



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETON DOLDURULMUŞ PASLANMAZ ÇELİK TÜP KOMPOZİT
KOLONLARIN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ruken ÖZEL
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
Prof.Dr.SERKAN TOKGÖZ

ADANA 2020

Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

[İmza]

Ruken ÖZEL



ÖZET

BETON DOLDURULMUŞ PASLANMAZ ÇELİK TÜP KOMPOZİT KOLONLARIN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ruken ÖZEL

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

Kasım 2020, 82 sayfa

Sunulan çalışmada, iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların deneysel ve teorik davranışı incelenmiştir. Çalışmada, 10 adet beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon hazırlanmıştır. Kolon numuneler çelik lifli ve lifsizbeton ile üretilmiş, tüp kesit içerisine I-kesitli ve T-kesitli karbon çelik yerleştirilmiştir. Hazırlanan kolon numuneler iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların taşıma gücü ve yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, çelik liflerin kolon deformasyon kapasitesine olumlu etkisi olduğu ortaya konulmuştur. Tüp içerisine yerleştirilen karbon çeliğin kolon burkulmasını önlediği belirlenmiştir. Yapılan araştırmada, test edilen beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon numunelerin sünek davranış yaptıkları gözlenmiştir. Çalışmada ayrıca, beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların analizi için teorik bir yöntem önerilmiştir. Analizde malzemelerin doğrusal olmayan davranışları ele alınmıştır. Yöntemde, beton basınç bölgesi, paslanmaz çelik tüp kesiti ve karbon çelik kesiti şeritlere ayrılmıştır. Her bir şerit ağırlık merkezinde birim deformasyonlar hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan birim deformasyonlar değerleri kullanılarak malzemelerin gerilme–birim deformasyon ilişkilerinden gerilmeler elde edilmiştir. Böylece gerilmeler türünden yazılan denge denklemleri çözümü ile kolon taşıma gücü ve yük-deplasman değerleri belirlenmiştir. Test edilen kolonlar önerilen teorik yöntemle dayalı olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizde, teorik taşıma gücü ve yük-deplasman eğrileri deneysel sonuçlarla uyum içerisinde bulunmuştur. Çalışmada, test edilen kolonların yapısal davranışı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tüp kolon, kompozit kolon, çelik lif, yük-deplasman, gerilme-birim

deformasyon, iki eksenli eğilme.



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOUR OF CONCRETE-FILLED STAINLESS STEEL TUBULAR COMPOSITE COLUMNS

Ruken ÖZEL

M.Sc., Department of Civil Engineering Supervisor:

Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

Kasım 2020, 82 pages

In the presented study, experimental and theoretical behaviour of concrete-filled stainless steel tube composite columns subjected to biaxial bending and axial compression are examined. In the study, ten concrete-filled stainless steel tube composite columns were prepared. Column specimens were constructed with plain and steel fiber concrete, I-shaped and T-shaped carbon steel were embedded into the tube section. The prepared test specimens were tested under biaxial bending and axial compression. In the comprehension of experimental study, ultimate load and load-deflection curves of concrete-filled stainless steel tube composite columns were obtained. In the experimental work, it is revealed that steel fibers had favourable effect on column deformation capacity. It is determined that the structural steel embedded in tube section prevented column buckling. In this research, ductile behaviour was observed for the tested concrete-filled stainless steel tube composite column specimens. In addition, a theoretical method was suggested for the analysis of concrete-filled stainless steel tube composite columns in the study. Nonlinear behaviour of the materials was taken into account in the analysis. In the procedure, concrete compression zone, stainless steel tube section and carbon steel section were divided into segments. The strain values were calculated in the center of each segment. Then, the stresses were attained from the materials' stress-strain relationships using calculated strain values. Thus, the column strength capacity and load-deflection values were obtained from the solution of equilibrium equations written in terms of stresses. The tested columns were analysed based on the proposed theoretical method. In the analysis, the theoretical ultimate strengths and load-deflection curves were obtained in good agreement with the experimental results. The structural behaviour of the tested columns were determined in the study.

Keywords: Tube column, composite column, steel fiber, load-deflection, stress-strain,

biaxial bending.



TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde ve bu çalışmanın oluşmasında değerli bilgileri ve tecrübesiyle katkıda bulunan, hoşgörüsünü esirgemeyen kıymetli hocam Prof.Dr. Serkan TOKGÖZ’e teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans döneminde desteğini gördüğüm Dr.Öğr.Üyesi Kazım Ahmet HAŞİM hocama ve laboratuvar çalışmalarında bana destek olan Arş.Gör. Sedat KARAAHMETLİ’ye teşekkürlerimi arz ederim. Deneysel çalışmaların yürütülmesinde imkan sağlayan Çukurova Üniversitesi’ne teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi, manevi her türlü desteği veren ve her zaman yanımda olan sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

Kasım, 2020

Ruken ÖZEL

Bu tez LTP-19303001 proje numarası ile Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1

1.2. Çalışmanın önemi.....	3
1.3. Tezin anahatları	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Kompozit yapı elemanları	4
2.2. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar	5
2.2.1. Beton doldurulmuş kompozit kolonların kullanım alanları	7
2.2.2. Beton doldurulmuş kompozit kolonların avantajları ve dezavantajları	11
2.3. Önceki çalışmalar	11
3. MALZEME ve YÖNTEM.....	22
3.1. Deneysel çalışma	23
3.1.1. Malzemeler	23
3.1.2. Deney numuneleri ve numune hazırlığı	25
3.1.3. Deney yöntemi	31
3.2. Analitik çalışma.....	40
3.2.1. Yöntemde kullanılan temel varsayımlar	40
3.2.2. Sargılı beton için gerilme-birim deformasyon modeli.....	41
3.2.3. Paslanmaz çelik için gerilme-birim deformasyon modeli	43
3.2.4. Karbon çelik için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	45
3.2.5. Analiz yöntemi formülasyonu	46
3.2.6. Temel denge denklemleri.....	48
3.2.7. Narinlik etkisi	48
3.2.8. Analiz yöntemi hesap adımları	50
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	51
4.1. Test edilen kolonların analizi	51
4.2. Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon analizi.....	62
5. SONUÇLAR	64
6. ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	69



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon yapı elemanı	3
Şekil 2.1. (a-c) Farklı tasarlanmış beton doldurulmuş tüp kolon kesitleri	5
Şekil 2.2. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon kesiti	6
Şekil 2.3. Farklı geometrik şekillerdeki beton doldurulmuş çelik tüp kolon kesitleri	7
Şekil 2.4. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon uygulamaları	8
Şekil 2.5. Canton Kulesi (Çin)	8
Şekil 2.6. Tokyo Skytree (Japonya)	9
Şekil 2.7. Bosideng Köprüsü (Çin)	9
Şekil 2.8. Two Union Square (Amerika)	10
Şekil 2.9. Casselden Place (Avustralya)	10
Şekil 3.1. Beton üretiminde kullanılan çelik lifin fotoğraf görüntüsü	
25	
Şekil 3.2. Kolon kesit ve ölçülerinin şematik olarak gösterimi: (a) çelik lif katkısız beton dolgulu Seri I, (b) çelik lif katkılı beton dolgulu Seri I, (c) çelik lif katkısız beton dolgulu Seri II ve (d) çelik lif katkılı beton dolgulu Seri II (çizimler üzerindeki bütün ölçüler mm cinsinde verilmiştir).	28
Şekil 3.3. Kompozit kolonların kesit fotoğrafı: (a) I-kesitli (Seri I) ve (b) T-kesitli (Seri II)	29
Şekil 3.4. Karbon çelik içeren kompozit kolonların beton ile doldurulma süreci: (a) I-kesitli (Seri I) ve (b) T-kesitli (Seri II)	30
Şekil 3.5. Basınç dayanımı tayini için silindir numune alımı: (a) çelik lifsiz ve (b) çelik lifli beton	31
Şekil 3.6. 150×300 mm boyutlarında silindir beton numuneleri: (a) laboratuvar ortamında kalıpta bekletilirken ve (b) suda kür edilme durumu	31
Şekil 3.7. Kompozit kolon numuneleri	32
Şekil 3.8. Deney düzeneğinin: (a) fotoğraf ve (b) şematik görüntüsü	34
Şekil 3.9. 150×300 mm standart silindir beton numunesinin basınç dayanım testi Basınç dayanım testi yapılan silindir beton numunelerin, test sonrası görünümleri verilmiştir (Şekil 3.10).	35
Şekil 3.10. Beton silindir numunelerin basınç dayanım testinden sonraki görünümleri	35

13 .11. Kolon numunelerde oluşan deformasyonlar	37
Şek 13 .12. Çelif lif katkısız ve katkılı beton dolgulu birinci seri kompozit kolonların deney sonucu elde edilen x ve y eksenlerindeki yük deplasman eğrileri	39
Şek 13 .13. Çelif lif katkısız ve katkılı beton dolgulu ikinci seri kompozit kolonların deney sonucu elde edilen x ve y eksenlerindeki yük deplasman eğrileri	41
Şek 13 .14. Sargılı beton için gerilme-birim deformasyon ilişkisi	43
Şek 13 .15. Paslanmaz çelik için gerilme-birim deformasyon ilişkisi (Rasmussen, 2003)	45
Şek 13 .16. Karbon çelik için gerilme-birim deformasyon ilişkisi	47
Şek 13 .17. Beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolon kesiti	48
Şek 13 .18. İki ucu mafsallı eğilmiş beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolon	50
Şek 14 .1. Çelif lif katkısız beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolon deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri	56
Şek 14 .2. Çelik lif katkılı beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolon deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri	58

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Paslanmaz ve yapısal karbon çeliğin mekanik özellikleri	24
Tablo 3.2. Beton karışımlarının bileşen oranları (kg/m ³)	24
Tablo 3.3. Beton karışımlarının bileşen oranları (kg/m ³)	25
Tablo 3.4. Beton basınç dayanımı ve dışmerkezlilik değerleri	36
Tablo 4.1. Kolon numune deneysel ve analiz taşıma gücü ve oransal değerleri	52
Tablo 4.2. Farklı beton sınıfı dikkate alınarak yapılan analiz sonucu	59
Tablo 4.3. Farklı boy etkisi dikkate alınarak yapılan analiz sonucu	59



KISALTMALAR

- : Kesit alan
- : Beton kesit alanı
- : Paslanmaz çelik alanı
- : Karbon çelik alanı
- B : Çelik tüp kolon genişliği D : Çelik tüpün dış çapı d : Kesit derinliği
- : 2 değeri
- : Elastisite modülü
- : Uygulanan yükün dışmerkezlik değeri
- : Beton elastisite modülü
- : Karbon çelik elastisite modülü
- : x eksen yönündeki dışmerkezlik
- : y eksen yönündeki dışmerkezlik
- : Paslanmaz çelik elastisite modülü
- : Beton basınç dayanımı
- : Sargı etkili beton basınç dayanımı
- : Karbon çelik akma dayanımı
- : Kolonun etkili boyu
- : Moment
- : Pekleşme parametresi
- : x yönündeki moment
- : y yönündeki moment
- : Eksenel kuvvet
- : Taşıma gücü eksenel kuvveti t : Çelik tüp et kalınlığı
- : x-eksenine göre beton şerit ağırlık merkezi ile kompozit kesit ağırlık merkezi arasındaki mesafe
- : x-yksen takımına göre *i*. nokta x koordinatı

: Kompozit kesit plastik merkeze göre ağırlık merkezi x koordinatı
: x-eksenine göre paslanmaz çelik tüp şerit ağırlık merkezi ile kompozit kesit ağırlık merkezi arasındaki mesafe

: x-eksenine göre karbon çelik tüp şerit ağırlık merkezi ile kompozit kesit ağırlık merkezi arasındaki mesafe

: y-eksenine göre beton şerit ağırlık merkezi ile kompozit kesit ağırlık merkezi arasındaki mesafe

: x-y eksen takımına göre i. nokta y koordinatı
: Kompozit kesit plastik merkeze göre ağırlık merkezi y koordinatı
: y-eksenine göre paslanmaz çelik tüp şerit ağırlık merkezi ile kompozit kesit ağırlık merkezi arasındaki mesafe

: y-eksenine göre karbon çelik tüp şerit ağırlık merkezi ile kompozit kesit ağırlık merkezi arasındaki mesafe

: Gerilme

: Betondaki gerilme

: Paslanmaz çelik gerilmesi

: Çelik kopma gerilmesi

: Karbon çelik gerilmesi

: Sargı etkisi

: Birim deformasyon

: Betondaki birim deformasyon

: Şerit betonun basınç birim deformasyonu

: Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim deformasyon

: Herhangi bir noktadaki birim deformasyon

: Paslanmaz çelik birim deformasyonu

: Paslanmaz çelik şeridi birim deformasyonu

: Kopma şekil değiştirme parametresi

: Karbon çelik birim deformasyonu

: Karbon çelik şeridi birim deformasyonu

: Karbon çelik akma şekil değiştirmesi

- : Kolon orta bölgesi deplasmanı
- : Kolon orta bölgesi x yönündeki deplasman
- : Kolon orta bölgesi y yönündeki deplasman
- : Eğrilik
- : Azaltma faktörü
- : Katsayı



1. GİRİŞ

1.1. Genel

Dünyadaki küreselleşmenin ve küçük şehirlerdeki imkânların azalmasıyla birlikte, insanlar iş ve yaşam şartlarını iyileştirmek amacıyla büyük şehirlere göç etmekte ve her geçen gün göç sayısı artmaktadır. Eski yıllarda ahşap ve taş kullanılarak inşa edilen binalar, günümüzde artan ihtiyaç ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak betonarme ve çelik malzemeler ile oluşturulan çerçeve, perde, çelik tüp veya karmaşık taşıyıcı sistemler kullanılarak inşa edilmektedir. Bununla beraber büyük şehirlerde artan nüfus nedeniyle yapıya olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Fakat ihtiyacı karşılamak için gerekli olan alan sınırlı olduğundan yüksek binalar çözüm yolu olarak sunulmaktadır. Çok katlı betonarme yapıların inşasında yüksek dayanımlı beton gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Ancak bilindiği gibi yüksek dayanımlı beton gevrek malzeme olduğundan özellikle deprem etkisi altında yeterince deformasyon yapamadan ani olarak kırılabilmektedir. Söz konusu durum yapısal davranış bakımından istenmeyen davranış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bahsi geçen olumsuz etkinin giderilebilmesi bakımından, çeşitli çözüm yöntemleri ortaya konulmaktadır. Betonun gevrek davranışının giderilmesi için çelik lif takviyeli beton malzemeler geliştirilmiştir. Çelik lif takviyeli betonların yüksek dayanımlı yapı elemanlarında kullanılmasıyla söz konusu elemanların deformasyon yapabilme kapasitesini arttırma yoluna gidilmiştir. Bunlara ilave olarak beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar yüksek taşıma gücü kapasitelerine sahip olduklarından tercih edilen yapı elemanlarıdır. Söz konusu kolonlar dışta çelik tüp ve tüp içerisine doldurulan beton ile tasarlanmaktadır. Çelik tüp elemanlara beton yerleştirilmesiyle imal edilen kolonun taşıma gücü kapasitesi artmakta ve kolon burkulması önemli düzeyde azaltılmaktadır. Bu tür kolonlarda çelik ve betonun yerleşim düzeni kolonun dayanım ve rijitliği için optimum çözüm sunmaktadır. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarda, betondan daha büyük elastisite modülüne sahip çeliğin kolonun en dış çevresi boyunca yerleştirilmesinden dolayı çelik tüp kolonun, eğilme momenti ve çekme gerilmeleri etkisi altında etkin davranış göstermesi sağlar.

Günümüzde beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar ABD, Japonya, İngiltere, Azerbaycan, Fransa ve diğer bazı ülkelerde; köprü ve iskele ayaklarında, yüksek binalarda ve diğer bazı mühendislik yapılarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar geleneksel betonarme kolonlarla kıyaslandığında pek çok avantaj sunmaktadır.

Betonarme yapı elemanlarına göre; tekrarlı yük etkisi altında daha iyi dayanım, süneklik ve enerji sönümleme avantajlarına sahiptir. Beton doldurulmuş elik tüp kolon yapı elemanları yapım süresi ve ekonomik açıdan da büyük avantajlar sunmaktadır. Uygulamada elik tüp kalıp görevi gördüğünden, geleneksel betonarme yapılarıdaki donatı, kalıp işiliğ vb. işlemlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca dikdörtgen şeklindeki beton doldurulmuş elik tüp kolon yapı elemanları kolay kiriş-kolon birleşim detayı oluşturarak, tasarım aşamasında kolaylık sağlarken, maliyette de tasarruf sağlar. Son dönemlerde araştırmacılar dayanımı çok yüksek beton kullanarak geleneksel betonarmeye göre kesitleri daha küçük fakat dayanımı daha yüksek beton doldurulmuş elik tüp kolonlar sayesinde mimari açıdan geniş kullanım alanı sağlamaktadır.

Son zamanlarda beton doldurulmuş elik tüp kolon kullanımı artarken, paslanmaz eliğın karbon eliğ göre birçok avantajından dolayı beton doldurulmuş paslanmaz elik tüp kolonların kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Paslanmaz elik ile üretilen yapı elemanları korozyona karşı direnç göstermesi, dayanıklılığı, enerjiyi yutma kapasitesi, daha uzun süre kullanılabilir olmaları ve estetik görünümlerinden dolayı modern yapılarda kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Hava değişimleri karbon eliğın yapısına zarar verip, kullanım ömrünü azaltırken; paslanmaz çelikte böyle bir durum söz konusu değildir. Paslanmaz eliğın fiyatının karbon elik fiyatına göre çok daha yüksek olması dezavantaj olarak söylenebilir. Ancak paslanmaz eliğın özellikle yapısal avantajları göz önüne alındığında yapılarda kullanımının faydalı olduğu ön plana çıkmaktadır.



Şekil 1.1. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon yapı elemanı

Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonlar içerisine yapı çeliği uygulamak suretiyle kompozit kolon elemanlar tasarlanabilir. Söz konusu kolonlar dışta paslanmaz çelik tüp, tüp içerisinde karbon yapı çeliği ve bu iki çelik malzeme arasına çelik lifli ve lifsiz beton doldurularak imal edilmektedir. Söz konusu beton ve çelik malzemeler kullanılarak dayanım ve rijitlik kapasitesi yüksek yapısal elemanlardan olan beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonlar üretilmektedir.

1.2. Çalışmanın önemi

Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların davranışının belirlenmesi üzerine çalışmalar oldukça kısıtlı kalmıştır. Bu nedenle, sunulan çalışma kapsamında farklı kesitli yapısal çelik içeren beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon numuneler hazırlanmış ve bu kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki davranışları belirlendi. Bu çalışmada kolon numuneler çelik lif takviyeli ve takviyesiz beton ile üretilmiş olup farklı dışmerkezlik değerlerinde yük uygulanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında kolonların taşıma gücü kapasiteleri ve yük-deplasman davranışları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların davranışının teorik olarak belirlenmesi üzerine malzemelerin doğrusal olmayan davranışlarını esas alan teorik bir yöntem önerilmiştir. Test edilen kolon numuneler söz konusu yöntem ile analiz edilerek elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

1.3. Tezin anahatları

Bölüm 1 – Giriş

Bölüm 2 – Önceki çalışmalar

Bölüm 3 – Malzeme ve yöntem Bölüm

4 – Bulgular ve tartışma

Bölüm 5 –Sonuçlar

Bölüm 6 – Öneriler

Bölüm 1 – Giriş: Tezin konusu ve önemi ile ilgili genel bilgi verildi.

Bölüm 2 – Önceki çalışmalar: Beton doldurulmuş çelik tüp kompozit kolonların yapısı, özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili yapılan araştırma görsellerle beraber sunuldu. Beton doldurulmuş çelik tüp kompozit kolon üzerinde ayrıntılı literatür çalışması yapıldı ve önceki araştırmalar sonuçlarıyla beraber sunuldu.

Bölüm 3 – Malzeme ve yöntem: Burada sunulan tezde kullanılan malzeme ve yöntem açıklandı. İki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların davranışının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışma sunuldu.

Bölüm 4 – Bulgular ve tartışma: Parametrik test sonuçlarının belirtilmesi, değerlendirilmesi ve tartışılması sunuldu. Test edilen beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonlar önerilen yöntemle dayalı bilgisayar programı ile analiz edildi. Elde edilen deneysel test sonuçları ve bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldı. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular sunuldu.

Bölüm 5 –Sonuçlar: Çalışmada, beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların davranışını ortaya koyan teorik bir yöntem önerildi ve elde edilen sonuçlar sunuldu.

