	1513.70
	3.02	159	2.88	480	383.90	41.92	1465.90
	3.02	159	2.88	480	383.90	41.92	1451.70
	3.02	159	2.88	480	383.90	33.76	1366.10
	3.02	159	2.88	480	383.90	41.12	1348.70
	3.02	159	2.88	480	383.90	33.76	1333.20
	3.02	159	2.88	480	383.90	35.20	1322.20
	3.02	159	2.88	480	383.90	41.12	1315.60
	3.02	159	2.88	480	383.90	34.64	1309.50
	3.02	159	2.88	480	383.90	34.64	1290.90
	3.02	159	2.88	480	383.90	35.20	1263.60
Yan vd. [46] (2019)	2.99	133.90	5.80	400	378	44.00	1800
	3.01	133.10	4.60	400	380	50.30	1624
	3.01	133.10	4.60	400	370	44.00	1560
	3.01	133.10	4.60	400	380	50.30	1551
	3.01	133.10	4.60	400	370	44.00	1550
	3.01	133.10	4.60	400	352	35.30	1512
	3.01	133.10	4.60	400	380	50.30	1509

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
	3.01	133.10	4.60	400	330	35.00	1396
	3.03	131.80	3.20	400	378	44.00	1273
	3.05	131.10	4.60	400	370	54.00	1845
	3.05	131.10	4.60	400	370	37.30	1535
Ahmad vd. [146] (2020)	2.87	87.10	1.90	250	255	36.22	435
	2.87	87.10	1.90	250	255	36.22	424
	2.87	87.10	1.90	250	255	36.00	415
	2.87	87.10	1.90	250	255	36.00	396
	2.87	87.10	1.90	250	255	29.93	376
	2.87	87.10	1.90	250	255	29.93	355
	2.87	87.10	1.90	250	255	26.00	351
	2.87	87.10	1.90	250	255	26.00	345
	4.02	87.10	1.90	350	255	36.22	410
	4.02	87.10	1.90	350	255	36.00	400
	4.02	87.10	1.90	350	255	36.22	390
	4.02	87.10	1.90	350	255	36.00	380
	4.02	87.10	1.90	350	255	29.93	350
	4.02	87.10	1.90	350	255	26.00	340
	4.02	87.10	1.90	350	255	26.00	325
Cai vd. [50] (2020)	2.47	141.14	6.35	349.00	397	66.80	2386.00
	2.48	140.92	6.34	349.00	397	78.70	2550.30
	2.48	140.88	6.32	349.20	397	55.20	2249.60
	2.48	140.80	6.28	349.60	397	55.20	2238.90
	2.48	140.75	6.29	349.60	397	61.70	2302.80
	2.48	140.66	6.32	349.50	397	72.90	2450.40
	2.49	140.54	6.28	349.50	397	65.20	2418.00
	2.49	140.54	6.26	349.70	397	39.90	2225.50
	2.49	89.14	4.93	222.00	388	66.80	1047.40
	2.49	140.39	6.28	349.70	397	39.90	2190.50
	2.49	140.33	6.29	349.70	397	72.60	2663.70
	2.49	168.53	11.93	420.00	460	72.90	4979.70
	2.49	168.57	11.98	420.50	460	65.20	4992.10
	2.50	139.35	5.09	347.80	458	55.20	2131.70
	2.50	168.33	11.85	420.20	460	61.70	4992.30
	2.50	89.11	4.97	222.50	388	78.70	1085.40
	2.50	168.44	11.98	420.70	460	55.20	4873.50
	2.50	168.44	11.98	420.80	460	72.60	5000.00
	2.50	139.68	5.09	349.00	458	55.20	2204.10
	2.50	168.27	12.06	420.70	460	66.80	4984.90
	2.50	89.01	5.02	222.60	388	39.90	1000.70
	2.50	168.14	12.06	420.50	460	39.90	4917.20
	2.50	168.33	12.08	421.00	460	78.70	4955.50
	2.50	89.04	4.94	222.70	388	65.20	1054.80
	2.50	89.02	5.06	222.70	388	61.70	1050.70
	2.50	89.04	4.99	222.80	388	61.70	1053.90
	2.50	89.04	5.00	222.90	388	65.20	1077.50
	2.50	89.00	4.92	222.80	388	55.20	1050.90
	2.50	89.03	5.03	222.90	388	72.60	1062.30
	2.50	88.98	5.10	222.80	388	72.90	1047.90