Bölüm 6 – Öneriler: Gelecekteki çalışmalar için öneriler sunuldu.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

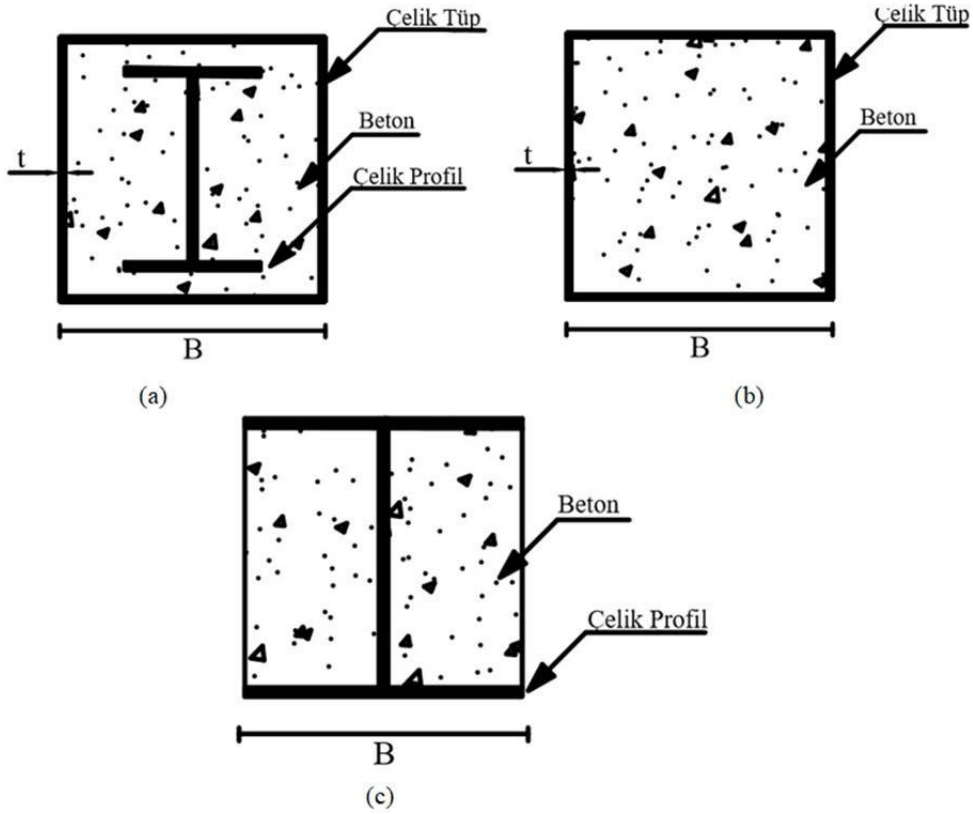
2.1. Kompozit yapı elemanları

Kompozit yapılar, yapı taşıyıcı sistemlerinde aynı anda ahşap, çelik ve beton gibi farklı malzemelerin kombinasyonlarının tasarlanmasıyla inşa edilen yapılardır. Kompozit yapılarda

yüksek esnekliğe ve gerilmeye karşı yüksek dayanıma sahip olan çelik ile basınca ve korozyona karşı yüksek dayanım gösteren beton farklı şekillerde bir arada kullanılarak; kompozit kolonlar, kompozit kirişler ve kompozit döşemeler meydana gelir. Kompozit yapı elemanındaki amaç; iki temel yapı sisteminden doğan sıkıntıları minimuma indirmektir. Çelik yapı endüstrisinin gelişmesiyle birlikte kompozit kolon kullanımı yaygınlaşmıştır. Kompozit kolonlar 3 farklı şekilde tasarlanabilmektedir (Şekil 2.1(a-c)).

I - Betona gömülü yapısal çelik elemanlar ile oluşturulmuş kompozit kolonlar (Şekil.2.1(a)). II- İçine beton doldurulan kapalı kutu çelik kesitlerle oluşturulmuş kompozit kolonlar (Şekil.2.1(b)).

III- Gövde boşlukları betonla doldurulan yapısal çelik kesitlerle oluşturulmuş, yarı gömme kompozit kolonlar (Şekil.2.1(c)).

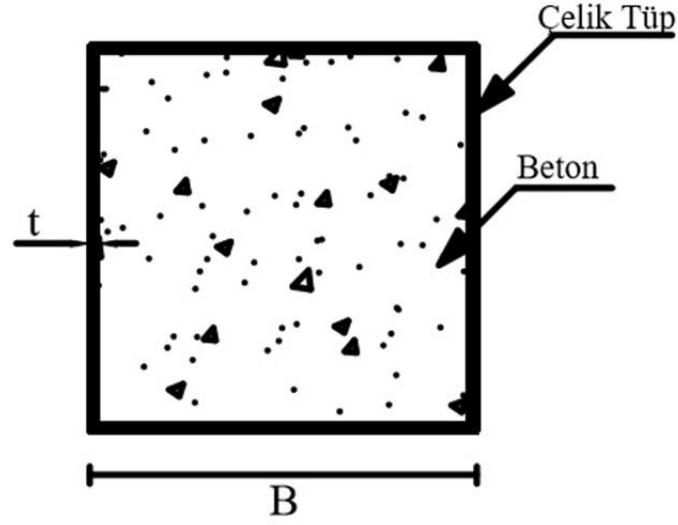


Şekil 2.1. (a-c) Farklı tasarlanmış beton doldurulmuş tüp kolon kesitleri

2.2. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar

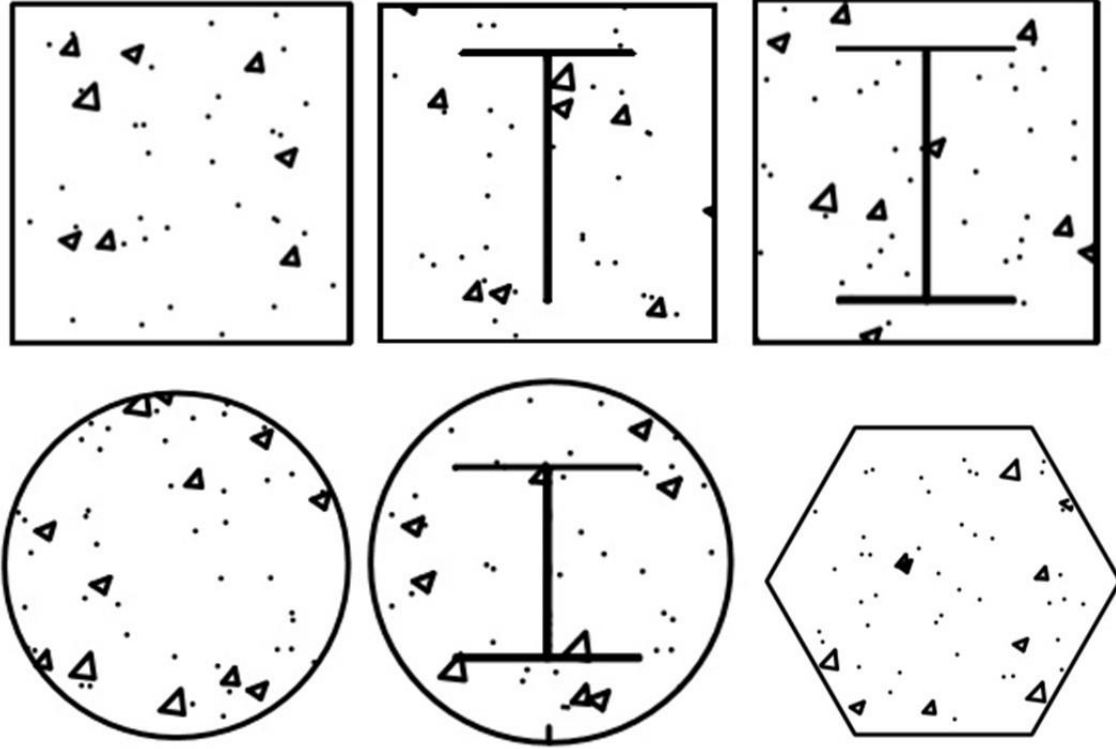
Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar, elasto-plastik özelliğe sahip olan ince et çelik boru ile onun içerisinde dolduran ve gevrek bir malzeme olan betonun birleşimi sonucu farklı mekanik özelliklere sahip olan yapı elemanlarıdır. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarda, çelik tüp içerisine doldurulan beton için aynı zamanda kalıp görevini görür. Şekil 2.2’de gösterilen beton

doldurulmuş çelik tüp kolon kesitinde, 't' çelik tüpün et kalınlığını, 'B' ise tüp kolonun genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 2.2. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon kesiti

Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar aşağıdaki kesitlerde gösterildiği gibi farklı geometrik şekillerde tasarlanabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Farklı geometrik şekillerdeki beton doldurulmuş çelik tüp kolon kesitleri

2.2.1. Beton doldurulmuş kompozit kolonların kullanım alanları

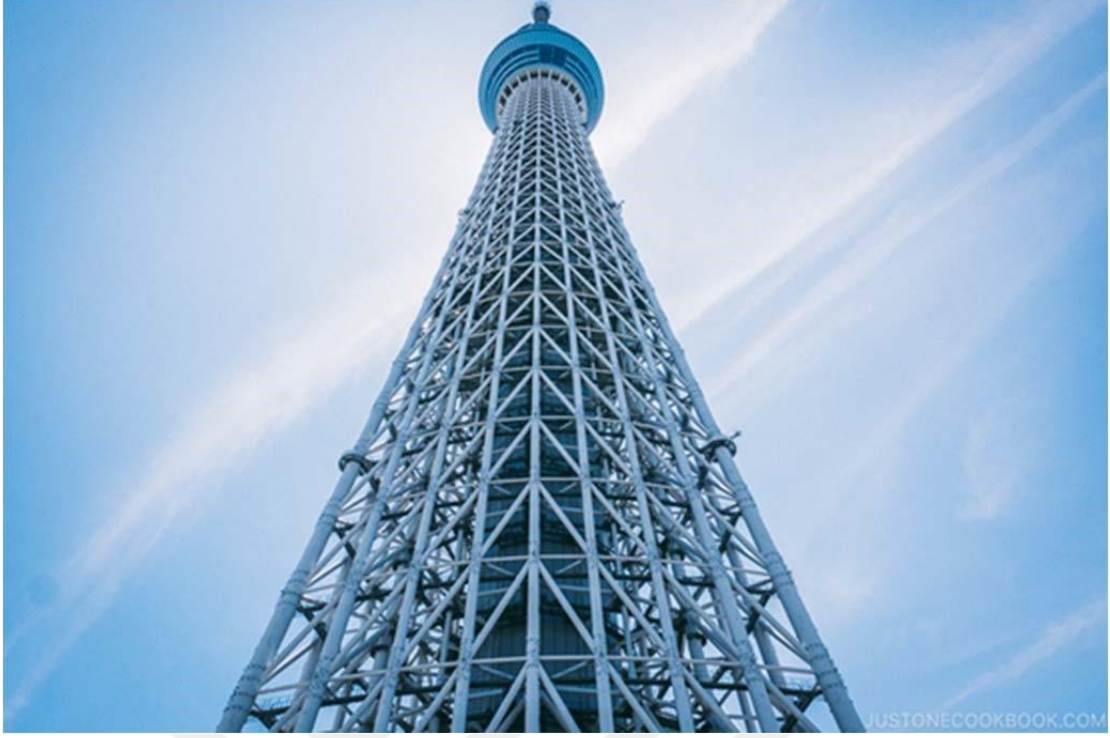
Günümüzde artan nüfus yoğunluğuyla birlikte barınma ihtiyacı da artmaktadır. Artan ihtiyaçla beraber yetersiz kalan alanlarda, gelişen imkanlar doğrultusunda mühendisler daha avantajlı ve uzun ömürlü binalar inşa etmek için çalışmalar yapmaktadır. Yüksek dayanımlı beton kullanımının son yıllarda yaygınlaşması ile kolonlardaki büyük eksenel yüklerin ekonomik olarak karşılanabilmesi için kullanılan yöntemler de artmıştır. İçerisi beton doldurulmuş çelik tüp kolonların avantajının olması ve yüksek yapılarda kullanımıyla birçok yüksek katlı yapı inşa edilmiştir. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar sadece yüksek binalarda değil, köprü ve iskele ayaklarında vb. mühendislik yapılarında kullanılmaktadır (Şekil 2.4). Beton doldurulmuş çelik tüp kolonların kullanıldığı bazı yapılar; AT&T Gateway Tower (Chicago), Jin Mao Kulesi (Çin), Forrest Center (Perth), DiWang binası (Shenzhen), Taipei (Tayvan), Two Internasyonal Finans Merkezi (Hong Kong), Canton Kulesi (Çin) (Şekil 2.5), Tokyo Skytree (Japonya) (Şekil 2.6), Bosideng Köprüsü (Çin) (Şekil 2.7), Union Square (Amerika) (Şekil 2.8), Casselden Place (Avustralya) (Şekil 2.9).



Şekil 2.4. Beton doldurulmuş  elik tüp kolon uygulamaları



Şekil 2.5. Canton Kulesi (Çin)



Şekil 2.6. Tokyo Skytree (Japonya)



Şekil 2.7. Bosideng Köprüsü (Çin)



Şekil 2.8. Two Union Square (Amerika)



Şekil 2.9. Casselden Place (Avustralya)

2.2.2. Beton doldurulmuş kompozit kolonların avantajları ve dezavantajları

Kompozit yapılar son dönemlerde yüksek katlı binaların tasarımlarını kolaylaştırırken, deprem bölgelerindeki yapılar için de iyi bir çözüm sunmaktadır. Çelik tüplerin içine beton doldurularak inşa edilen beton doldurulmuş tüp kolonlar, geleneksel betonarme kolonlara göre pek çok avantaj sağlamaktadır. İçerisi beton doldurulan çelik tüp kalıp görevi gördüğünden, kalıp işçiliğine gerek kalmamakta ve bu da işçilikle beraber ekonomik avantaj sağlamakta dolayısıyla inşaat hızını artırmaktadır. Ayrıca çelik tüp kolon içerisine yerleştirilen betonun bakım gerektirmemesi de avantajları arasında sayılabilir. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonların yapısal olarak sağladığı en önemli avantaj ise eksenel yük taşıma ve enerji yutma kapasitesine sahip olması, daha fazla dayanım ve süneklik göstermesidir. Kalkan görevi gören çelik tüp, betonun büyük yüklemeler altında çekirdek betonun parçalanıp dağılmasını önlemektedir. Ayrıca, çelik tüp içerisine yerleştirilen beton sayesinde elemanın burkulması engellenmektedir.

Beton doldurulmuş çelik tüp kolon kullanımının avantajları yanında dezavantajları da bulunmaktadır. En belirgin dezavantajı, söz konusu yapı elemanında davranışı farklı olan iki malzemenin bir arada kullanılması ile hesaplama zorluğunun ortaya çıkmasıdır. Ayrıca beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarla ilgili çalışmaların kısıtlı olması nedeniyle, hesap yöntemlerinin daha fazla geliştirilmesi gerekmekte olduğundan söz konusu durum dezavantaj olarak söylenebilir.

2.3. Önceki çalışmalar

Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonların davranışı çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Han ve Yao (2003), beton doldurulmuş çelik tüp dikdörtgen kolonların dayanımı üzerine araştırma yapmıştır. Hazırladıkları 35 adet beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerini teste tabi tutmuşlardır. Bu numunelerde kolon kesit derinliğinin genişliğe oranı 1.0 ile 2.0 arasında, tüp derinliğinin kalınlığa oranı 34 ile 36 arasında, yük eksantrikliği 0 ile 31 mm, kolon narinlik oranı 21 ile 62 arasında seçilmiştir. Farklı beton yerleştirme yöntemleri kullanarak kompozit kolonlar üzerindeki etkisinin sonucunda; beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarda; vibratör ile yerleştirilmiş betonun nihai dayanımının elle yerleştirilmiş betondan daha yüksek olduğunu, kısa kolonlarda bu dayanım %3-30 arasında değişkenlik gösterirken, narin

kolonlarda %20-27 arasında değişkenlik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak; daha iyi bir beton yerleştirme yöntemiyle, yapı elemanın taşıma gücünün artırılabilceğı kanaatine varmışlardır.

Al-Rodan ve Al-Tarawnah (2003) yüksek dayanımlı beton ile doldurulmuş dikdörtgen kesitli çelik tüp kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini gerçekleştirmişler ve Eurocode-4 yönetmeliğinin geçerliliğini göstermek amacıyla karşılaştırmalar yapmışlardır. Ele edilen deneysel sonuçları Eurocode-4 ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yüksek dayanımlı beton ile doldurulmuş dikdörtgen çelik tüp kirişler için Eurocode-4'ün tasarım yöntemlerinin genellikle güvenli tarafta kaldığını ve yük-deplasman eğrilerinin test sonuçlarıyla uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

Liuve diğ. (2003) yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş dikdörtgen kesitli çelik tüp kolonları test ederek taşıma gücü kapasitelerini elde etmişlerdir. Çalışma kapsamında 22 adet beton doldurulmuş dikdörtgen çelik tüp kolon numunesi hazırlamışlardır. Beton basınç dayanımı 70.8 MPa ile 82.1 MPa ve çelik akma dayanımı 550 MPa öngörülmüştür. Elde ettikleri deney sonuçlarını Eurocode 4 (EC4), American Institute of Steel Construction(AISC) ve American Concrete Institute (ACI) yönetmeliklerine dayalı olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Karşılaştırılan verilerde, EC4'e göre %60 oranında yakın sonuçlar elde edildiğı, ancak AISC yönetmeliğine göre % 16 ve ACI için ise % 14 oranında yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kesit oranında azalmanın numunenin taşıma gücünde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir.

Fujimoto ve diğ. (2004) beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarda yüksek dayanımlı malzemelerin eğilme davranışı üzerindeki etkisini araştırmak ve matematiksel modellerini oluşturmak amacıyla çalışma yapmışlardır. 33 adet dairesel, 32 adet kare kesitli olmak üzere toplam 65 adet beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunesi üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Beton dayanımı mukavemeti 25.4-80.3 MPa ve çap/kalınlık oranı değişken olan çelik boruların akma dayanımı 262-835 MPa arasında değişen malzeme kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, yüksek dayanımlı beton kullanımı genel olarak dairesel beton doldurulmuş çelik tüp kolonların sünekliğinde azalmaya neden olduğunu; fakat süneklik davranışının, betonun yüksek dayanımlı çelik tüp içine doldurulmasıyla veya küçük çap/kalınlık oranı küçük bir çelik tüp kolonunun kullanımıyla iyileştiğı sonucuna varmışlardır. Yüksek mukavemetli dolgu betonunun kullanılması genel olarak dairesel kesitli beton

doldurulmuş çelik tüp kolonunun sünekliğinde azalmaya neden olmuştur. Bununla birlikte, süneklik davranışı, betonun yüksek mukavemetli bir çelik boru içinde veya küçük çap/kalınlık oranına sahip tüp içinde sarılmasıyla iyileştiğini göstermişlerdir. Kare şeklindeki beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarda sargı etkisi nedeniyle eğilme mukavemetinde bir artış beklemediklerini ve genişlik-kalınlık oranlarına sahip kare beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarda eğilme mukavemeti değerlendirilirken, yerel burkulmanın etkisi göz önünde bulundurulmaması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Liu (2004) yüksek dayanımlı beton doldurulmuş dikdörtgen çelik tüp kolonların eksantrik yük altındaki davranışını incelemiştir. Kesit oranı, narinlik oranı, yük dışmerkezliği/kesitin enine genişliği (e/B) değişken olarak seçilen 12 adet beton doldurulmuş dikdörtgen çelik tüp kolon numunesi üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Söz konusu çalışmada, tasarım kapasiteleri beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar için EC4, ACI ve AISC yönetmelikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Numunelerin deneysel kapasiteleri, yönetmeliklerin öngördüğü tasarım değerleriyle karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, Eurocode 4'e göre % 3'lük bir farkla kolonların taşıma gücü kapasitelerini geçtiğini, diğer yandan ACI ve AISC için yüklerini sırasıyla % 11 ve % 25 oranında uzak sonuçlar elde edildiğini ifade etmiştir.

Zeghiche ve Chaouib (2005) beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar hazırlayarak laboratuvarında test etmişlerdir. Söz konusu çalışmada 27 adet beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunesi hazırlayarak, kolon kesit özelliği, yükleme durumu ve beton basınç dayanımını test parametreleri olarak belirlemişlerdir. Bu parametrelerin beton doldurulmuş çelik tüp kolonun dayanımına ve davranışına etkisini incelemişlerdir. Kolonda yüksek dayanımlı beton kullanımının yük taşıma kapasitesini arttırdığını ifade etmişlerdir. Fakat yüksek dayanımlı beton kullanıldığında elde edilen yük-dayanım ilişkisi normal dayanımlı beton kullanılan kolonlara kıyasla daha yüksek oranda azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Eksenel ve eksantrik olarak yüklenmiş kolonlar için EC4 tahminleri güvenli tarafta elde edilmiştir. İlk eksenli eğilme altındaki kolonlar için ise söz konusu durumun tam tersi olduğunu belirtmişlerdir.

Ellobody ve Young (2005) beton doldurulmuş soğuk şekillendirilmiş paslanmaz çelik tüp kolonların tasarımı ve davranışı üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışma için doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli sunmuşlardır. Enine kesit derinliği/et kalınlığı (d/t) oranı 16 ile 96 arasında olan farklı uzunluklardaki 40 adet beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolon numunesinin uzunluk-derinlik oranının

3 olarak sabit tutmuşlardır. Çalışmada 20 MPa ile 100 MPa arasında değişen dayanımlar ile sonlu elemanlar analizini kullanarak analiz gerçekleştirmişlerdir. Amerikan ve Avustralya/Yeni Zelanda şartnameleri kullanılarak hesaplanan tasarım kuvvetinin, d/t oranının 60 dan küçük olan betonla doldurulmuş soğuk şekillendirilmiş paslanmaz çelik kare ve dikdörtgen kesitli kolonlar için koruyucu olduğu, d/t oranının 60 dan büyük olan kolonlar için daha koruyucu olduğunu göstermişlerdir. Kolonları sonlu elemanlar modeli kullanılarak analiz etmişler ve sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen kolon taşıma gücü değerleri, Amerikan ve Avustralya / Yeni Zelanda standartları kullanılarak hesaplanan tasarım değerleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonlar için yeni bir tasarım denklemi önermişlerdir. Önerilen denklem kullanılarak elde edilen tasarım sonuçlarının Amerikan ve Avustralya / Yeni Zelanda yönetmeliklerinden elde edilen sonuçlara göre daha doğru olduğunu belirlemişlerdir. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçları, deney sonuçları ile doğrulamışlardır.

Liang ve diğ. (2005) beton doldurulmuş çelik tüp kolonların yerel burkulma etkisindeki doğrusal olmayan analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada doğrusal olmayan lifli eleman analiz yöntemi sunmuşlardır. Geometrik eksiklikler ve artık gerilmeleri olan çelik levhalar için etkili olan genişlik formülleri, yerel burkulma etkilerini hesaba katacak şekilde analiz programına dahil etmişlerdir. Geliştirdikleri hesaplama tekniğinde kesit ve süneklik performansını analiz etmek için iki performans endeksi önermişlerdir. Genişlikkalınlık oranlarının ve beton basınç dayanımının, beton doldurulmuş çelik kutu kolonların nihai dayanımı ve sünekliği üzerindeki etkiyi ölçmeye yönelik olan sunulan bu analiz programında, genişlik-kalınlık oranının artırılması, aynı beton ile doldurulmuş çelik kutu kolonların nihai dayanımını, eksenel rijitliğini, kesit performansını ve sünekliğini azalttığını sonucuna ulaşmışlardır. Geliştirilen yönteminin, betonla doldurulmuş ince kalınlıklı çelik kutu kolonların nihai yüklerini ve davranışlarını iyi tahmin ettiği ve tasarımda doğrudan kullanılabilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Ellobody ve diğ. (2006) normal ve yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş dairesel kesitli kolonların davranışlarını incelemişlerdir. Dayanımları 30 MPa ile 110 MPa arasında değişen beton kullanılarak, çelik tüpün dış çapı ile çelik tüp et kalınlığının oranı (D/t) 15 ile 80 arasında değişen 40 adet numune hazırlayıp teste tabi tutmuşlardır. Çalışmada, normal ve yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş dairesel tüp kolonların analizi için doğrusal olmayan hesaplama yöntemine dayalı sonlu elemanlar modeli sunmuşlardır. Farklı beton dayanımlarına ve farklı boyutlara sahip kolonlar içeren deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla, önerdikleri modelden elde edilen yük-deplasman eğrileri ve kolonların deforme

olmuş şekillerini karşılaştırmışlar ve sonlu elemanlar modelinin kolonların davranışını belirlemede iyi sonuç gösterdiğini belirtmişlerdir.

Zhang ve Guo (2007) yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş, dikdörtgen kesitli beton doldurulmuş çelik tüp kolonların davranışlarını incelemişlerdir. Hazırlanan 26 adet numunede, derinlik-genişlik oranı, çelik-beton alan oranı ve eksantriklik-derinlik oranını incelenecek parametreler olarak belirlemişlerdir. Yaptıkları testlerin sonuçlarında; numunelerde eksantriklik ve narinlik artmasıyla beraber taşıma gücü kapasitenin azaldığını, derinlik-kalınlık oranı 50'den büyük olan numunelerde yerel burkulma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Derinlik-genişlik oranı 1.0 ila 1.6 arasında değişen numunelerin stabilite kapasitesi üzerinde çok az etki gösterirken; stabilite faktörünün, çelik-beton alan oranı ile artış gösterdiği, beton dayanımının artışıyla ise ters orantılı olduğunun sonucuna varmışlardır. Yüksek mukavemetli betonla doldurulmuş dikdörtgen kesitli beton doldurulmuş çelik tüp kolonların davranışını analizi için doğrusal olmayan bir analiz programı geliştirmişlerdir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Lam ve Gardner (2008) beton doldurulmuş paslanmaz çelik kolonların yapısal tasarımı üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada dayanımları 30 MPa ile 100 MPa arasında değişen farklı beton dayanım değerleri kullanılmıştır. Farklı boyutlarda 8 adet dairesel kesitli, 8 adet kare kesitli olmak üzere 16 adet beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolon numunesi hazırlayarak aksenal yükleme altında test etmişlerdir. Test sonuçlarını kompozit karbon çeliği için mevcut tasarım yöntemleri Eurocode 4 ve ACI'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Karbon çelik için mevcut tasarım yöntemlerinin beton doldurulmuş paslanmaz çelik kolonlar için güvenli bir şekilde uygulanabileceğinin sonucuna varmışlardır. Fakat uygulanabilirliğin ortaya konulabilmesi bakımından daha fazla deneysel ve analitik çalışmaya ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir.

Li ve diğ. (2010) iki eksenli eksantrik yükleme altında yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş kare çelik tüp kolonların dayanıklılığını ve davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada, 6 adet yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş kare çelik tüp kolon numuneleri için incelik oranları ve çelik oranları test parametreleri olarak belirlemişlerdir. Kolon numuneleri için incelik oranları 13.9 ile 27.7 arasında, çelik oranları %7 ile %13 arasında değişkenlik gösterirken, ana eksen boyunca eksantriklik 71 mm olarak belirlemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda çelik oranının yüksek dayanımlı betonla doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerin taşıma kapasitelerini etkileyen önemli bir etken olduğunu ve incelik oranı arttıkça numunelerin nihai

taşıma kapasiteleri hızla düştüğünü elde etmişlerdir. Sonlu elemanlar yazılımı ABAQUS ile yapılan analiz sonuçlarının, deneysel çalışmalardan elde edilen yüksek dayanımlı beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerin taşıma kapasitesi sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Taşıma kapasitesini hesaplamak için basitleştirilmiş bir formül kullanmışlar ve bu formülü yüksek dayanımlı beton doldurulmuş çelik tüp kolonların taşıma kapasitesini belirlemek için önermişlerdir.

Tokgoz ve Dundar (2010) çelik lifsiz ve çelik lifli beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmada, 16 adet beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunesi hazırlanarak test edilmiştir. Kesit, beton basınç dayanımı ve yük eksantrikliği deneysel parametreler olarak dikkate alınmış ve numuneleri iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test etmişlerdir. Betona eklenen çelik liflerin beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarının süneklik ve deformasyon davranışını iyileştirdiği gözlemlenirken, taşıma gücü kapasitesi üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada taşıma gücü kapasitesi ve süneklikteki artışın; beton basınç dayanımı, yük eksantrikliği ve kesit parametrelerinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Hem lifsiz beton hem de çelik liftli beton doldurulmuş çelik tüp kolonlarının taşıma gücü kapasiteleri ve yükdeplasman eğrilerini analiz sonuçlarıyla karşılaştırıp, grafiklerini sunmuşlardır. Beton doldurulmuş çelik tüp kolonların analizi için teorik bir yöntem önermişler ve söz konusu yöntem sonuçlarının deney sonuçları ile uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Lam ve diğ. (2010) beton doldurulmuş eliptik şekilli paslanmaz çelik tüp kolonların eksenel yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada 30 MPa ve 100 MPa dayanıma sahip normal ve yüksek dayanımlı beton kullanmışlardır. Deneysel çalışma kapsamında hazırladıkları 9 adet kolon numunesinin büyük dış çapı 121mm ile 86 mm, küçük dış çapı 76 mm ile 58 mm, çeliğin kalınlığı 2mm ile 3mm, uzunlukları 172 mm ile 244 mm arasında değişkenlik göstermiştir. Hazırlanan 9 numuneden, 6 adet numuneye beton doldurulurken, 3 adet numuneye karşılaştırma için beton doldurulmadan test edilmiştir. Çelik tüp kalınlığının taşıma kapasitesini artırmanın yanında sünekliği de arttırırken, daha yüksek dayanımlı betonun taşıma kapasitesini arttırırken sünekliği azalttığı sonucuna varmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar ve yapılan çalışma sonucunda, daha önce betonla doldurulmuş paslanmaz çelik dairesel kolonlarda önerilen denklemlere dayanarak, beton doldurulmuş eliptik paslanmaz çelik kolonlar için yeni bir denklem önermişlerdir. Karşılaştırmalar sonucu beton

doldurulmuş eliptik şekilli paslanmaz çelik kolonlar için önerilen tasarım kurallarının güvenli bir şekilde uygulanabileceğini ifade etmişlerdir.

Seçer ve Kural (2010) beton doldurulmuş çelik kutu kesitli kolonların zamana bağlı sünme ve büzülme davranışlarını, etkin modül yöntemi, yaş faktörüne bağlı etkin modül yöntemi, sünme oranı yöntemi ve geliştirilmiş Dischinger yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada zamana bağlı, betondaki gerilme azalması, çelik kutu kesitteki gerilme artışı ile şekil değiştirme bileşenlerindeki değişimleri sayısal olarak incelemek için yirmi katlı bir binadaki beton doldurulmuş çelik kutu kesitli bir kolon üzerinde gözlem ve araştırma yapmışlardır. Etkin modül yöntemi ve yaş faktörlü modül yöntemi uzun süre içerisinde binaya uygulanan yüklerde önemli bir değişim olmadığı varsayıldığında birbirlerine oldukça yakın değerler verirken; sünme oranı yöntemi ise, etkin modül yöntemi ve yaş faktörlü modül yöntemine göre, betondaki gerilmeler daha düşük, çelikteki gerilmeleri ise yüksek bulmuşlardır. Bunun nedeninin sünme geri dönüşünü dikkate alınmaması olduğunu belirtmişlerdir. Geliştirilmiş Dischinger yöntemi ise başlangıçta etkin modül yöntemi ve yaş faktörlü modül yönteminden farklı sonuçlar gösterirken zamanla bu iki yöntemdeki sonuçlara yaklaştığını bulmuşlardır. Kullanılan tüm yöntemlerde içerisi beton doldurulmuş çelik kutu kesitli kolonlarda betondaki gerilmenin zamanla azaldığı ve çelikteki gerilmelerin ise arttığını gözlemlemişlerdir.

Uy ve diğ. (2011) beton doldurulmuş kısa ve narin paslanmaz çelik tüp kolonların eksenel yük altındaki davranışlarını incelemişler ve betonun etkisini inceleyip karşılaştırma yapabilmek için içi boş kısa paslanmaz çelik tüp kolonla da test etmişlerdir. Farklı yükleme yöntemlerinin etkisini değerlendirmek için dairesel ve kare kolon üzerine araştırma yapmışlardır. Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisi altındaki kompozit kolonların iyi davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri test sonuçlarında, kolonların performansının oldukça iyi olduğuna dair sonuca varmışlar ve yapı elemanı olarak kullanım potansiyelinin yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Han ve diğ. (2013) yüksek dayanımlı beton doldurulmuş çelik kolonların, yanal yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. 75 MPa'ya kadar dayanımı olan beton doldurularak hazırlanan 12 adet dairesel beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunesi ve referans için içi boş çelik tüp elemanları test etmişlerdir. Hazırlanan beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerin etki davranışını tahmin etmek için bir analiz (FEA) modeli oluşturmuşlar ve analiz sonuçlarını test sonuçları ile doğrulamışlardır. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerin enine yük

altındaki davranışlarının kapsamlı bir analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, beton doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerin esnek bir şekilde deforme olduğunu ve yük altında iyi bir dayanım gösterdiğini belirlemişlerdir. Bir regresyon analizi kullanılarak, numunelerin dinamik akış kapasitelerini hesaplamak için basitleştirilmiş bir model sunmuşlardır.

Yousuf ve diğ.(2013) boşluklu ve beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonların enine darbe dayanımını test etmişlerdir. İçi boş ve beton doldurulmuş paslanmaz çelik kolonların yanal statik veya darbe yükü altındaki davranışını ve kapasitesini belirlemek ve deney sonuçlarını sayısal sonuçlarla karşılaştırmak için test çalışmasını yapmışlardır. Hazırladıkları 4 adet numuneyi çeşitli koşullara tabi tutarak test etmişlerdir. Sonlu eleman modelini kullanarak kolonların dayanımını, davranış eğrilerini ve kolonların deforme olmuş şekilleri araştırmışlardır. Çalışmada, deney sonuçlarını analiz sonuçları ile karşılaştırmışlar ve uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca elde edilen sonuçlarda içi boş kolonların, yerel burkulma ile başarısız olduğunu görmüşler ve beton doldurulmuş paslanmaz çelik kolonlarda betonun yerel burkulma direncini artırmada büyük katkı sağladığını ifade etmişlerdir. İçi boşluklu karbon çelik kolonlarla içi boş paslanmaz çelik kolonlar ile beton doldurulmuş paslanmaz çelik kolonlar karşılaştırıldığında, boşluklu karbon çelik kolonların daha düşük dayanım ve sünekliğe sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Ellobody (2013) eksantrik yüklü fiber takviyeli beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonların doğrusal olmayan davranışı üzerinde araştırma yapmıştır. Kompozit kolon bileşenlerinin elastik olmayan davranışını, elyaf takviyeli beton etkisini ve paslanmaz çelik bölüm ile beton arasındaki arayüzünü incelemek için, üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman modeli geliştirmiştir. 72 adet beton doldurulmuş çelik tüp kolon içeren kapsamlı bir parametrik çalışmada farklı dışmerkezlilik, farklı kolon kesitleri ve farklı beton dayanımlarını içeren kompozit kolon davranışını ve mukavemetini etkileyen değişkenleri araştırmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı analizden tahmin edilen kompozit kolon dayanımları ve moment kapasiteleri, Eurocode4 kullanılarak hesaplanan tasarım kompozit kolon dayanımları ve momentleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki karşılaştırma, modelin eksantrik olarak yüklenmiş fiber takviyeli beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp şeklindeki kolonların davranışını doğru bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir. Beton mukavemetindeki artıştan dolayı kolon dayanımlarındaki artışın, küçük eksantrisite değeri yüklenen kolonlar için daha önemli olduğunu göstermiştir.

Chen ve diğ. (2014) eksenel basınç altında geri dönüşümlü agregâ ile hazırlanmış beton kullanılarak, beton doldurulmuş dairesel kısa çelik tüp kolonların performansı ve hesaplamaları üzerinde çalışma yapmışlardır. Geri dönüşümlü agregâ oranı, % 0'dan % 100'e, % 10 artarak 11 adet küçük çaplı, 11 adet büyük çaplı olmak üzere 22 adet numuneyi laboratuvar ortamında test etmişlerdir. Sınırlandırma endeksinin artmasıyla birlikte geri dönüşümlü agregâ ile hazırlanmış beton doldurulmuş dairesel tüp kolonların kapasitesi ve şekil değiştirmeleri arttığını; kolonların tepelerindeki gerilme, geri dönüşümlü agregâ oranının artmasıyla artan bir eğilime sahip iken tepe noktalarındaki şekil değiştirme oranı azalma eğilimi gösterdiğinin sonucuna varmışlardır. Birleşik Kuvvet teorisi, Sınırlandırma teorisi ve süperpozisyon teorisi gibi mevcut teoriler kullanılarak geri dönüşümlü agregâ ile hazırlanmış beton doldurulmuş dairesel tüp kolonların tahmini taşıma kapasiteleri ile karşılaştırmalar yapmışlardır. Gerilme-şekil değiştirme eğrilerini tarif etmek için matematiksel formülasyon önermişler ve bu formülasyon ile hesaplanan eğriler, ölçülen deneysel eğrilerle uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir.

Ghaemdoust ve diğ. (2015), beton doldurulmuş kısa çelik tüp kolonları, karbon lif takviyeli polimer kullanarak güçlendirmiş ve bunların davranışını incelemişlerdir. Kontrol kolonu ile beraber eksikliklerin belirlenmesi için farklı uzunlukta kolonlar üzerine çalışma yapmışlardır. Dayanım yetersizliği olan kolonları, karbon lifle güçlendirilmiş polimer kullanarak, taşıma gücüne etkilerini incelemek için hem deneysel hem de simülasyon modelleme yöntemleri kullanmışlardır. Zayıf kolonlarda, karbon lifle güçlendirilmiş polimer kullanılması ile dayanımın önemli ölçüde iyileştirilebileceğini gösterirken, yük taşıma kapasitesinde artış ve yerel burkulmanın önlenmesinde katkı sağladığı sonuçlarına varılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında iyi bir uyum gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen kuvvetdeplasman diyagramında karbon lifle güçlendirilmiş polimer kullanımının kolon performansını önemli ölçüde artırdığını gösterirken, taşıma gücü kapasitesini %55.49 a kadar artırdığı gözlemlenmiştir. Sunulan çalışma ile kolonların güçlendirilmesi için karbon lifle güçlendirilmiş polimer kullanımının faydalı bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Tokgoz (2015), çelik lifsiz ve çelik lifli beton ile doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel altında davranışlarını incelemiştir. Söz konusu çalışmada farklı kesitlerde ve aynı boyda, üç seri halinde 15 adet kolon numunesi hazırlanmıştır. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon örneklerinin ortalama beton basınç dayanımları 40.14 ve 60.51

MPa arasında bulunmuştur. Paslanmaz çelik malzemenin akma dayanımı 650 MPa, nihai dayanımı 820 MPa, ve elastisite modülü 200 GPa olarak elde etmiştir. Çelik lifli ve çelik lifsiz beton ile doldurulmuş çelik tüp kolon numunelerinden hazırladığı üç seriden elde ettiği beton gerilme-şekil değiştirme grafiklerinde; lifli beton numunelerin, lifsiz beton numunelerine göre daha sünek davranış gösterdiğini ifade etmiştir. Yüksek dayanımlı paslanmaz çelik tüpün, beton doldurulmuş çelik tüp kolon üzerinde iyi bir süneklik davranışı sağladığını, kolonların uzunluk-çap oranının davranış üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir. Test edilen numuneler teorik bir yöntemle analiz edilmiş, deney sonuçlarının teorik yöntemle uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Liang (2016), eksenel basınç altında dairesel çelik tüp arasına beton doldurduğu çelik kolonların doğrusal olmayan analizini incelemiştir. Beton doldurulmuş çelik tüp kolon yerine, arası beton doldurulmuş çift katmanlı dairesel çelik tüp kolon kullanılması mekanizmayı önemli ölçüde değiştireceği için, Liang eksenel basınç altındaki beton doldurulmuş çift katmanlı dairesel çelik tüp kısa kolonların analizi için yeni bir sayısal model sunmuştur. Söz konusu kolonlar için kullanılan beton gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini önceki çalışmalara dayanarak önermiştir. Arası beton doldurulmuş çift katmanlı dairesel çelik tüp kolonlarda beton için çeşitli yanal sınırlandırma basınç modellerinin doğruluğunu incelemek için karşılaştırılmalı çalışmalar yapmış ve kolonların deneysel davranışlarını bilgisayar çözümleriyle karşılaştırıp doğrulamıştır. Liang, beton doldurulmuş çift katmanlı dairesel çelik tüp kısa kolonlar için önerdiği tasarım formülünün taşıma gücü hesabında doğru sonuçlar sağladığını ve uygulamada kullanılabileceğini göstermiştir.