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	2.50	89.00	5.04	222.90	388	72.90	1064.70
	2.51	139.60	5.10	349.70	458	72.60	2645.20
	2.51	139.40	5.10	349.30	458	65.20	2332.20
	2.51	139.30	5.07	349.30	458	61.70	2308.80
	2.51	139.56	5.08	350.00	458	39.90	2085.80
	2.51	139.48	5.09	350.00	458	61.70	2312.40
	2.51	139.06	5.13	349.10	458	66.80	2330.20
	2.51	139.35	5.06	349.90	458	72.90	2569.70
	2.51	138.90	5.15	349.10	458	78.70	2510.30
	2.69	140.78	6.31	379.00	397	65.20	2406.60
Gao vd. [147] (2020)	3	90	1.90	270	359	44.88	659.10
	3	90	1.90	270	359	44.88	653.10
	3	90	1.90	270	359	39.44	617.40
	3	90	1.90	270	359	39.44	614.10
	3	90	1.90	270	359	29.76	538.80
	3	90	1.90	270	359	29.76	522.20
Guan vd. [51] (2020)	3.07	114	4.00	350	360	82.40	1857
	3.07	114	4.00	350	360	85.60	1854
	3.07	114	4.00	350	360	84.80	1841
	3.07	114	4.00	350	360	87.20	1806
	3.07	114	3.50	350	372	82.40	1797
	3.07	114	4.00	350	360	83.20	1788
	3.07	114	3.00	350	383	82.40	1788
	3.07	114	3.50	350	372	84.80	1787
	3.07	114	3.50	350	372	83.20	1752
	3.07	114	3.00	350	383	85.60	1739
	3.07	114	3.50	350	372	85.60	1738
	3.07	114	3.50	350	372	83.20	1730
	3.07	114	3.00	350	383	83.20	1728
	3.07	114	3.00	350	383	84.80	1720
	3.07	114	3.50	350	372	87.20	1718
	3.07	114	4.00	350	360	83.20	1718
	3.07	114	4.00	350	360	71.20	1710
	3.07	114	3.00	350	383	87.20	1699
	3.07	114	3.00	350	383	83.20	1693
	3.07	114	4.00	350	360	72.00	1688
	3.07	114	4.00	350	360	64.80	1677
	3.07	114	3.50	350	372	71.20	1671
	3.07	114	4.00	350	360	76.00	1669
	3.07	114	3.50	350	372	76.00	1657
	3.07	114	4.00	350	360	73.60	1657
	3.07	114	3.50	350	372	72.00	1648
	3.07	114	3.00	350	383	64.80	1639
	3.07	114	3.50	350	372	64.80	1631
	3.07	114	4.00	350	380	66.40	1629
	3.07	114	3.50	350	372	73.60	1617
	3.07	114	4.00	350	360	66.40	1614
	3.07	114	3.00	350	383	73.60	1609
	3.07	114	3.00	350	383	76.00	1608