Wang ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada beton kaplı ve beton dolgulu elyaf takviyeli polimer tüp kompozit kolonların eksenel yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında yeni bir kompozit kolon önermişlerdir. Bu kompozit kolon, içi betonla doldurulmuş fiber takviyeli polimer tüp, polimer ızgara ile kaplanmış dış betondan ve beton örtüden oluşturulmuştur. Hazırladıkları 16 adet kolon numuneleri normal beton, fiber takviyeli polimer beton ve beton kaplı ve beton dolgulu elyaf takviyeli polimer tüp kolon olarak tasarlanmıştır. Beton kaplı ve beton dolgulu elyaf takviyeli polimer tüp kolonlar için, iç betonu sargılamak için cam elyaf takviyeli polimer ve dış betonu sargılamak için ızgara kullanılmıştır. Beton kaplı ve beton dolgulu elyaf takviyeli polimer tüp kolonların eksenel basınç davranışını tahmin edebilmek için analitik bir model geliştirmişlerdir. Analitik sonuçların deney sonuçlarıyla uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Analitik modele dayanarak beton kaplı ve beton dolgulu

elyaf takviyeli polimer t p kolonların eksenel basınç davranışlarını incelenmişler ve davranışı grafik olarak sunmuşlardır. Kolonların davranışlarının analitik model ile doğrulamışlar ve davranışın daha iyi bir şekilde ortaya konulması bakımından daha fazla araştırma yapılması gerektiğini önermişlerdir.

Han ve diğ. (2016) beton doldurulmuş  elik tüp kolonlarda, dış  elik ile çekirdek beton arasında kalan boşluğun kolonların performansı üzerindeki etkisi üzerinde araştırma yapmışlardır. 12 adet beton doldurulmuş  elik tüp kolon numunesi ile karşılaştırma için referans alınan içi boş  elik tüp kolonlar eksenel yük altında test edilmiştir. Boşluk tipi ( evresel veya dairesel bölüm) ile boşluk oranını test parametreleri olarak belirlemişlerdir. Boşluklu ve beton doldurulmuş  elik tüp kolonlar karşılaştırılarak, çevresel boşluklu kolonların boşluk oranı % 1.1 ve % 2.2'ye ulaştığında nihai dayanımında % 27 ve % 32 azalma olduğunu görmüşlerdir. Çevresel boşluklu beton doldurulmuş  elik tüp kolonlar için boşluk oranı % 0.05'e eşit veya daha az olduğunda, kolonun nihai dayanımı % 5 olduğunu görmüşler ve uygulamada boşluk limitinin % 0.05 olarak alınabileceğini belirtmişler. Beton doldurulmuş  elik tüp kolonların dairesel boşluklu bölümlü olan ile boşluksuz kolonlar karşılaştırıldığında ise deformasyon davranışlarının benzer olduğunu ve boşluk oranı % 2.2 ile % 6.6 arasında iken, % 7–21'lik bir dayanım azalmasının olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada, dairesel boşluklu bölüme sahip kolonlar için basitleştirilmiş bir model önermişler ve modele göre boşluk oranı % 2.4'ten küçük olduğu durumlarda kolondaki dayanım kaybı %5 içinde olduğunu ifade etmişlerdir. Beton doldurulmuş  elik tüp kolonları pratikte uygulamak için olabilecek maksimum boşluk oranı için taşıma gücü analizine yönelik sonlu eleman modeli önermişlerdir.

Liew ve diğ. (2016) beton doldurulmuş  elik tüp kolon ve kiriş tasarımı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Söz konusu çalışmada, beton basınç dayanımı 190 MPa üzerinde ve  elik malzeme akma dayanımı 780 MPa üzerinde olarak tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan kolon numuneler test edilerek sonuçlarını yayınlamışlardır. Çalışma sonunda beton basınç dayanımı 190 MPa üzerinde ve  elik akma dayanımı 550 MPa üzerinde olan kolonlar için Eurocode4 yöntemini temel alan bir tasarım yöntemi önermişlerdir. Literatürde yer alan çok sayıda normal ve yüksek dayanımlı malzeme ile hazırlanan ve test edilen  elik tüp kolonlar önerilen yöntem ile analiz edilerek yöntemin geçerliliği ortaya konulmuştur. Çalışmada elde edilen bulguların yüksek bina tasarımında önemli katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Yuan ve diğ. (2018), betonarme kolonun içine yerleştirilmiş, beton doldurulmuş çelik tüpün deformasyon özelliği üzerine araştırma yapmışlardır. 15 katlı bir binada iki tip betonarme kolonun içine yerleştirilmiş, beton doldurulmuş çelik tüp yapısını incelemişlerdir. Eksenel basınç ve yanal yükleme yapılan betonarme kolonun içine yerleştirilmiş, beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar için sonlu eleman modeli geliştirilmiş ve bu modelin söz konusu kolonlar için yanal dayanım, güç ve deformasyon kapasitelerinin hassas bir şekilde tahmin edildiğini gözlemlemişlerdir. Bu kolonların deformasyon kapasitelerini hesaplamak için bir formül önermişler ve bu formülün yapılan birçok test sonucuyla uyumlu sonuçlar sağladığını belirtmişlerdir.

3. MALZEME ve YÖNTEM

Sunulan çalışmada, iki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların davranışının belirlenmesi amacıyla deneysel ve analitik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında, 10 adet beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon üretilmiştir. Söz konusu kolonlar içerisinde I-kesitli ve T-kesitli karbon çelik içerecek şekilde iki seri halinde (Seri I ve Seri II) tasarlanmıştır. Bu kolonların üretiminde; çelik lifli ve lifsiz beton kullanılmıştır. Kolon numuneler iki eksenli eğilme ve eksenel basınç yükleri altında test edilerek kolon taşıma kapasiteleri ve yükdeplasman eğrileri belirlenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında aşağıda belirtilen deney parametreleri esas alınmıştır.

- Betonun silindir basınç dayanımı ()
- Uygulanan yükün eksantrisite değeri (,)
- Kolon numune içerisine yerleştirilen karbon çelik elemanı (I-şekilli ve T-şekilli profiller)
- Çelik lifli ve lifsiz beton

Çalışma kapsamında test edilen kolonlar taşıma gücü kapasitesi ve yük-deplasman davranışlarının belirlenmesi üzerine analiz edilmiştir. Analizde Tokgoz (2015) ve Tokgoz ve Dundar (2010) tarafından önerilen yöntem beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonlar için modifiye edilerek kolonların taşıma gücü ve yük-deplasman eğrilerini elde edecek şekilde geliştirilmiştir.

3.1. Deneysel çalışma

3.1.1. Malzemeler

Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan kolonlar iki seri halinde üretilmiştir. Söz konusu kolonlarda paslanmaz çelik tüp, karbon çelik, çelik lifli ve çelik lifsiz beton kullanılmıştır. Paslanmaz çelik, 100×100×3 mm () kare kesitli tüp olarak, karbon çelik ise I-kesitli ve T-kesitli profiller olarak seçilmiş ve kolon numune içerisine yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmada üretilen kolonların çelik lifli ve çelik lifsiz beton ile üretilmiştir.

Paslanmaz çelik ve karbon çelik özellikleri

Sunulan deneysel çalışma kapsamında kompozit kolonların üretiminde kullanılan paslanmaz çelik ve yapısal karbon çeliğin malzeme mekanik özellikleri çekme dayanımı testiyle belirlenmiştir. Yapılan çekme testi sonucunda paslanmaz çeliğin akma dayanımı 600 MPa olarak belirlenirken, yapısal karbon çeliğin akma dayanımı ise 290 MPa olarak elde edilmiştir. Paslanmaz çeliğin kopma gerilme ve şekil değiştirme değerleri ise sırasıyla 800 MPa ve 0.02 olarak ölçülmüştür. Ele alınan çalışmada, çelik malzeme elastisite modülü ise 200 GPa olarak tespit edilmiştir. Söz konusu çelik malzeme mekanik özellikleri Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Paslanmaz ve yapısal karbon çeliğin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kopma dayanımı (MPa)	Kopma Şekil değiştirme değeri
Paslanmaz çelik	600	200	800	0.02
Yapısal karbon çelik	290	200	395	0.01

Beton

Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon numunelerin üretiminde çelik lifli ve çelik lifsiz beton kullanılmıştır. Söz konusu betonların üretiminde CEM I 42.5R tipi çimento kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılan çakılın maksimum dane boyutu 9 mm olarak seçilmiştir. Üretilen beton karışımlarının istenilen işlenebilirliği sağlaması için süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çelik lifli betonlarda, çelik lifler %0.7 hacimsel oranında karışıma ilave edilmiştir.

Tablo 3.2. Beton karışımlarının bileşen oranları (kg/m³)

Karışım ismi	Çimento	Su	Kum	Çakıl	Çelik lif	Akışkanlaştırıcı
Seri I ve II (Çelik lifsiz)	400	130	690	1220	-	10
Seri I ve II (Çelik lifli)	400	130	680	1210	55	10

Çelik lif

Çalışma kapsamında, boy/en (narinlik) oranı 64 olan ve Dramix RC 65/35 BN ismiyle bilinen kanca uçlu çelik lifler beton üretiminde kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifin yoğunluğu 7850 kg/m³ tür. Beton üretiminde kullanılan söz konusu çelik liflerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.3.'de sunulmuştur. Bunlara ek olarak, beton üretiminde kullanılan çelik lifin görünümü Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Beton karışımlarının bileşen oranları (kg/m³)

Özellikler	RC 65/35 BN
Boy (mm)	35
Çap (mm)	0.55
Narinlik oranı	64
Çekme mukavemeti (MPa)	1100
Uç tipi	Kanca uçlu



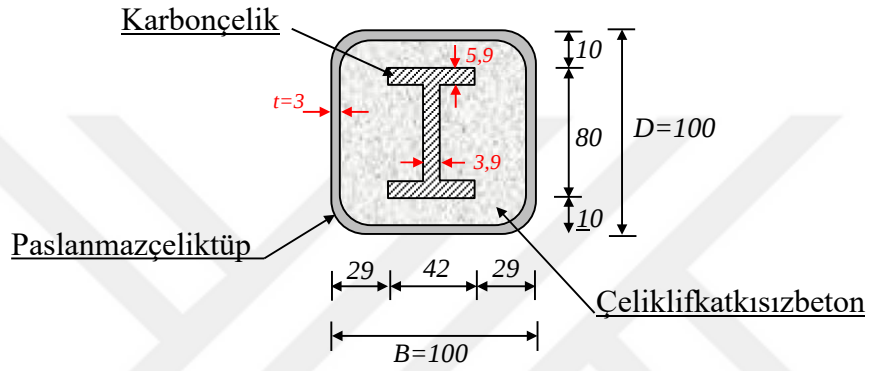
Şekil 3.1. Beton üretiminde kullanılan çelik lifin fotoğraf görüntüsü

3.1.2. Deney numuneleri ve numune hazırlığı

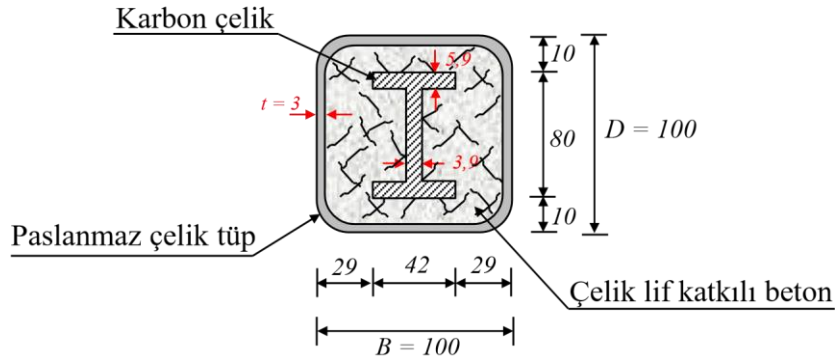
Deneyisel çalışma kapsamında iki seri halinde toplam 10 adet beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon numuneleri üretilmiştir. Her seride yer alan deney kolon numuneleri, $100 \times 100 \times 3$ mm () kare kesitli paslanmaz çelik tüp içerisine karbon çelik ve beton yerleştirilerek hazırlanmıştır. Birinci seride paslanmaz çelik tüp içine I-kesitli karbon yapı çeliği, ikinci seride ise T-kesitli karbon yapı çeliği yerleştirilmiştir. Her bir seride yer alan kolonlar çelik lifli ve çelik lifsiz beton ile üretilmiştir.

Birinci seride hazırlanan çelik lifsiz beton doldurulmuş kolon numuneleri; CFSSTCC-I-1, CFSSTCC-I-2 ve CFSSTCC-I-3 olarak, çelik lifli beton doldurulmuş kolon numuneleri ise; CFSSTCC-I-1-SF ve CFSSTCC-I-2-SF olarak isimlendirilmiştir. Benzer şekilde, ikinci seride yer alan çelik lifsiz beton doldurulmuş kolon numuneleri; CFSSTCC-II-1, CFSSTCC-II-2 ve CFSSTCC-II-3 olarak, çelik lifli beton doldurulmuş kolon numuneleri ise; CFSSTCC-II-1SF, CFSSTCC-II-2-SF olarak adlandırılmıştır. Burada CFSTCC, beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonu ifade ediyorken, SF ise çelik lif kısaltmasını ifade etmektedir. Birinci serideki kompozit kolonların üretiminde I-kesitli karbon çeliği kullanılırken, ikinci serideki kompozit kolonlar T-kesitli karbon çeliği kullanılarak üretilmiştir. Bu kolon tiplerinin kesitleri ve boyutları Şekil 3.2.'de şematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca söz konusu kolonların beton doldurulmadan önceki kesit görüntüleri de Şekil 3.3.'de verilmiştir. Hazırlanan kolon

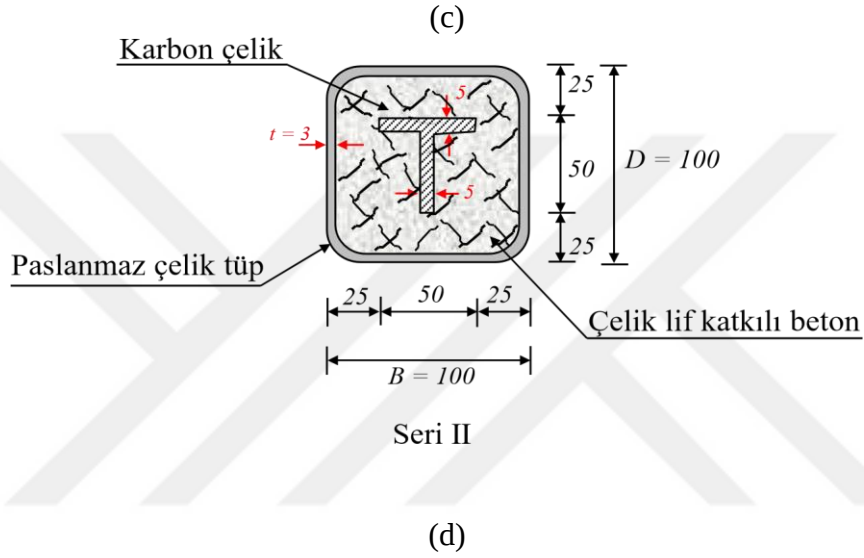
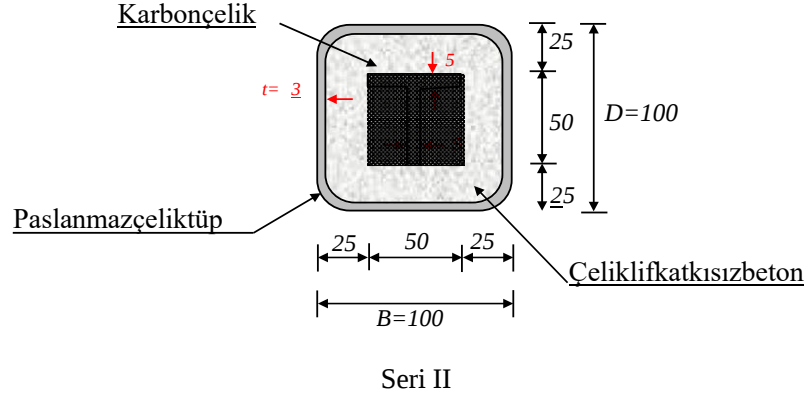
numunelerin boyu 125 cm olarak belirlenmiştir. Kolon numunelere iki eksenli eğilme ve eksenel basınç uygulayabilmek için kolonların alt ve üstüne $220 \times 220 \times 12$ mm boyutlarında çelik plaka kaynaklanmıştır.



(a)



(b)



Şekil 3.2. Kolon kesit ve ölçülerinin şematik olarak gösterimi: (a) çelik lif katkısız beton dolgulu Seri I, (b) çelik lif katkılı beton dolgulu Seri I, (c) çelik lif katkısız beton dolgulu Seri II ve (d) çelik lif katkılı beton dolgulu Seri II (çizimler üzerindeki bütün ölçüler mm cinsinde verilmiştir).

Kompozit kolonların hazırlığında paslanmaz çelik tüp ve karbon çelik profiller alt çelik plakaya kaynaklanmıştır. Ardından, tüp içerisine yerleştirilecek betonun üretimi yapılmıştır. Çalışma kapsamında numune hazırlığında, kolon numunelere dökülen beton dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Beton doldurulan kolon numuneler her aşamada düzgün ve boşluksuz bir yerleşim elde edilmesi amacıyla vibrasyon tablasına yerleştirilip yeterli vibrasyona maruz bırakılmıştır. Her iki serideki kompozit kolonların beton ile doldurulması işlemine ait fotoğraflar Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.3. Kompozit kolonların kesit fotoğrafı: (a) I-kesitli (Seri I) ve (b) T-kesitli (Seri II)

Beton hazırlığında öncelikli olarak karışım miktarında öngörülen kum ve çakıl miksere eklenerek mikser karıştırılmaya başlanmıştır. Homojen bir dağılım elde edildikten sonra, homojen haldeki kum ve çakıl karışımına çimento eklenmiş ve ardından beton mikser çalışır durumdayken su-akışkanlaştırıcı karışımı miksere eklenmiştir. Birinci ve ikinci seri kompozit kolonların üretiminde kullanılan çelik lif katkılı betonlar hazırlanırken, yukarıda bahsedilen karışım hazırlama prosedürüne uygun olarak yapılmış, ancak su-akışkanlaştırıcı karışımı miksere dökülmeden önce çelik lif bu karışıma eklenerek, lifler arasındaki yapışkanlarının çözülmesi sağlandıktan sonra su-akışkanlaştırıcı-çelik lif karışımı miksere dökülmüştür. Bu şekilde çelik liflerin, beton içinde homojen bir dağılım sağlaması gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. Karbon çelik içeren kompozit kolonların beton ile doldurulma süreci: (a) I-kesitli (Seri I) ve (b) T-kesitli (Seri II)

Her bir kompozit kolonun imalatında, beton karışımından üçer adet 150×300 mm boyutlarında standart silindir numune, betonun basınç dayanımı tayini için alınmıştır. Standart silindir numunelerinin kalıpları beton dökümünden önce temizlenip, yağlanarak beton dökme işlemine hazır hale getirilmiştir. Söz konusu beton numuneler kalıplara yerleştirilmiş ve her aşamada numunenin iyi sıkışması ve betonda boşluk olmaması bakımından vibrasyon işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.5.). Daha sonra laboratuvar ortamında bekletilen numuneler, bir gün sonra kalıptan çıkarılıp test gününe kadar kür edilmesi için suda bekletilmiştir (Şekil 3.6a. ve 3.6b.).



Şekil 3.5. Basınç dayanımı tayini için silindirik numune alımı: (a) çelik lifsiz ve (b) çelik lifli beton



(a)



(b)

Şekil 3.6. 150×300 mm boyutlarında silindirik beton numuneleri: (a) laboratuvar ortamında kalıpta bekletilirken ve (b) suda kür edilme durumu

Beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra kompozit kolon numuneler laboratuvar ortamında üst kısımları açık bir şekilde bekletilmiştir (Şekil 3.7a). İki hafta sonra, iki eksenli eğilme ve

eksenel basınç uygulamak amacıyla numunenin alt kısmında olduğu şekilde üst kısmına da boyutları 220×220×12 mm olan çelik plaka kaynatılarak kompozit kolon numunelerinin hazırlığı tamamlanmıştır (Şekil 3.7b). Kompozit kolon numuneler ve silindir beton numuneler, beton dökümünden sonraki 30 gün boyunca laboratuvar ortamında muhafaza edilmiş ve sonrasında test işlemine geçilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Kompozit kolon numuneleri

3.1.3. Deney yöntemi

Çalışma kapsamında hazırlanan kompozit kolon numuneler, Çukurova Üniversitesi laboratuvarında iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test edilmiştir. Tüm kolon

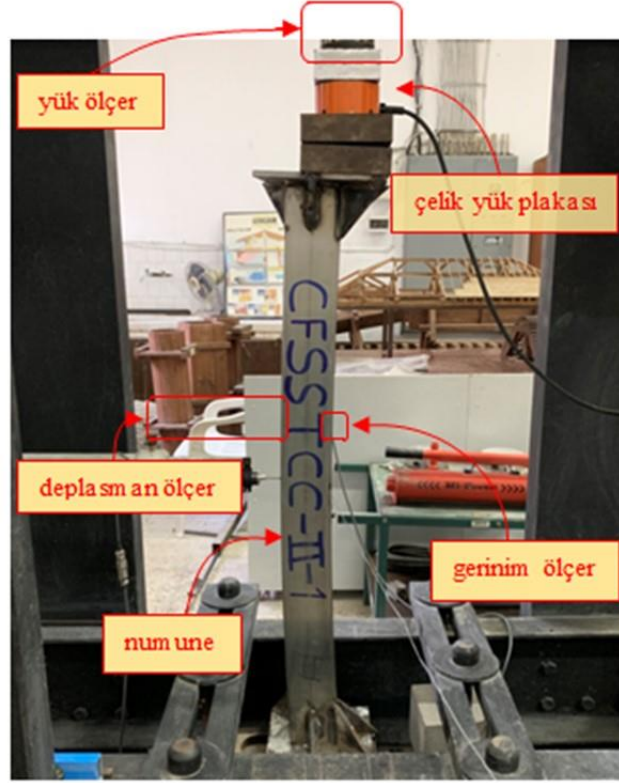
numunelerin testinde, Şekil 3.8a.'da da gösterildiği gibi hidrolik test çelik çerçevesi kullanılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan başlıca cihaz ve ekipmanlar: (i) yük ölçer, (ii) deplasman ölçer, (iii) gerinim ölçer, (iv) yükleme plakası ve bilye, (v) beton pres makinesi, (vi) bilgisayar ve yazılımı ve (vii) kameradır.

Kompozit kolon numunelere uygulanan yükü ölçmek için 500 kN kapasiteli bir yük hücresi kullanılırken, kompozit kolon numunelerin orta yüksekliğinde meydana gelen yanal deplasmanların belirlenmesi için ise deplasman ölçerler kullanılmıştır. Ayrıca, deney sırasında kolonda oluşan eksenel deformasyonların elde edilmesi için gerinim ölçerler kolon orta bölgesine yapıştırılmıştır. Deneyde uygulanan yük ve yüke karşılık gelen iki yönde oluşan yanal deplasmanlar ile eksenel deformasyon değerlerini kaydetmek için elektronik veri toplama sistemi kurulmuştur. Söz konusu deney düzeneğini şematik olarak 3.8b.'de gösterilmiştir.

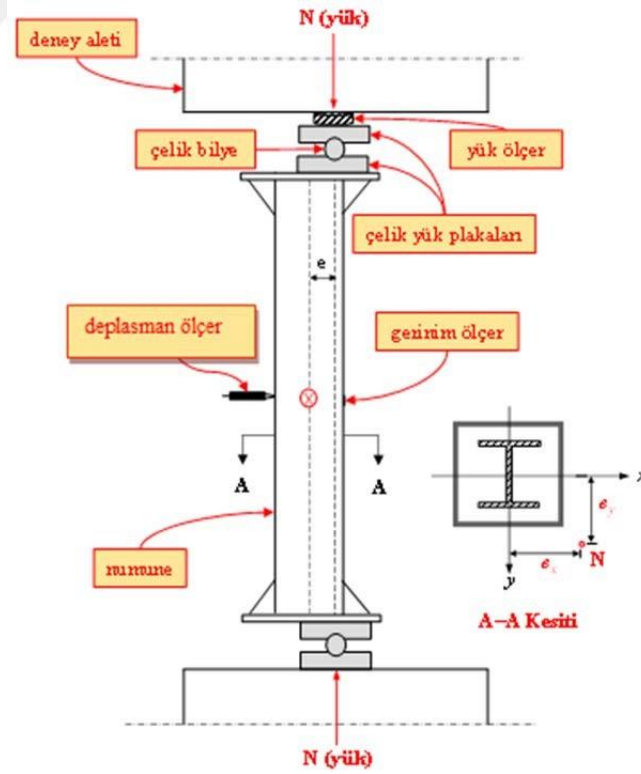
Kolon numunelere iki eksenli eğilme ve eksenel yük uygulamak üzere dış merkezlik değerleri dikkate alınarak kolonun alt ve üst ucuna çelik plakalar yerleştirilmiştir. Kolon numuneye yük uygulaması kolon alt ve üst ucuna tatbik edilen plakalar arasına yerleştirilen çelik bilye ile sağlanmıştır (Şekil 3.8b).

Hazırlanan beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon numuneler iki eksenli eğilme ve eksenel basınç yükleri altında test edilmiştir. Beton doldurulmuş paslanmaz çelik kompozit kolon numuneler deney aletine düşey konumda yerleştirilmiştir (Şekil 3.8a.).

Yükleme sıfırdan başlayarak, 1 kN/sn artışla, taşıma gücü kapasitesine kadar uygulanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.8. Deney düzeneğinin: (a) fotoğraf ve (b) şematik görüntüsü

Kolon numunelerin test edildiği gün, betonun basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla standart silindir numuneler de eksenel basınç altında test edilmiştir (şekil 3.9.).



şekil 3.9. 150×300 mm standart silindir beton numunesinin basınç dayanım testi Basınç dayanım testi yapılan silindir beton numunelerin, test sonrası görünümleri verilmiştir (şekil 3.10).



şekil 3.10. Beton silindir numunelerin basınç dayanım testinden sonraki görünümleri

Üç adet standart silindir numune üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımını testinden elde edilen basınç dayanımı değerlerinin her karışım için ortalama değeri Tablo 3.4.'te yer almaktadır. Ayrıca, aynı çizelgede kompozit kolon numunelere uygulanan yükün dışmerkezlilik değerleri de sunulmuştur.

Tablo 3.4. Beton basınç dayanımı ve dışmerkezlilik değerleri

Karışım ismi	f_c (MPa)	e_x (mm)	e_y (mm)
CFSSTCC-I-1	60.0	55	55
CFSSTCC-I-2	60.0	65	65
CFSSTCC-I-3	60.0	70	70
CFSSTCC-I-1-SF	63.8	55	55
CFSSTCC-I-2-SF	63.8	65	65
CFSSTCC-II-1	55.6	55	55.8
CFSSTCC-II-2	55.6	65	65.8
CFSSTCC-II-3	55.6	70	70.8
CFSSTCC-II-1-SF	54.9	55	55.8
CFSSTCC-II-2-SF	54.9	65	65.8

Kolon numune testi boyunca, her bir aşamada uygulanan yük ve karşılık gelen deplasmanlar ile eksenel deformasyon değerleri kurulan data toplama sistemi yardımıyla bilgisayara kaydedilmiştir. Yapılan deneyler numune davranışını gözlemek amacıyla kamera ile kayıt altına alınmıştır. Deney sırasında kolon numunelerde meydana gelen yapısal davranış gözlenmiştir.

Yapılan deneylerde kolon numunelerin sünek davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Deney sırasında uygulanan yükün artışı ile birlikte deplasman miktarlarında da artış olduğu gözlenmiştir. Yapılan deneylerde kolon numunelerde burkulma yaklaşık olarak kolon orta bölgelerinde meydana gelmiştir. Kolon numunelerin içerisine yerleştirilmiş olan beton ve karbon yapı çeliği sayesinde kolonda meydana gelen burkulma önemli düzeyde önlenebilmiştir.

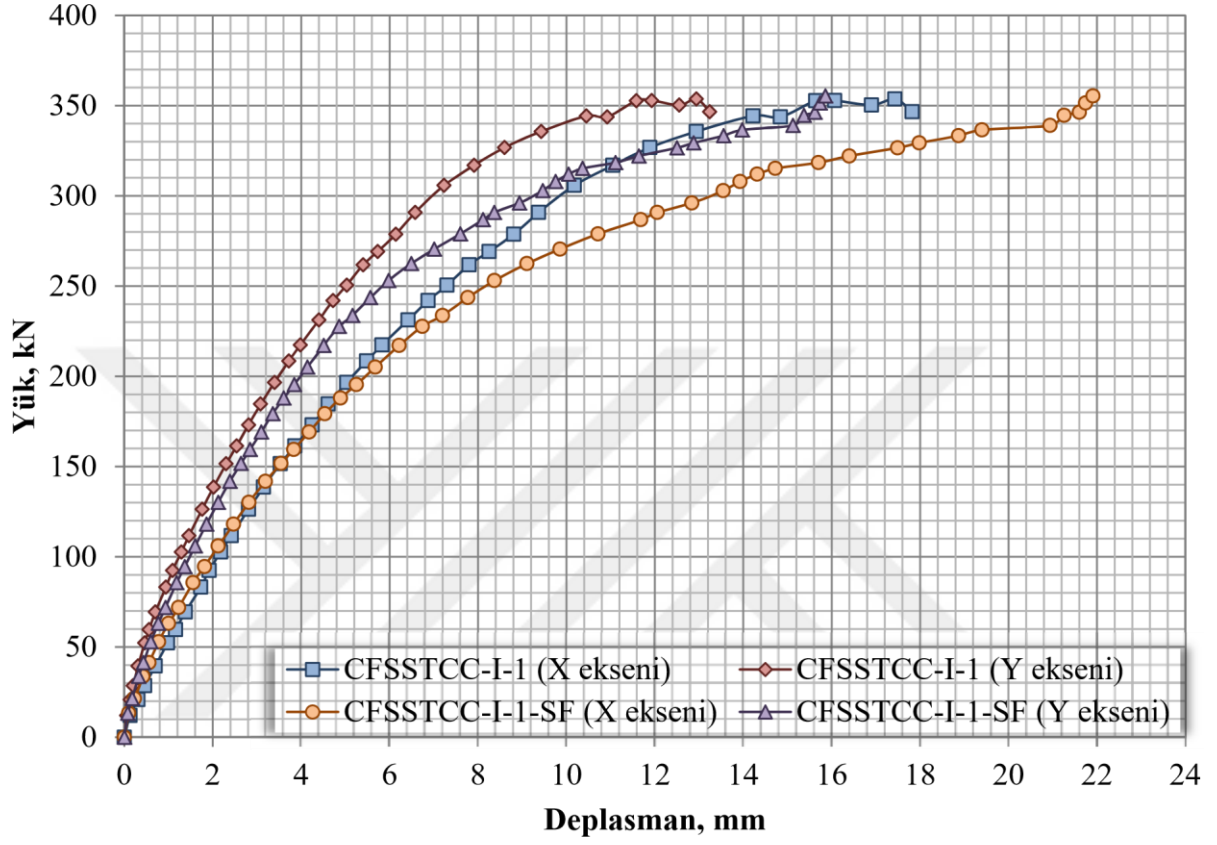
Yapılan deneysel çalışma ile kolona uygulanan dış merkezlik değerlerinin kolon taşıma gücü kapasitesi üzerinde önemli derecede etkili parametre olduğu belirlenmiştir.

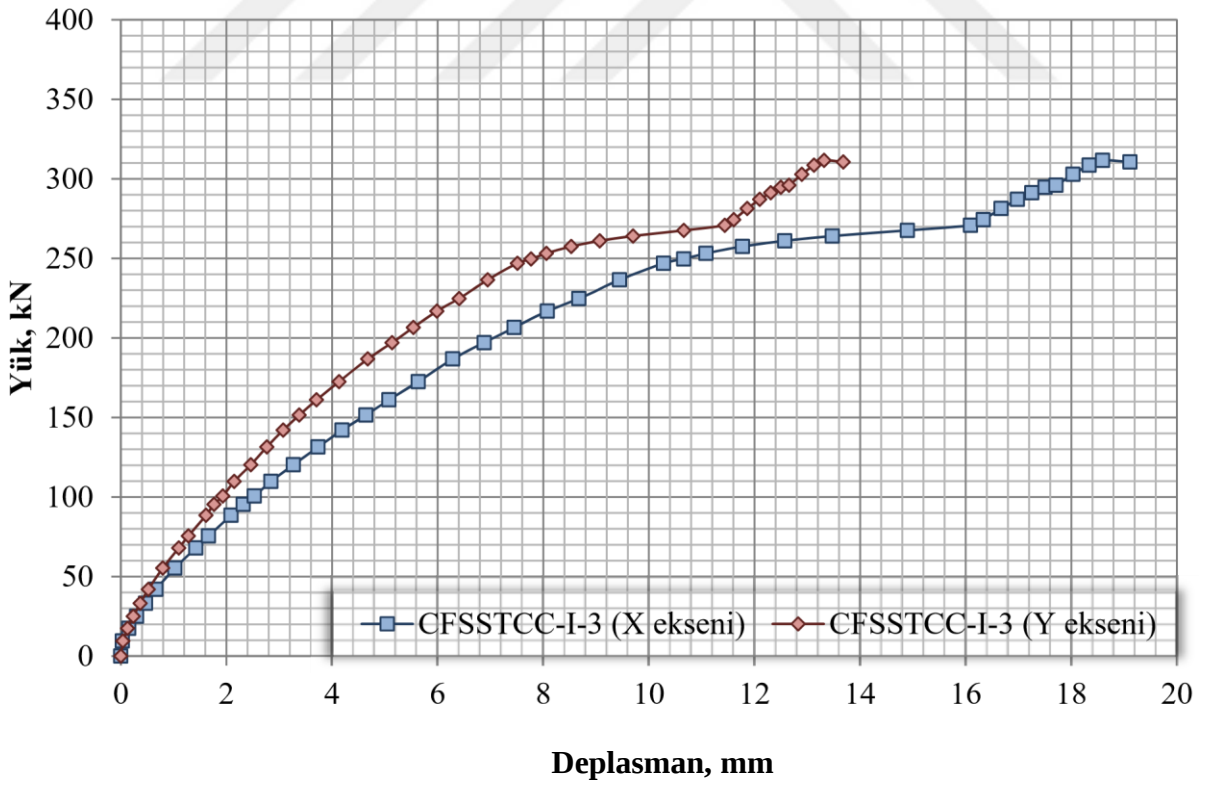
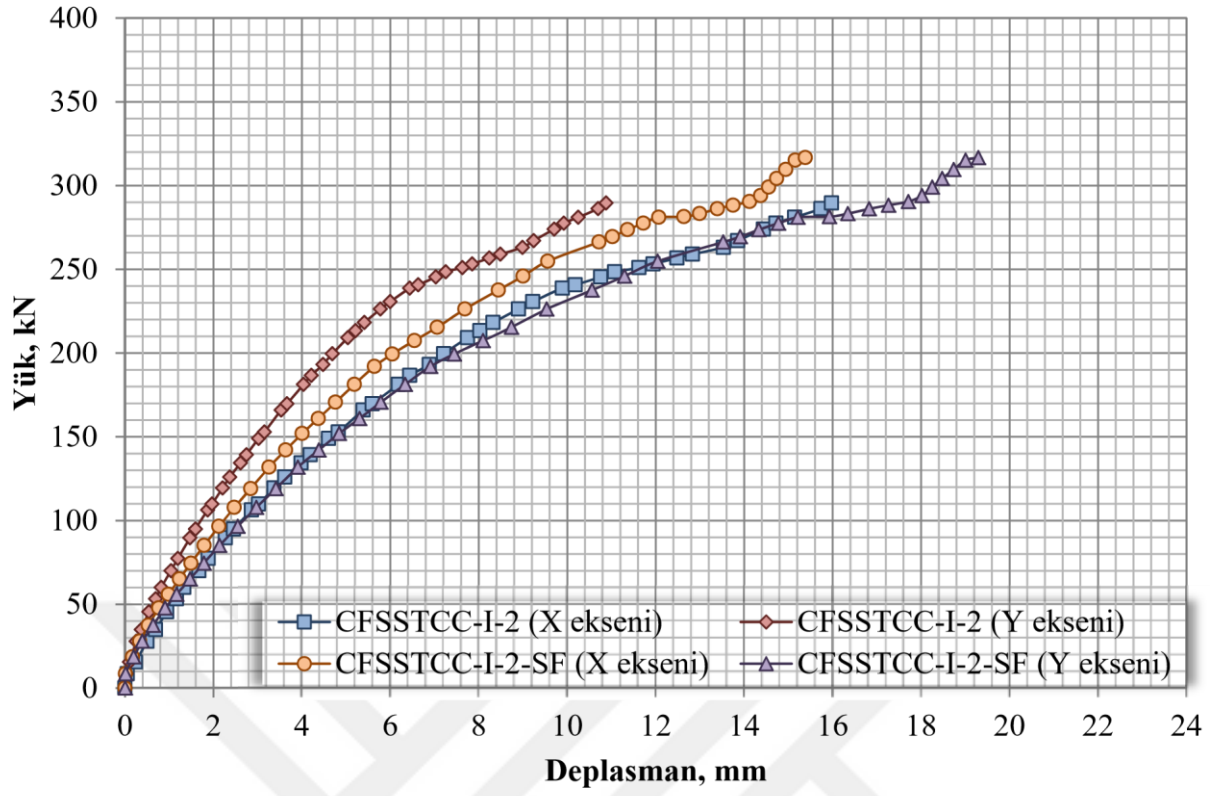
Dışmerkezlik değerinin artması ile kolon taşıma kapasitesinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, kolonda oluşan burkulmanın kolon yük kapasitesinin yaklaşık olarak %40-50 değerinde oluşmaya başladığı gözlenmiştir. Kolon numunelerinde oluşan deformasyon biçimleri Şekil 3.11’de sunulmuştur.



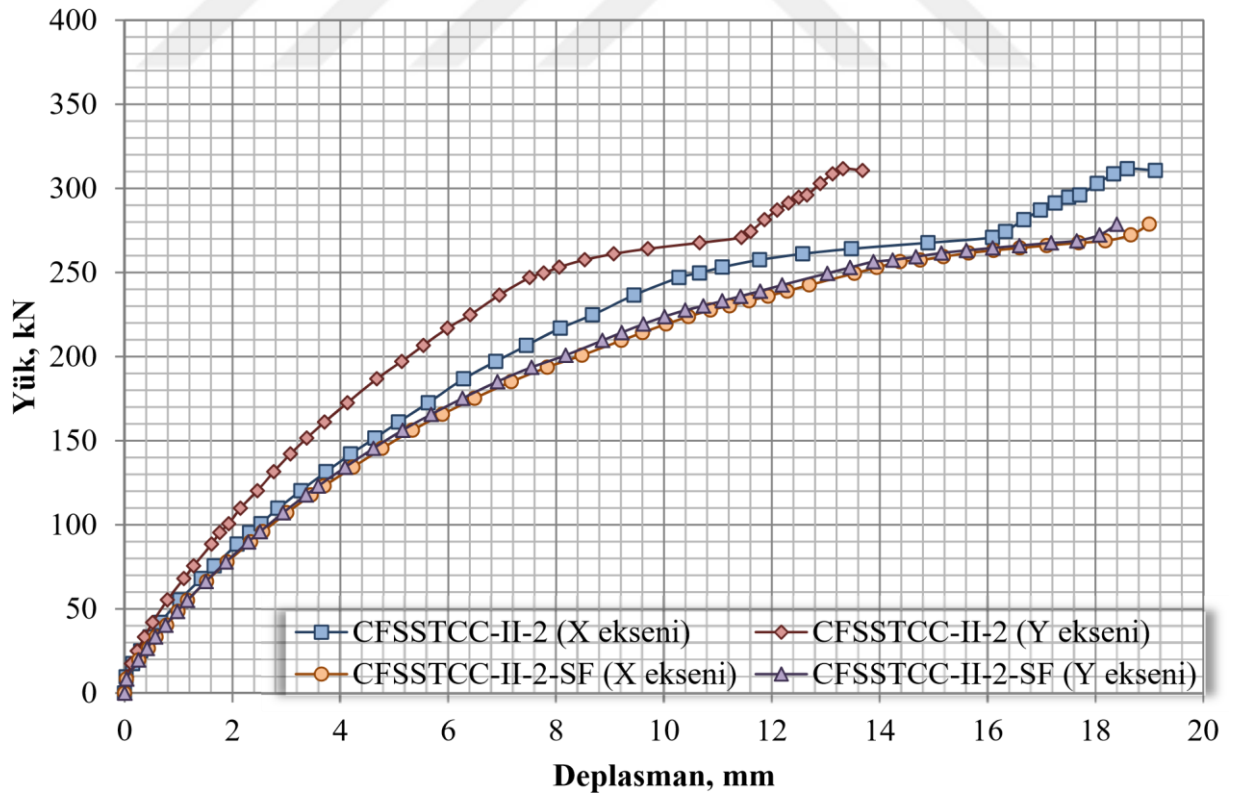
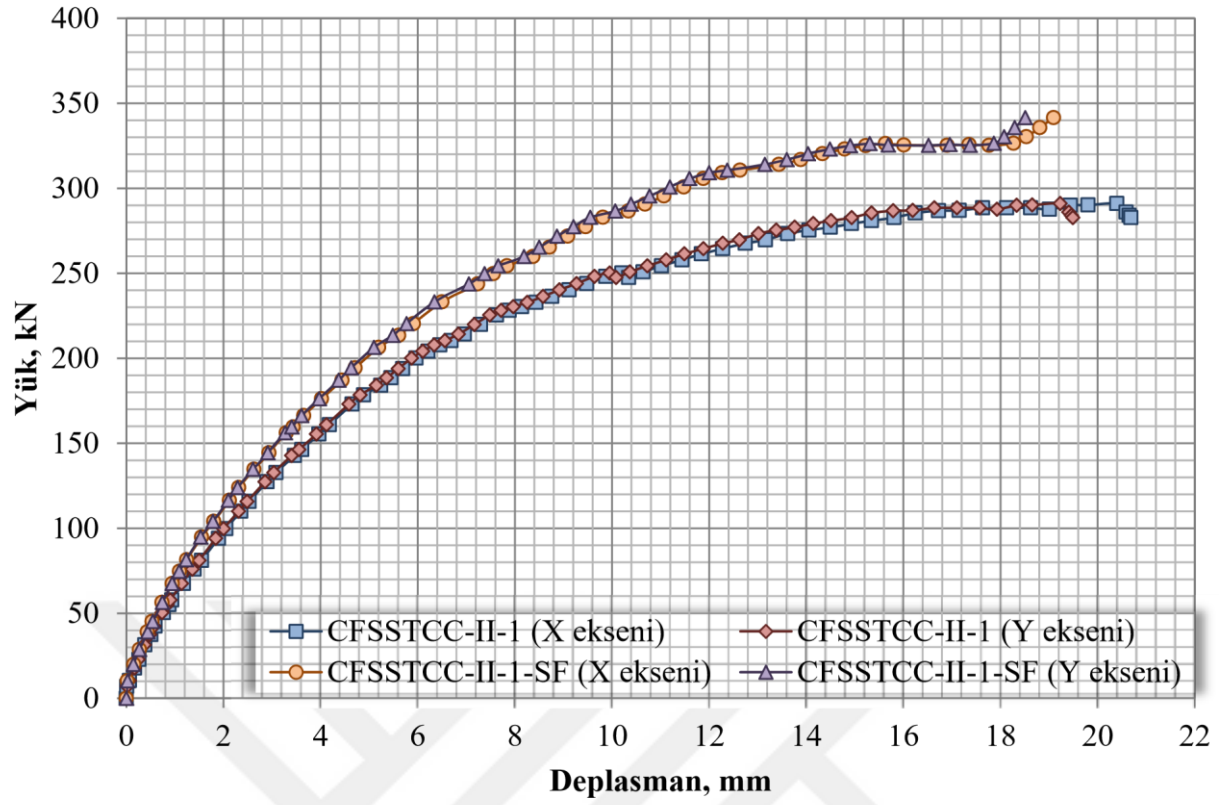
Şekil 3.11. Kolon numunelerde oluşan deformasyonlar