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
(Devamı)	3.07	114	3.00	350	383	72.00	1546
	3.07	114	3.00	350	383	71.20	1544
	3.07	114	3.50	350	372	66.40	1543
	3.07	114	3.00	350	383	66.40	1503
	3.07	114	4.00	350	380	53.60	1459
	3.07	114	4.00	350	380	40.80	1424
	3.07	114	3.50	350	380	66.40	1386
	3.07	114	4.00	350	360	56.00	1375
	3.07	114	4.00	350	360	54.40	1366
	3.07	114	4.00	350	360	52.80	1344
	3.07	114	4.00	350	360	51.20	1314
	3.07	114	3.50	350	372	54.40	1313
	3.07	114	4.00	350	360	55.20	1309
	3.07	114	3.50	350	372	51.20	1283
	3.07	114	3.50	350	372	52.80	1282
	3.07	114	4.00	350	360	51.20	1280
	3.07	114	3.00	350	380	66.40	1279
	3.07	114	3.50	350	372	56.00	1273
	3.07	114	3.50	350	372	55.20	1273
	3.07	114	3.00	350	383	56.00	1267
	3.07	114	3.50	350	372	51.20	1257
	3.07	114	3.00	350	383	51.20	1239
	3.07	114	3.00	350	383	54.40	1227
	3.07	114	3.00	350	383	51.20	1211
	3.07	114	3.00	350	383	52.80	1158
	3.07	114	3.00	350	383	55.20	1138
	3.07	114	3.50	350	380	53.60	1128
	3.07	114	3.50	350	380	40.80	1045
	3.07	114	3.00	350	380	53.60	986
	3.07	114	3.00	350	380	40.80	985
Su vd. [148] (2020)	2.98	108.30	3.90	323	1233	44.38	2433
	2.99	133.40	3.95	398.50	1164	44.38	3110
	2.99	133.20	3.94	398.00	1164	114.90	4111
	2.99	133.30	3.93	398.50	1164	107.10	3764
	2.99	108.20	3.94	323.50	1233	107.10	2783
	3	133.10	3.94	399.00	1164	114.90	4203
	3	88.90	3.91	266.50	1084	44.38	1914
	3	88.90	3.00	266.50	980	114.90	1880
	3	89.00	3.91	267.00	1084	107.10	2083
	3	88.90	3.89	267.00	1084	114.90	2324
	3	88.90	2.98	267.00	980	107.10	1554
	3.01	88.80	3.00	267.00	980	44.38	1400
	3.03	108.60	3.98	329.00	1233	114.90	2729
Tang vd. [149] (2020)	3.50	114.80	3.02	402	355	31	819.20
	3.50	114.80	3.04	402	355	31	807.90
	3.53	113.90	6.84	402	279	31	1316.00
	3.53	113.90	5.01	402	340	31	1104.00
	3.53	113.80	5.04	402	340	31	1052.00
	3.54	113.60	6.77	403	279	31	1294.00

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Tran vd. [48] (2020)	2.19	114.30	6.30	250	428	173.50	2633
	2.19	114.30	6.30	250	428	173.50	2610
	2.19	114.30	3.60	250	403	184.20	2497
	2.19	114.30	3.60	250	403	173.50	2422
	2.19	114.30	3.60	250	403	173.50	2340
	2.19	114.30	3.60	250	403	184.20	2314
	2.74	219.10	10.00	600	381	193.30	9187
	2.74	219.10	10.00	600	381	185.10	9085
	2.74	219.10	5.00	600	380	193.30	8664
	2.74	219.10	5.00	600	380	185.10	7837
	2.74	219.10	6.30	600	300	174.50	7569
	2.74	219.10	6.30	600	300	175.40	7407
	2.74	219.10	6.30	600	300	163.00	6915
	2.74	219.10	6.30	600	300	148.80	6838
	2.74	219.10	6.30	600	300	148.80	6838
Wei vd. [52] (2020)	3	140	10.46	420	773	125.00	6339
	3	140	10.46	420	773	125.00	6187
	3	140	8.36	420	813	125.00	5531
	3	140	8.36	420	813	125.00	5502
	3	140	10.46	420	773	52.50	5420
	3	140	6.27	420	1153	125.00	5386
	3	140	6.27	420	1153	125.00	5354
	3	140	16.72	420	389	125.00	5135
	3	140	16.72	420	389	125.00	5120
	3	140	4.42	420	1020	125.00	4516
	3	140	8.36	420	813	52.50	4436
	3	140	4.42	420	1020	125.00	4312
	3	140	11.58	420	367	125.00	4300
	3	140	6.27	420	1153	52.50	4274
	3	140	11.58	420	367	125.00	4104
	3	140	8.19	420	389	125.00	3398
	3	140	8.19	420	389	125.00	3354
	3	140	6.21	420	359	125.00	3215
	3	140	6.21	420	359	125.00	3202
	3	140	4.42	420	1020	52.50	3020
Yan vd. [152] (2020)	2.61	133.90	5.80	350	389	59.20	1927
	2.61	133.90	5.80	350	389	59.20	1913
	2.61	133.90	5.80	350	378	48.80	1854
	2.61	133.90	5.80	350	378	48.80	1833
	2.61	133.90	5.80	350	364	37.40	1758
	2.61	133.90	5.80	350	345	34.00	1711
	2.61	133.90	5.80	350	345	34.00	1639
	2.66	131.80	3.20	350	398	59.20	1495
	2.66	131.80	3.20	350	398	59.20	1462
	2.66	131.80	3.20	350	378	48.80	1294
	2.66	131.80	3.20	350	378	48.80	1289
	2.66	131.80	3.20	350	353	37.40	1144
	2.66	131.80	3.20	350	320	34.00	1104
	2.66	131.80	3.20	350	320	34.00	1064
	2.66	131.80	3.20	350	320	34.00	1064
	2.98	108.60	4.24	324	394.40	145.90	1882