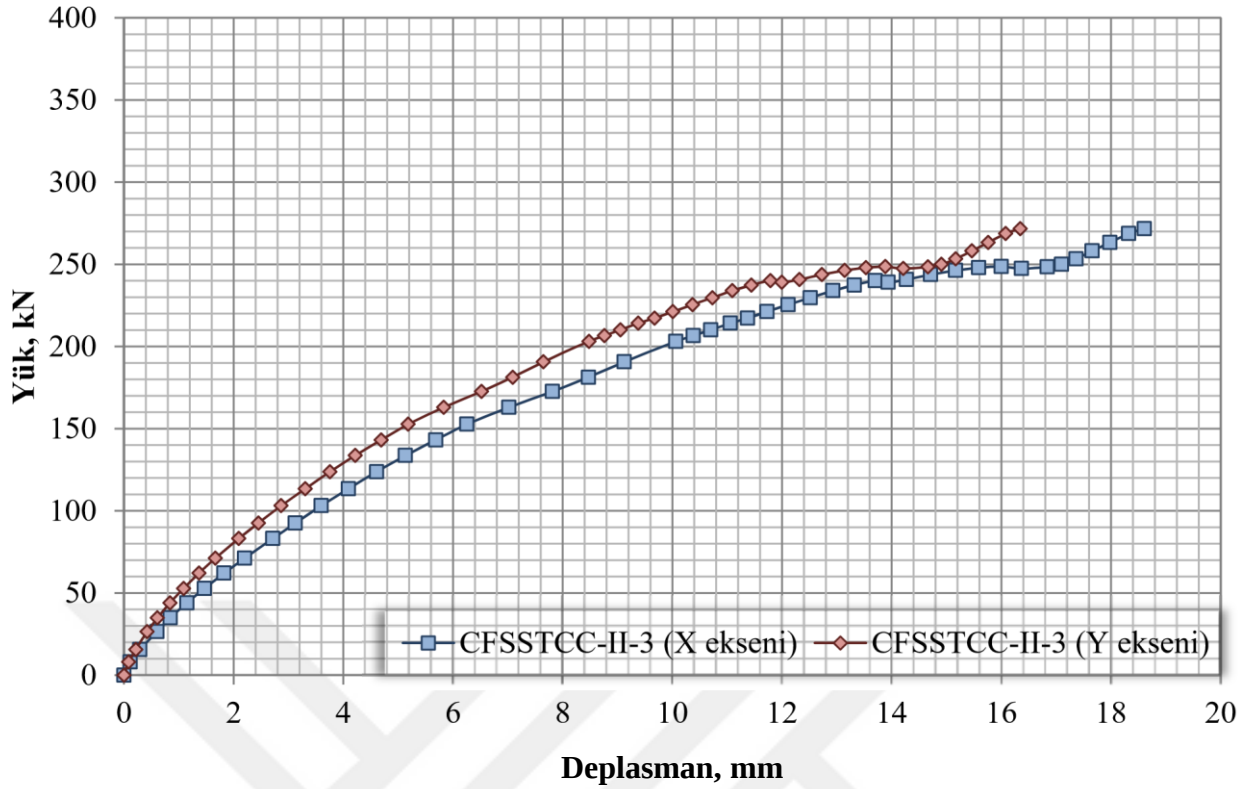
Çelik lif katkısız ve katkılı beton dolgulu birinci seri ve ikinci seri kompozit kolonların deney sonucu elde edilen x ve y eksenlerindeki yük-deplasman eğrileri sunulmuştur (Şekil 3.12).





Şekil 3.12. Çelik lif katkısız ve katkılı beton dolgu lu birinci seri kompozit kolonların deney sonucu elde edilen x ve y eksenlerindeki yük deplasman eğrileri





Şekil 3.13. Çelik lif katkısız ve katkılı beton dolgulı ikinci seri kompozit kolonların deney sonucu elde edilen x ve y eksenlerindeki yük deplasman eğrileri

Test edilen kolon numunelerin sünek davranış sergiledikleri Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 de yer alan grafiklerden anlaşılmaktadır. Deneyin başlangıç anlarında kolonlarda küçük deformasyonlar gözlenmiş olup yükün artmasıyla birlikte deformasyonlarda da artış olduğu görülmüştür. Çelik lifli beton içeren kompozit kolonlar çelik lifsiz beton içeren kolonlarla karşılaştırıldığında lifli beton içeren kolonların bir miktar daha fazla deformasyon yaptıkları şekillerde görülmektedir.

3.2. Analitik çalışma

Tokgoz (2015) ve Tokgoz ve Dundar (2010) beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolon ve karbon çelik tüp kolonların analizi için teorik yöntem önermişlerdir. Sunulan çalışmada, daha önce önerilen yöntem beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların analizini gerçekleştirecek şekilde geliştirilmiştir. Burada önerilen yöntemde önceki yöntemlere benzer olarak malzemelerin doğrusal olmayan davranışları esas alınmakta ve narinlik etkisi kolon analizinde dikkate alınmaktadır.

3.2.1. Yöntemde kullanılan temel varsayımlar

- 1) Eğilmeden önce düzlem olan kesitler eğilmeden sonra da düzlem kalır (BernoulliNavier hipotezi).

- 2) Beton için literatürde yer alan sargılı beton modeli kullanılmaktadır.
- 3) Paslanmaz çelik gerilme-birim deformasyon ilişkisi için Rasmussen (2003) tarafından önerilen model kullanılmaktadır. Karbon çelik için ise elasto-plastik davranış esas alınmıştır.
- 4) Beton ve çelik arasında tam aderans vardır.
- 5) Eksenel ve kayma deformasyonları ihmal edilmiştir.
- 6) Betonun sünme, büzülme ve çekme dayanımı ihmal edilmektedir.

3.2.2. Sargılı beton için gerilme-birim deformasyon modeli

Betonu çevreleyen dıştaki paslanmaz çelik tüp, betona yüksek derecede sargı etkisi sağlamaktadır. Betonun söz konusu sargılı davranışını hesaplara yansıtmak için Şekil 3.14.'de verilen gerilme-birim deformasyon davranışı kullanılmaktadır (Mander ve diğ. (1988), Liang ve diğ. (2012)). Çalışma kapsamında analizde kullanılan sargılı betonun modeli matematiksel olarak aşağıda tanımlanmaktadır.

Aşağıdaki formüller sargılı betonun gerilme-birim deformasyon eğrisindeki OA arasındaki parabolik kısmını tanımlamak için verilmiştir:

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{\epsilon}{\epsilon_c} \quad (3.1)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{\epsilon}{\epsilon_c} \quad (3.2)$$

$$3320\sqrt{\sigma_c} \quad 6900 \quad (3.3)$$

burada, σ_c ve ϵ_c betonun herhangi bir noktasındaki gerilme ve karşılık gelen birim deformasyon değerleridir, σ_{max} maksimum gerilmeye karşılık gelen birim deformasyonu; sargı etkili beton basınç dayanımını ve E_c betonun elastisite modülünü ifade etmektedir.

Burada etkili beton basınç dayanımı aşağıdaki ifade ile tanımlanmaktadır:

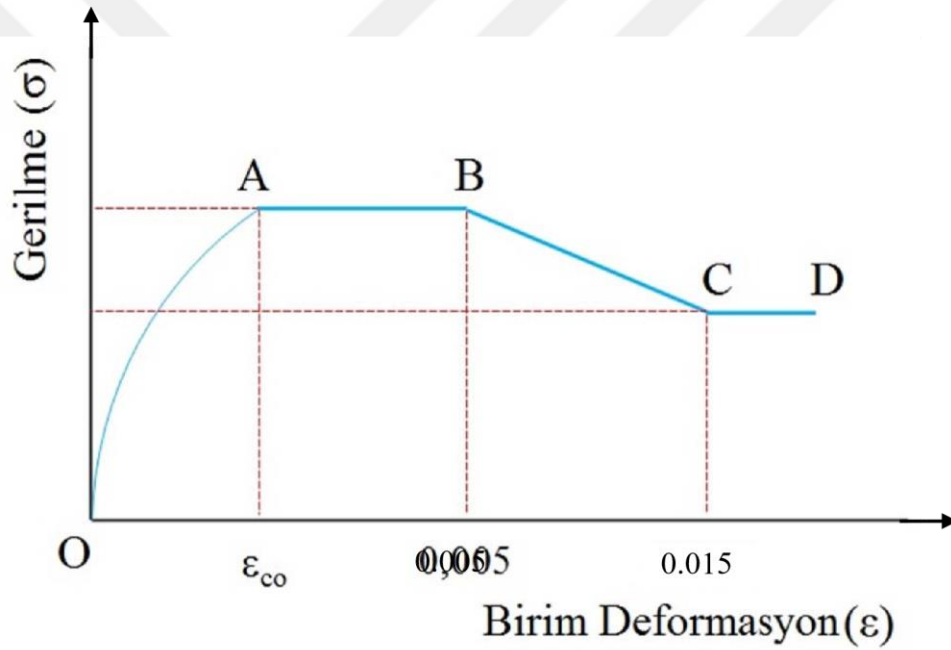
(3.4)

burada, azaltma faktörüdür. Söz konusu parametre modelde aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$0.851.00 \quad (3.5)$$

1.85

Denklem (3.5)'de yer alan D_c , kare kesitli kolonlar için $(D - 2t)$ olarak kabul edilir.



Şekil 3.14. Sargılı beton için gerilme-birim deformasyon ilişkisi

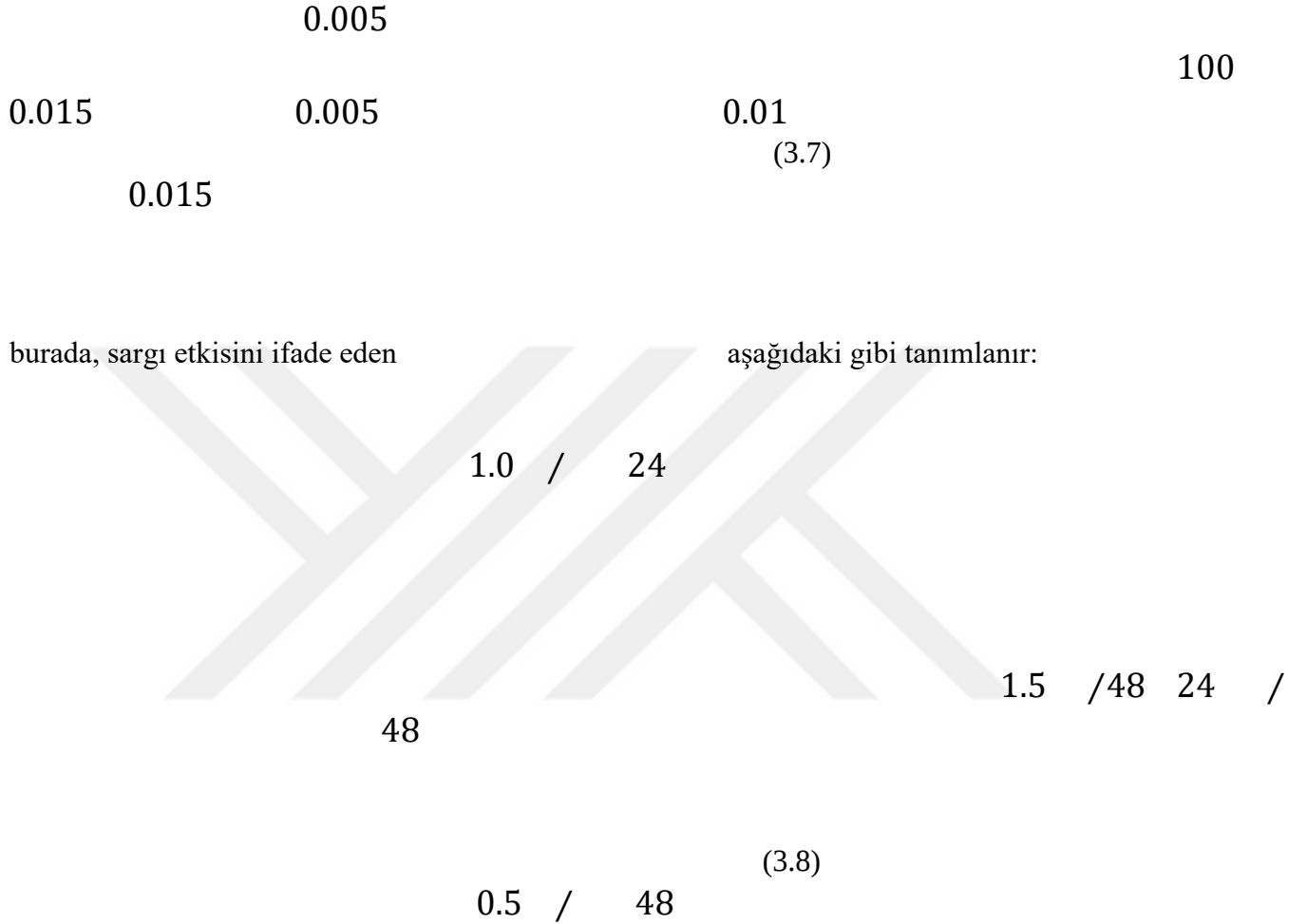
Modelde, parametresi, betonun etkili basınç dayanımına göre aşağıdaki sunulan ifadelerle tanımlanır:

$$0.002 \quad 28$$

$$0.002 \quad 28 \quad 82 \quad (3.6)$$

$$0.003 \quad 82$$

Şekil 3.14.'da gösterilen betonun gerilme-birim deformasyon eğrisinin AB, BC ve CD bölümleri aşağıdaki ifadelerle tanımlanmaktadır (Tomii ve Sakino (1979), Liang ve diğ. (2012)):



burada, ve parametreleri paslanmaz çelik tüp kesitinin derinliğini ve kalınlığını ifade etmektedir.

3.2.3. Paslanmaz çelik için gerilme-birim deformasyon modeli

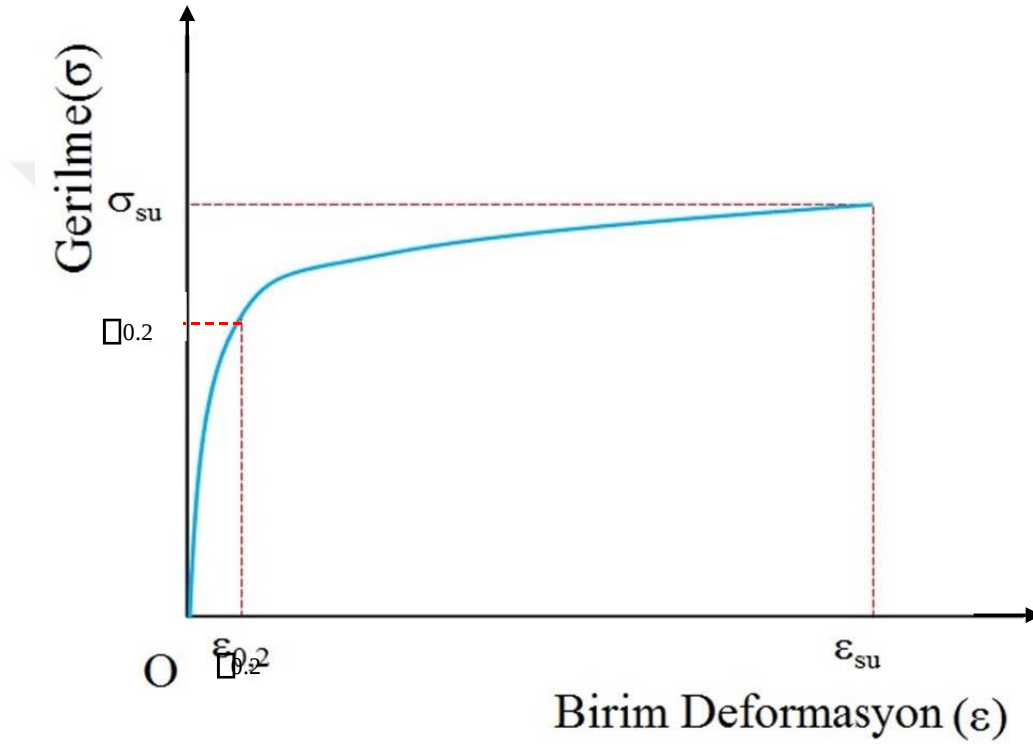
Sunulan çalışmada, paslanmaz çelik için Rasmussen (2003) tarafından önerilen iki bölümlü gerilme-şekil değiştirme modeli kullanılmıştır. Söz konusu modeli temsil eden grafik Şekil 3.15'de gösterilmiştir.

Rasmussen (2003), söz konusu modelin ilk bölümünde paslanmaz çelik %0,2 gerilmesine kadar Ramberg ve Osgood (1944) tarafından önerilen aşağıda verilen denklemini uygulamıştır:

$$\frac{\sigma}{E} = 0.002 \quad (3.9)$$

ç

burada, E paslanmaz çelik birim deformasyon ve gerilmesini; paslanmaz çelik elastisite modülünü temsil eder. $\sigma_{0.2}$, paslanmaz çeliğin %0.2' ye karşılık gelen gerilmesini ifade eder. Denklemden yer alan $\sigma_{0.2}$ parametresi aşağıda tanımlanmıştır:



Şekil 3.15. Paslanmaz çelik için gerilme-birim deformasyon ilişkisi (Rasmussen, 2003)

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3.10)$$

burada, E paslanmaz çeliğin % 0.01'e karşılık gelen gerilmesini temsil eder.

Rasmussen (2003) tarafından, paslanmaz çeliğin ikinci bölümünde doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için aşağıdaki denklem önerilmiştir:

$$0.002 \cdot$$

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{1}{1} \quad (3.11)$$

burada, σ , çekme parametresini, E teğet modülünü temsil eder. Denklemden yer alan ve σ parametreleri aşağıda verilen formüllerle hesaplanabilir:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.12)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{1} \quad (3.13)$$

Denklemin (3.13)'te yer alan σ parametresi kopma gerilmesine karşılık gelmektedir. Söz konusu parametre Rasmussen(2003) tarafından aşağıda verilen ifade ile hesaplanmaktadır:

$$\sigma = \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{1} \quad (3.14)$$

Modelde yer alan kopma şekil değiştirme parametresi (n) aşağıdaki formülle belirlenir:

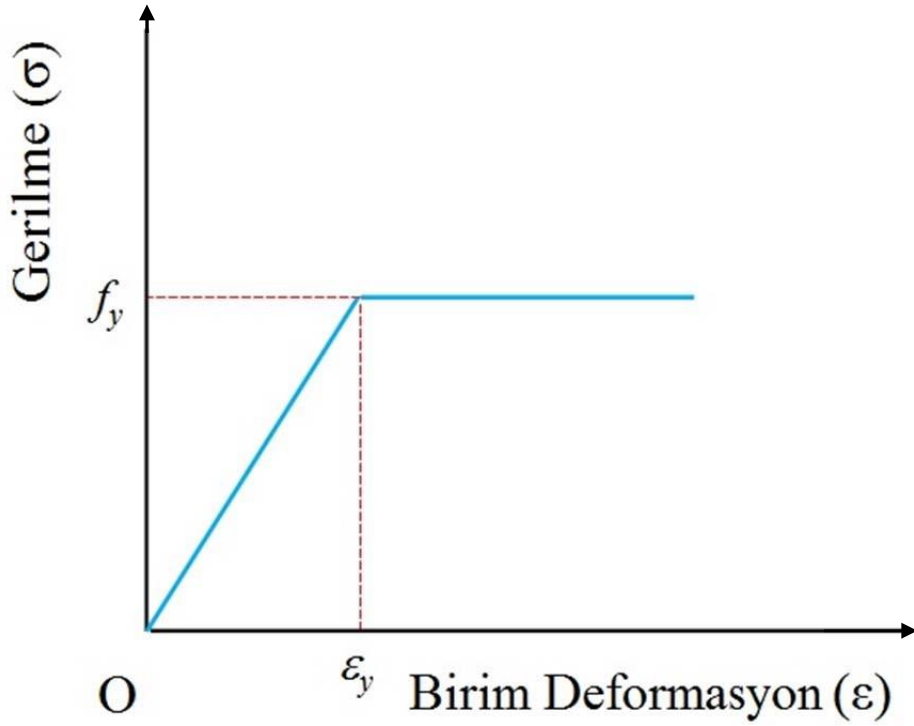
$$n = \frac{1}{1} \quad (3.15)$$

3.2.4. Karbon çelik için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Sunulan çalışmada, karbon çelik için elasto-plastik malzeme modeli esas alınmıştır (Şekil 3.16). Söz konusu model aşağıda verilen denklem ile temsil edilmektedir:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.16)$$

burada, ve sırasıyla karbon çelik gerilme ve birim şekil değıştirme değeri; ve karbon çelik malzemenin akma şekil değıştirmesini ve akma dayanımını ifade eder. E_s çeliğin elastisite modülüdür.



Şekil 3.16. Karbon çelik için gerilme-birim deformasyon ilişkisi

3.2.5. Analiz yöntemi formülasyonu

Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon kesiti Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Yöntemde malzemelerin doğrusal olmayan davranışları esas alınmaktadır. Bu nedenle doğrusal olmayan gerilme-birim deformasyon modeli kullanmaya olanak sağlamak üzere paslanmaz çelik tüp kesiti, yapı çeliği kesiti ve beton basınç bölgesi kesiti tarafsız eksen konumuna paralel olarak şeritlere ayrılmaktadır. Her bir şerit ağırlık merkezinde hesaplanan birim deformasyon ile malzemeler için esas alınan gerilme-birim deformasyon ilişkisi kullanılarak gerilmeler hesaplanabilmektedir (Tokgoz, 2009; Tokgoz ve Dundar, 2010).

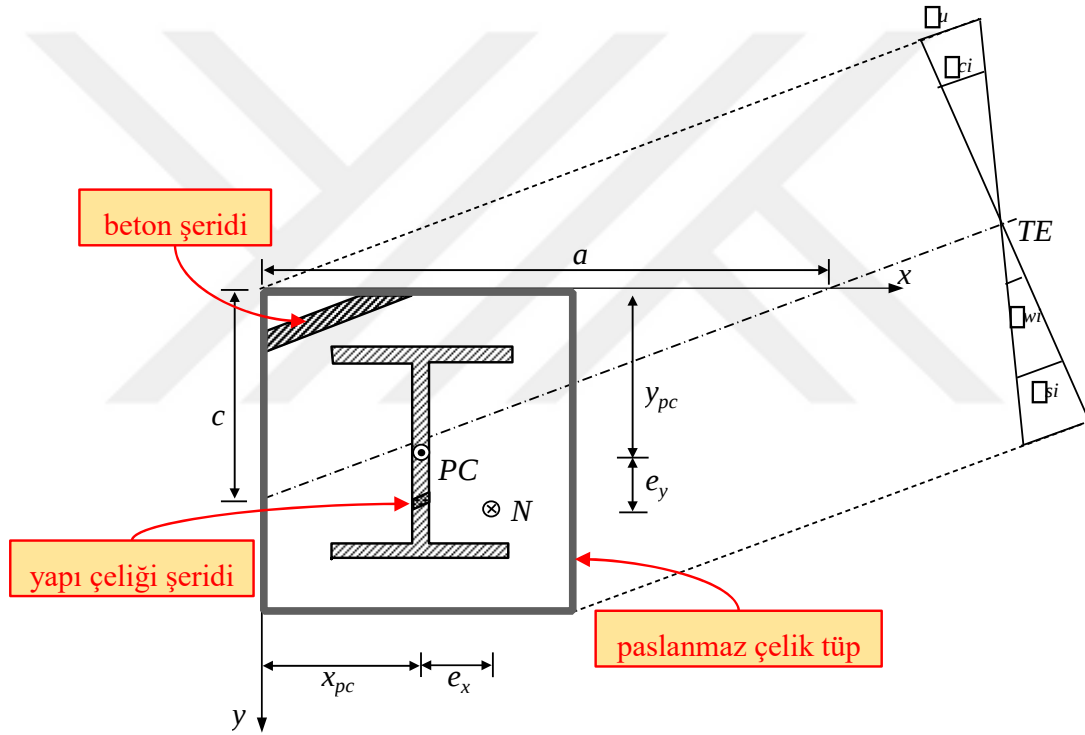
Tarafsız eksen konumu, Şekil 3.13’de gösterildiği gibi seçilen x-y eksen takımına göre ‘a’ ve ‘c’ gibi iki parametre ile tanımlanmaktadır. Birim deformasyonlar söz konusu parametreler ile ifade edilir. Eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin, eğilmeden sonra da düzlem kaldığı

varsayımına göre beton ve çelik için kesitin herhangi bir noktasındaki (x_i, y_i) birim deformasyon değeri aşağıdaki ifadeyle elde edilir:

$$- + -1$$

$$(3.17) \text{ Paslanmaz çelik}$$

boru, yapı çeliği ve betonun gerilme değerleri, Denk. (3.17) ve malzemelerin gerilme-birim deformasyon ilişkisi kullanılarak her bir şeridin ağırlık merkezinde hesaplanır. Denge denklemlerinde kullanılmak üzere her bir şeridin alan ve ağırlık merkezleri hesaplanmaktadır. Söz konusu geometrik parametrelerin hesabını gösteren ifadeler poligon kesitler dikkate alınarak Tokgöz (2006) çalışmasında kapsamlı bir şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 3.17. Beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolon kesiti

Şekilde , ve sırasıyla her bir şerit betonun basınç birim deformasyonunu, paslanmaz çelik şeridi birim deformasyonu ve yapı çeliği şerit birim deformasyonu olarak ifade edilmektedir. ve beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolonların plastik merkeze göre ağırlık merkezi koordinatlarını ifade eder.

3.2.6. Temel denge denklemleri

Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolon kesitine etki eden kuvvetler dikkate alındığında, oluşturulacak olan kuvvet () ve moment (,) denge denklemleri gerilmeler

() türünden aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$; \quad ; \quad (3.18)$$

Statik dengenin sağlanabilmesi için beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon kesite etki eden dış kuvvetin ve eğilme momentlerinin, iç kuvvetlerden oluşan eksenel kuvvet ve momentlere eşit olması gerekir. Bu durumda eleman kuvvetleri toplam cinsinden ifade edilecek olursa, kuvvet ve moment denge denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Sigma \quad \Sigma \quad \Sigma \quad (3.19)$$

$$\Sigma \quad \Sigma \quad \Sigma \quad (3.20)$$

$$\Sigma \quad \Sigma \quad \Sigma \quad (3.21)$$

burada, , ve sırasıyla paslanmaz çelik tüp şeridin gerilmesi, beton şeridin gerilmesi ve yapı çeliği şeridinin gerilmesini; , ve sırasıyla paslanmaz tüp şeridin alanı, beton şeridin alanı ve yapı çeliği şeridinin alanını; (,), (,), ve (,) sırasıyla, paslanmaz çelik tüp şeridin ağırlık merkezi, beton şeridin ağırlık merkezi ve yapı çeliği şeridinin ağırlık merkezi ile tüm kesitin x-y eksen takımına göre ağırlık merkezi arasındaki uzaklıkları ifade etmektedir.

3.2.7. Narinlik etkisi

Beton doldurulmuş çelik tüp kolonların yük-deplasman eğrilerinin teorik olarak belirlenmesi için temel stabilite analizi kullanılmaktadır (Rangan, 1990). İki ucu mafsallı kolon Şekil 3.18’te gösterilmektedir. Eğilmiş bir kolonun eğri denklemi sinüs fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$— \quad (3.22)$$

burada, kolonun etkili boyudur. Denklem (3.22)'nin iki kez türetilmesi ile kompozit kolonun orta noktasında oluşan eğrilik Denklem (3.23)'te tanımlandığı gibi elde edilir.

$$\frac{d^2\delta}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (3.23)$$

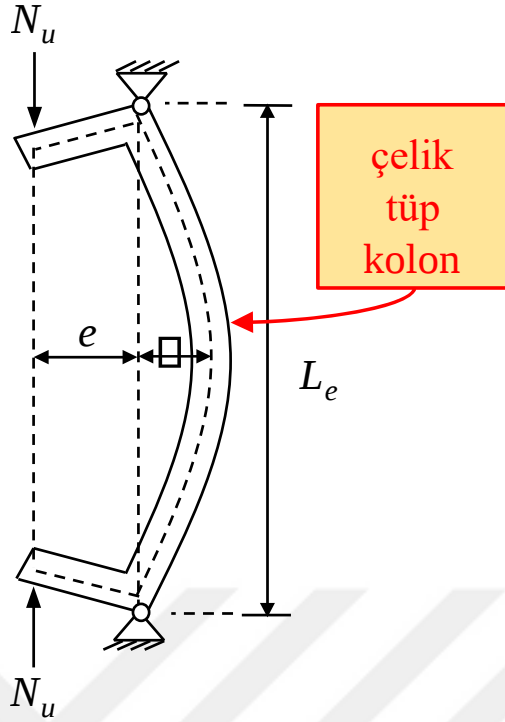
Kolonun orta bölgesinde oluşan deplasman, denklemlerde $\delta/2$ yazılmak suretiyle:

$$\frac{d^2\delta}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (3.24)$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda kolona etki eden iki yönlü eğilme momenti aşağıda verildiği gibi ifade edilir:

$$M = \frac{EI}{L^2} \left(\delta_1 + \delta_2 \right) \quad (3.25)$$

Kolonların analiz ve yük-deplasman eğrilerinin belirlenmesinde Denklem (3.25)'te ifade edilen momentler tasarım ve analiz için yazılan denge denklemlerinde (Denklem 3.20 ve 3.21) yerine yazılarak çözüm gerçekleştirilir. Kolon analizleri için Tokgoz (2015) ve Tokgoz ve Dunder (2010) tarafından geliştirilmiş olan bilgisayar programı, sunulan çalışmada önerilen beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon analiz yöntemini uygulayacak şekilde geliştirilmiştir. Test edilen kolon numune taşıma gücü analizi ve yükdeplasman eğrileri geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. İki ucu mafsallı eğilmiş beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kolon

3.2.8. Analiz yöntemi hesap adımları

Bilgisayar programı ile gerçekleştirilen hesap adımları aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Kolon numune malzeme özellikleri, kesit özellikleri ve kolon boyu tanımlanmaktadır.
- 2) Malzemelerin gerilme-birim deformasyon modelleri belirlenir.
- 3) Kolon numuneye etki eden dışmerkezlilik değerleri (,) tanımlanır.
- 4) Analize başlangıç için tarafsız eksen parametreleri (,) tahmin edilir.
- 5) Kolon kesiti ağırlık merkezi koordinatları, beton basınç bölgesi, paslanmaz çelik tüp ve yapı çeliği şerit alan ve ağırlık merkezi özellikleri belirlenir.
- 6) Seçilen birim deformasyon değeri için () malzeme şerit birim deformasyon değerleri belirlenir. Beton, paslanmaz çelik ve karbon yapı çeliği şerit gerilmeleri malzeme gerilme-birim deformasyon modelinden belirlenir.
- 7) Her malzeme için elde edilen şerit alan ve gerilme değerleri çarpılarak toplamı alınır ve denge denklemi oluşturulur. Bu aşamada statik dengenin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.
- 8) Denge sağlanıyorsa taşıma gücü elde edilmiş olur. Denge sağlanmıyorsa, yakınsama kriteri sağlanana kadar adım (4)-(7) arasında iterasyon gerçekleştirilir.

- 9) Denge denkleminin sağlandığı durumda tarafsız eksen parametreleri belirlenmiş olur. Söz konusu duruma karşılık gelen taşıma gücü ve deplasman değeri elde edilmiş olur.
- 10) Yük-deplasman davranışının belirlenmesinde, seçilecek olan farklı birim deformasyon değerine karşılık gelecek olan hesaplamalar yukarıda tanımlandığı şekilde gerçekleştirilir. Böylece elemanın yük-deplasman eğrisi elde edilir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Test edilen kolonların analizi

Sunulan çalışmada, test edilen beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonlar önerilen yöntemle dayalı bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Analizde malzemelerin doğrusal olmayan davranışları esas alınmıştır. Analizde, Bölüm 3’de tanımlanan sargılı beton modeli, paslanmaz çelik ve karbon çelik malzeme gerilme-birim deformasyon modelleri kullanılmıştır. Kolon deneysel parametrelerinden olan beton basınç dayanımı, kolona uygulanan yükün dışmerkezlik değeri Tablo 3.4’de belirtilmiştir.

Kolon analizleri Bölüm 3’de tanımlanan analiz hesap yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda bulunan kolon taşıma gücü değeri Tablo 4.1’de sunulmuştur. Tablo 4.1’de ayrıca test edilen kolonların deneysel eksenel yük değeri ve analiz değeri deneysel değere oranları sunulmuştur.

Tablo 4.1. Kolon numune deneysel ve analiz taşıma gücü ve oransal değeri

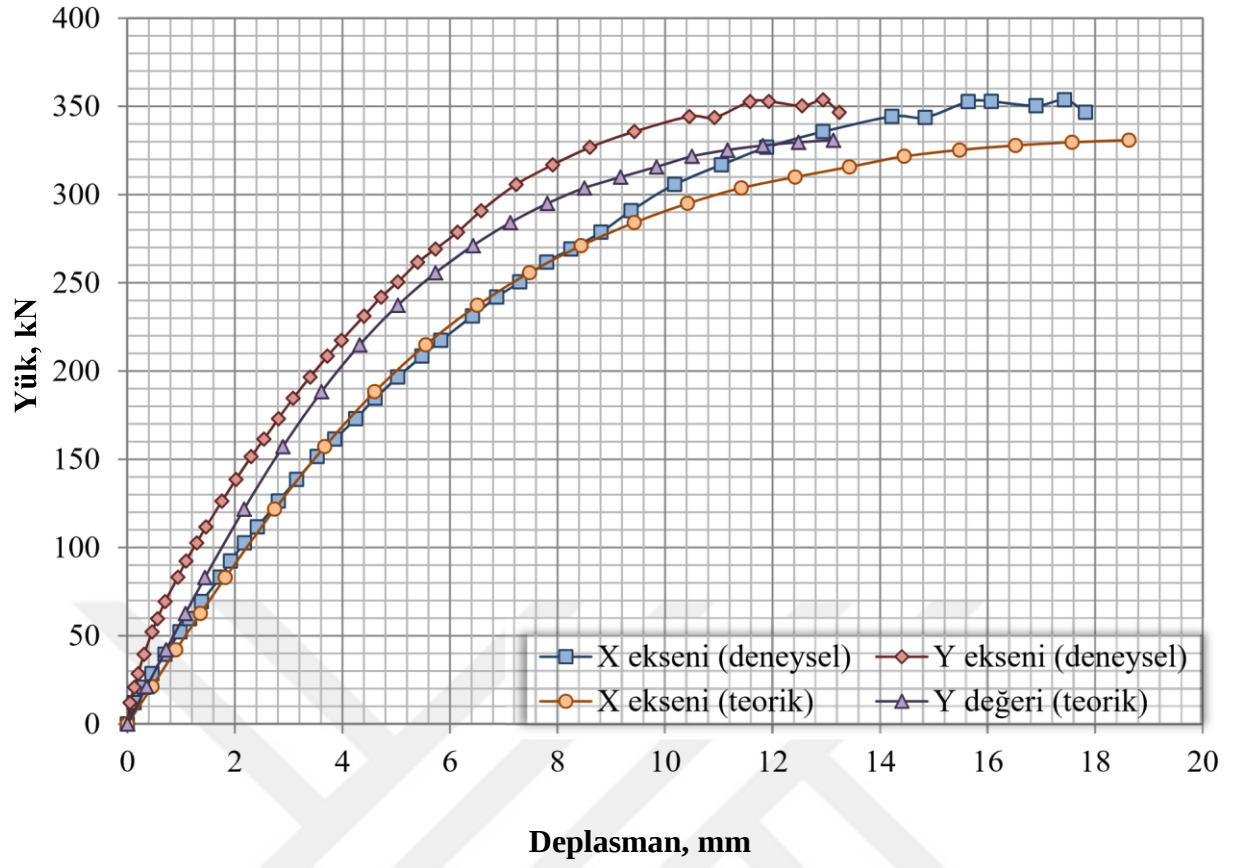
Numune no.	Deneysel değerler N_{deney} (kN)	Analiz değerleri			Oran (N/N_{deney})
		N (kN)	M_x (kN.cm)	M_y (kN.cm)	
CFSSTCC-I-1	341	325.24	2151.33	2291.96	0.954
CFSSTCC-I-2	320	286.02	2184.73	2309.52	0.894
CFSSTCC-I-3	310	270.02	2199.79	2318.29	0.871
CFSSTCC-I-1-SF	333	328.52	2175.28	2316.08	0.987
CFSSTCC-I-2-SF	309	289.14	2210.11	2335.58	0.936
CFSSTC-II-1	285	283.35	1943.41	1938.94	0.994