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu çelik tüplü kolon deney verileri
(Devamı)

Araştırmacı	L/D	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	N (kN)
Zhang vd. [53] (2020)	2.98	108.60	4.24	324	394.40	145.90	1782
	3	108.10	6.01	324	420.90	145.90	2108
	3	108.10	6.01	324	420.90	145.90	2048
Ibanez vd. [56] (2021)	1.88	160	6	300	446.91	94.68	2933.20
	1.88	160	6	300	446.91	41.44	2154.50
	1.89	159	3	300	336.27	90.85	2021.70
	1.89	159	3	300	336.27	33.39	1185.70
	2.95	101.60	5	300	409.35	93.51	1311.00
	2.95	101.60	3	300	425.03	93.51	1075.50
	2.95	101.60	5	300	409.35	34.04	942.20
	2.95	101.60	2	300	397.94	93.51	935.70
	2.95	101.60	3	300	425.03	34.04	703.30
Xiong vd. [151] (2021)	2.95	101.60	2	300	397.94	40.80	582.70
	3.01	133	4	400	315.10	112.20	2237
	3.01	133	4	400	315.10	112.20	2201
	3.01	133	4	400	315.10	48.20	1425
Yan vd. [152] (2021)	3.01	133	4	400	315.10	48.20	1413
	3.57	140	2	500	413	43.84	1420
	3.57	140	2	500	413	36.88	1303
Zeng vd. [153] (2021)	3.57	140	2	500	413	28.16	1130
	2.74	219	6	600	353.49	42.47	3258
	2.74	219	6	600	353.49	42.47	3216
Ma vd. [154] (2022)	3.51	114	2	400	236.90	42.44	1001.82
	3.51	114	2	400	236.90	40.88	889.02
	3.51	114	2	400	236.90	31.50	794.02
	3.51	114	2	400	236.90	23.71	612.09
	3.51	114	2	400	236.90	20.41	560.52
	3.51	114	2	400	236.90	20.81	558.49
	3.51	114	2	400	236.90	14.15	448.28
Bhartiya vd. [57] (2023)	3	140	5.40	420	360	43.10	1618.70
	3	140	5.40	420	360	43.10	1616.50
	3	140	5.40	420	360	39.00	1489.30
	3	140	5.40	420	360	39.00	1480.60
	3	140	5.40	420	360	39.50	1430.30
	3	140	5.40	420	360	32.80	1393.70
	4.29	140	5.40	600	360	43.10	1756.20
	4.29	140	5.40	600	360	43.10	1626.00
	4.29	140	5.40	600	360	43.10	1603.90
	4.29	140	5.40	600	360	43.10	1582.10
	4.29	140	5.40	600	360	39.00	1563.40
	4.29	140	5.40	600	360	39.00	1551.00
	4.29	140	5.40	600	360	39.00	1526.30
	4.29	140	5.40	600	360	39.00	1507.90
	7.00	60	4.50	420	360	43.10	388.90
	7.00	60	4.50	420	360	43.10	380.70
	7.00	60	4.50	420	360	39.00	361.80
	7.00	60	4.50	420	360	39.50	348.20
	7.00	60	4.50	420	360	32.80	343.70

Tablo A.1 Dairesel kesitli beton dolgulu elik tüplü kolon deney verileri

(Devamı)

(Devamı)	10.00	60	4.50	600	360	43.10	381.50
	10.00	60	4.50	600	360	39.00	360.60
	10.00	60	4.50	600	360	39.00	348.80
	10.00	60	4.50	600	360	39.50	331.30
	10.00	60	4.50	600	360	39.50	329.80
	10.00	60	4.50	600	360	32.80	317.10
	10.00	60	4.50	600	360	32.80	286.40



Konferans Bildirileri

1. F. Çıbuk ve S. ALACALI, "Eksenel Yük Etkisindeki Beton Doldurulmuş Dairesel Kesitli Çelik Tüplü Kolonların Taşıma Gücü Tahmini İçin Bir Yaklaşım," 3rd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences (ICEANS 2023), Konya, Türkiye, ss.357-369, 2023

2. F. ÇIBUK ve S. ALACALI, "Beton dolgulu çelik tüplü dairesel kesitli kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin tahmininde narinlik etkisi," 2. International Cankaya Scientific Studies Congress, Ankara, Türkiye, ss.753-787, 2023