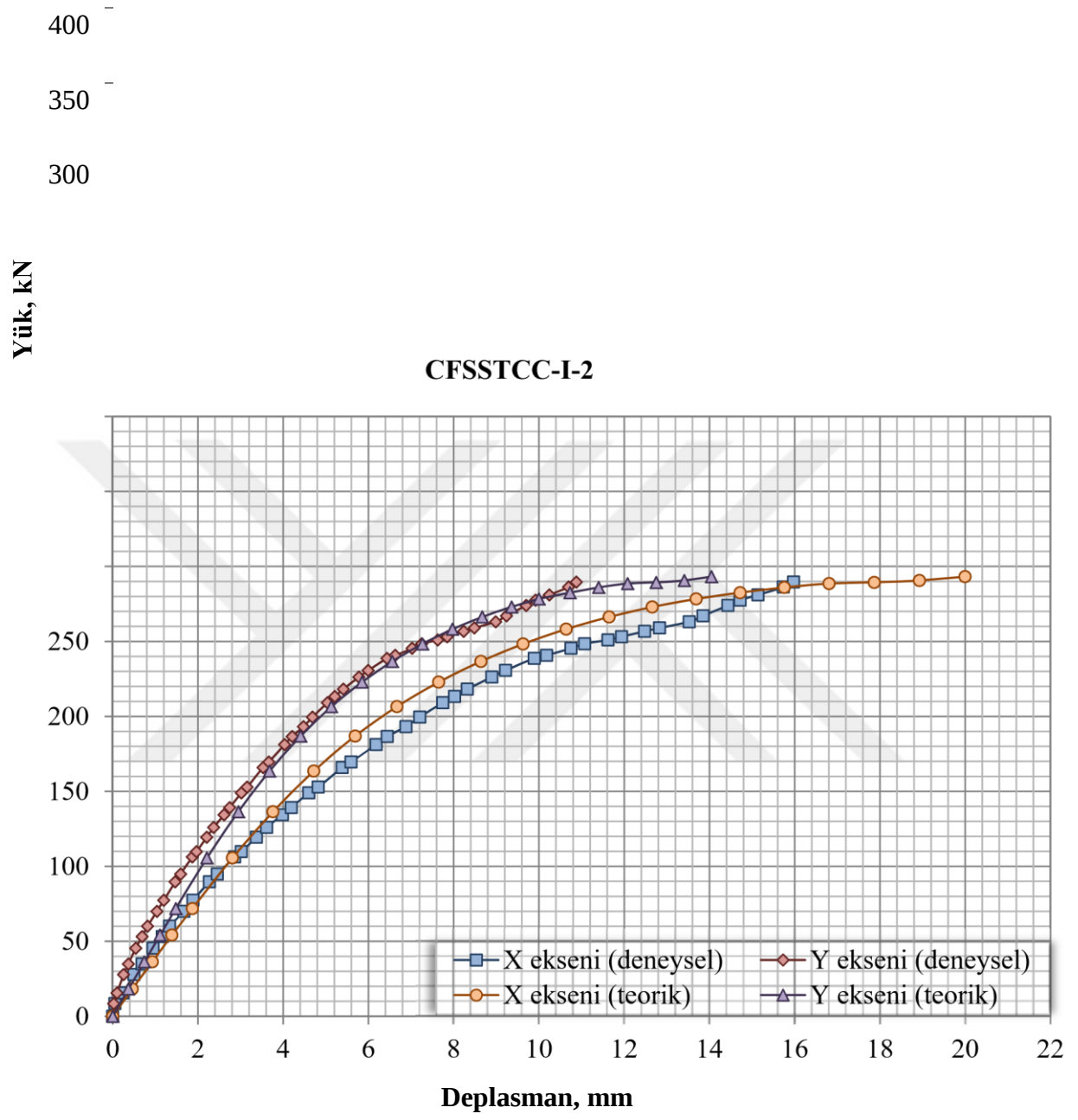
CFSSTCC-II-2	250	249.58	1966.12	1964.38	0.998
CFSSTCC-II-3	262	235.78	1975.75	1974.78	0.900
CFSSTCC-II-1-SF	325	282.69	1938.56	1934.12	0.870
CFSSTCC-II-2-SF	263	249.03	1961.48	1959.71	0.947
Ortalama					0.935
Standart varyasyon					0.0493

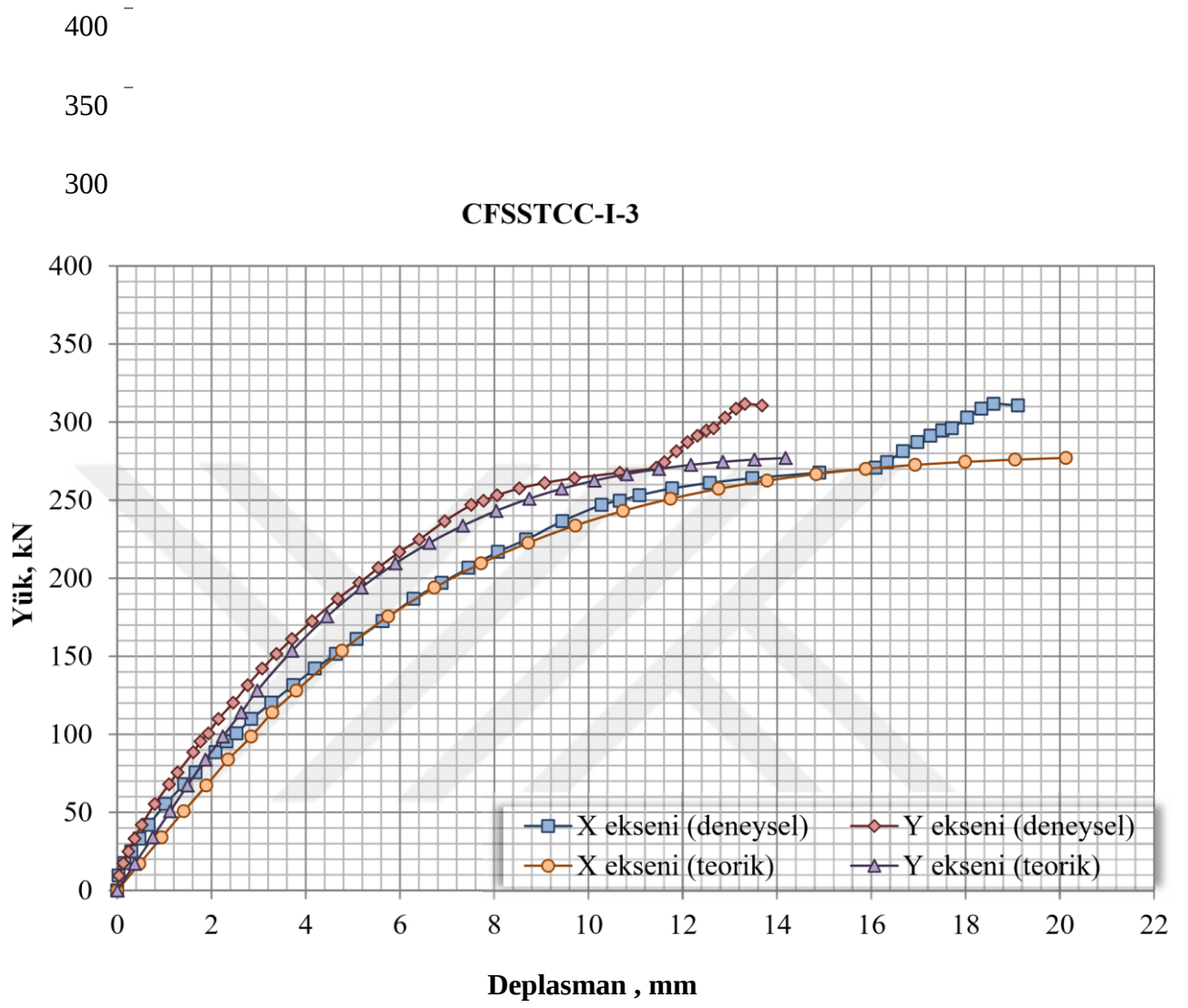
Kolon analizleri için Tokgoz(2015) ve Tokgoz ve Dundar (2010) tarafından geliştirilmiş olan bilgisayar programı, sunulan çalışmada önerilen beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon analiz yöntemini uygulayacak şekilde geliştirildikten sonra uygulanmıştır. Test edilen kolon numune taşıma gücü analizi ve yük-deplasman eğrileri geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile elde edilmiştir.

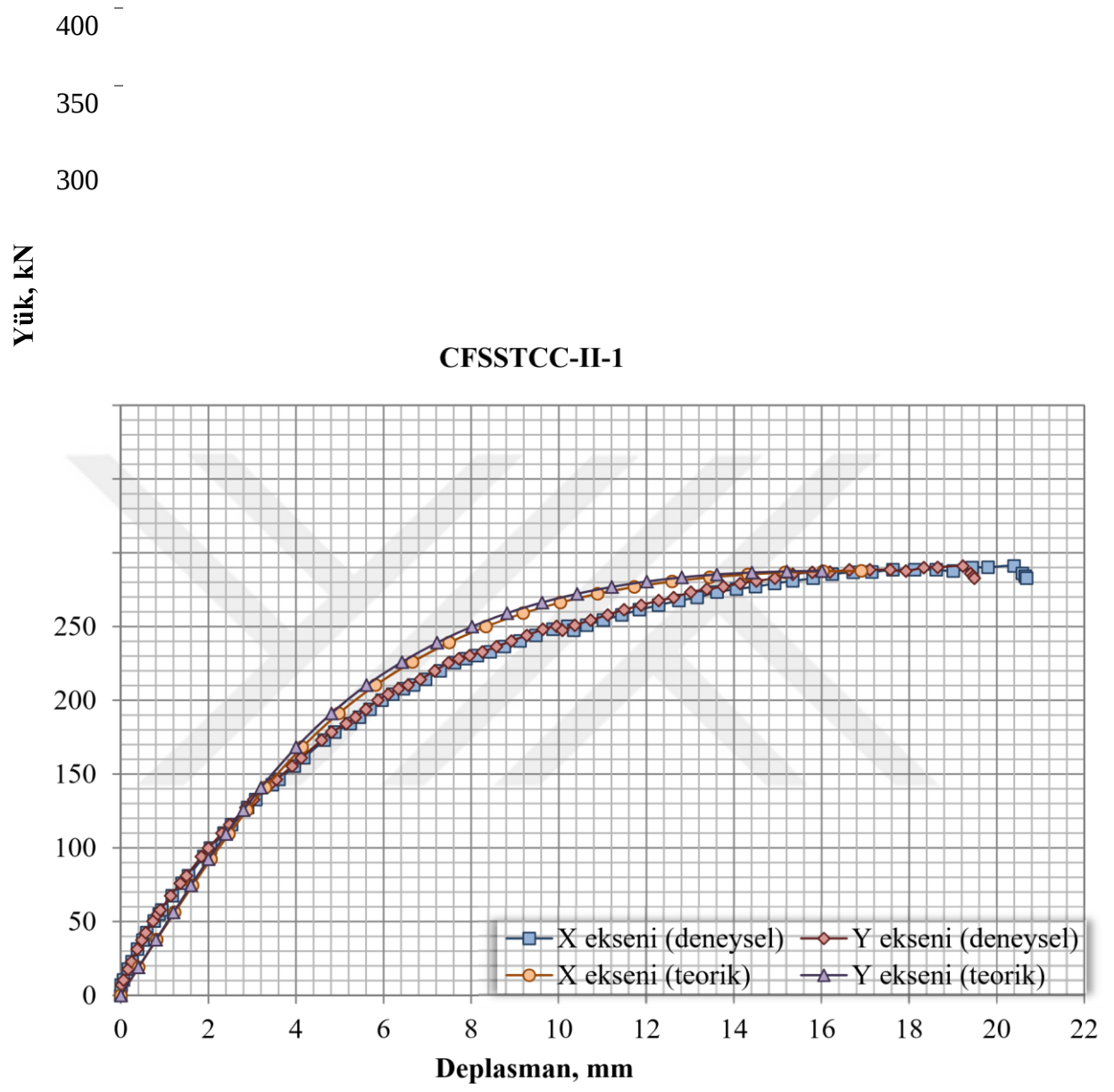
Çelif lif katkısız beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların x ve y eksenlerine göre deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri Şekilde 4.1’de sunulmuştur. Bunlara ilave olarak, çelif lif katkılı beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların x ve y eksenlerine göre deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri Şekil 4.2’de verilmiştir.

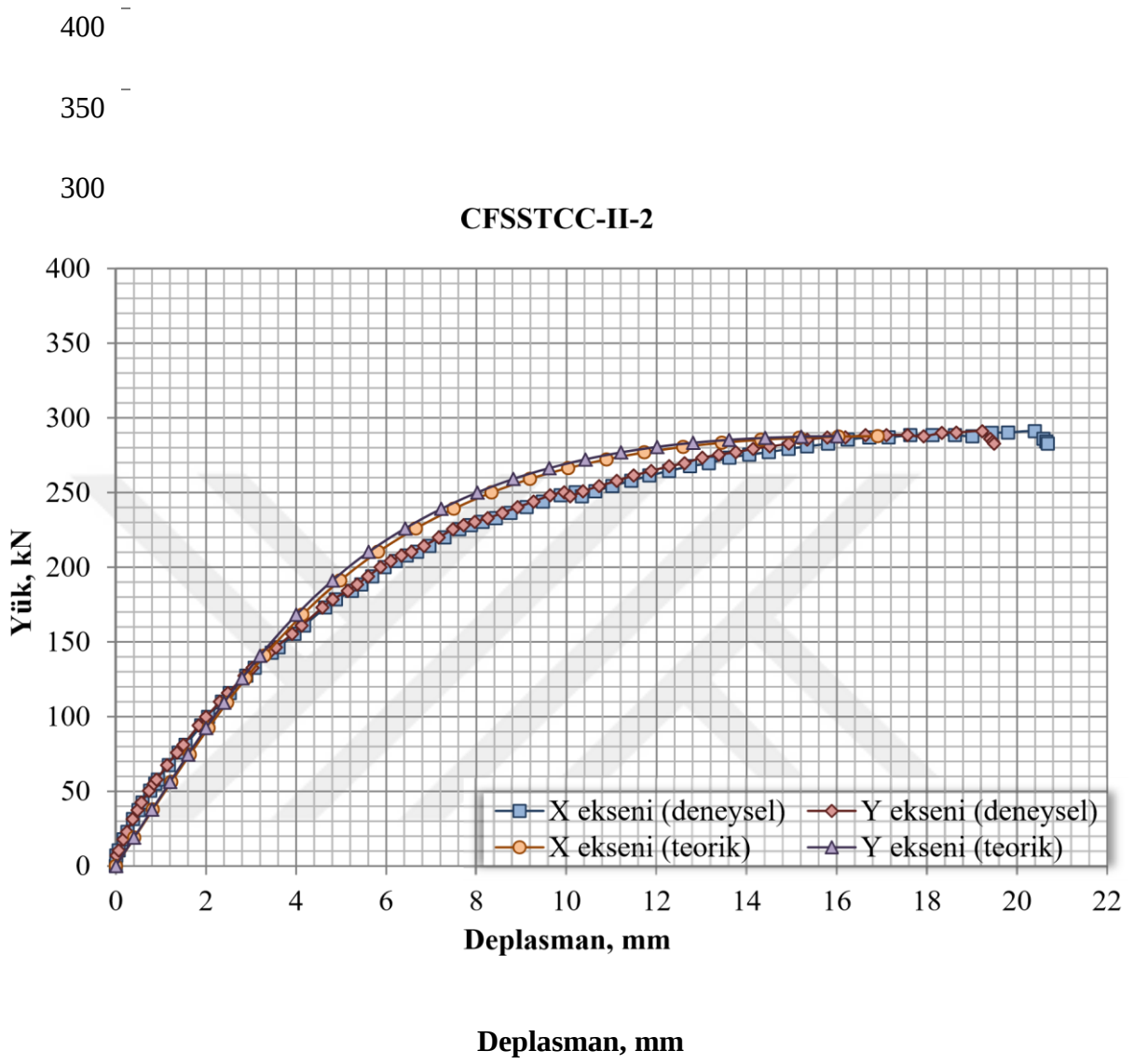
CFSSTCC-I-1





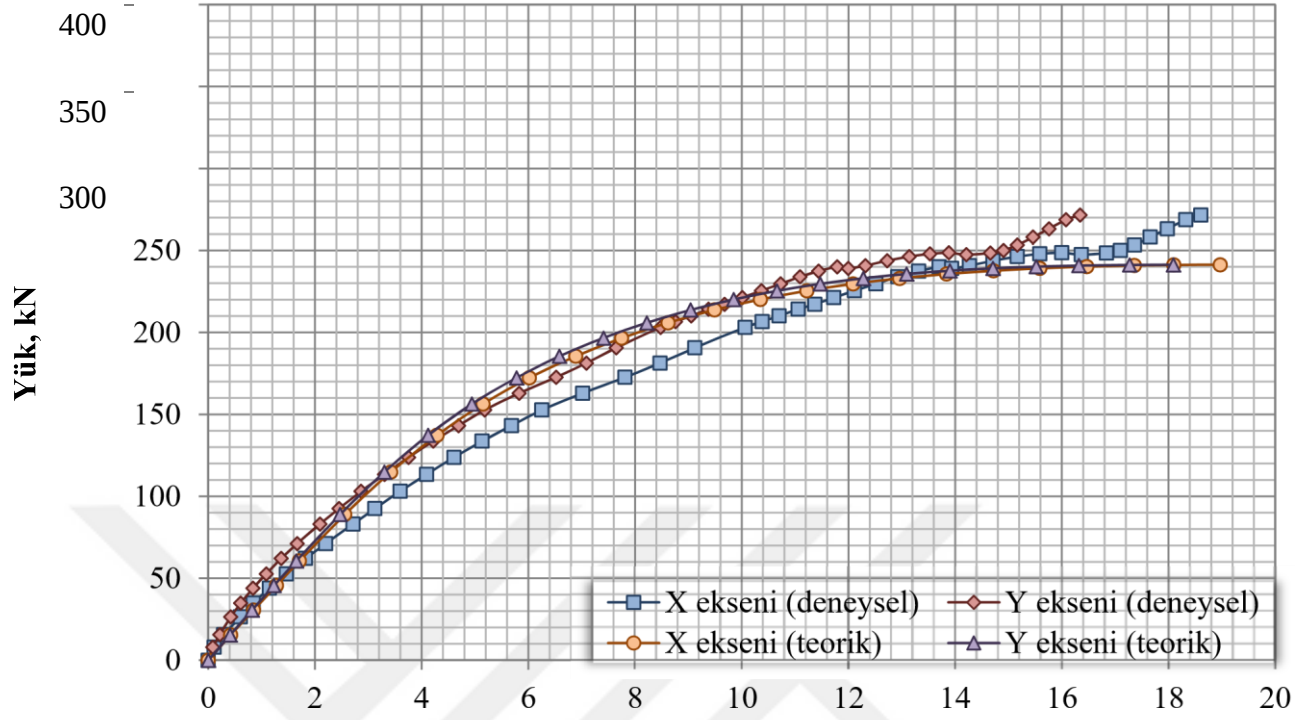




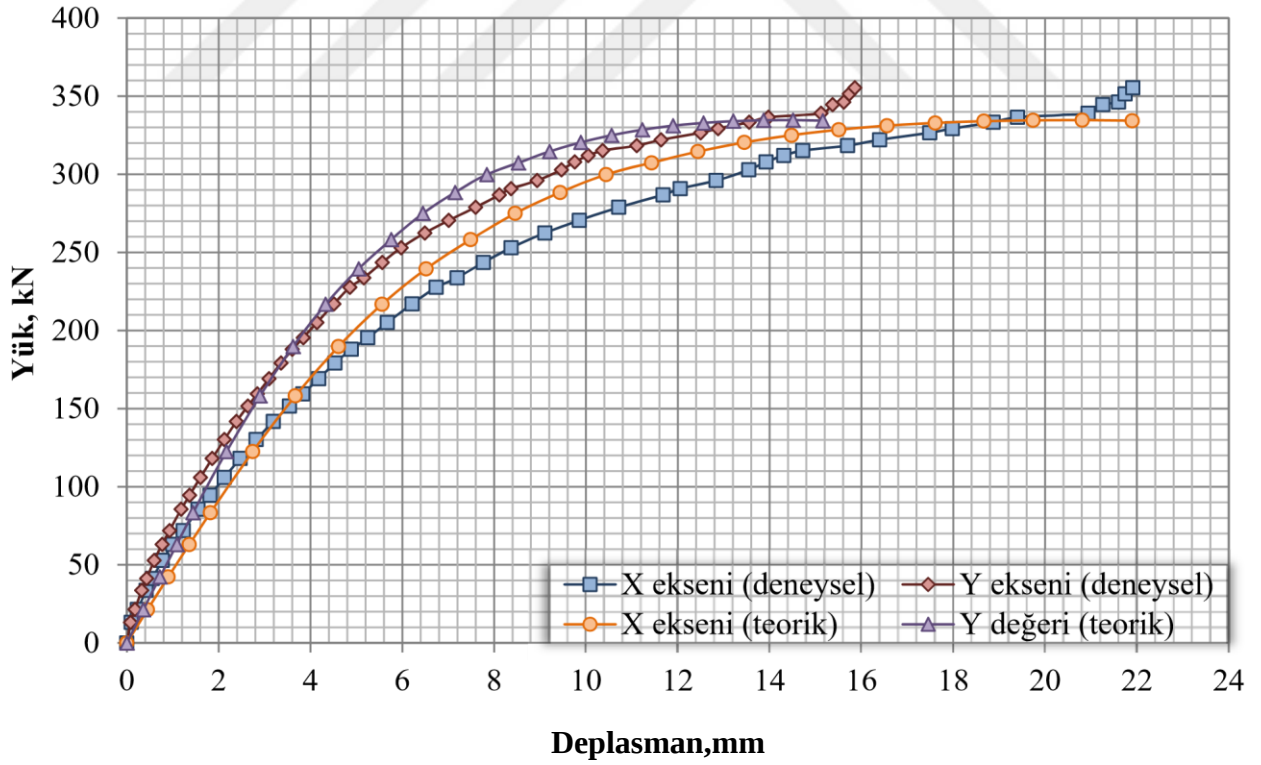


Şek 1 4.1. Çelif lif katkısız beton dolgulu paslanmaz çelik tüp kompozit kolon deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri

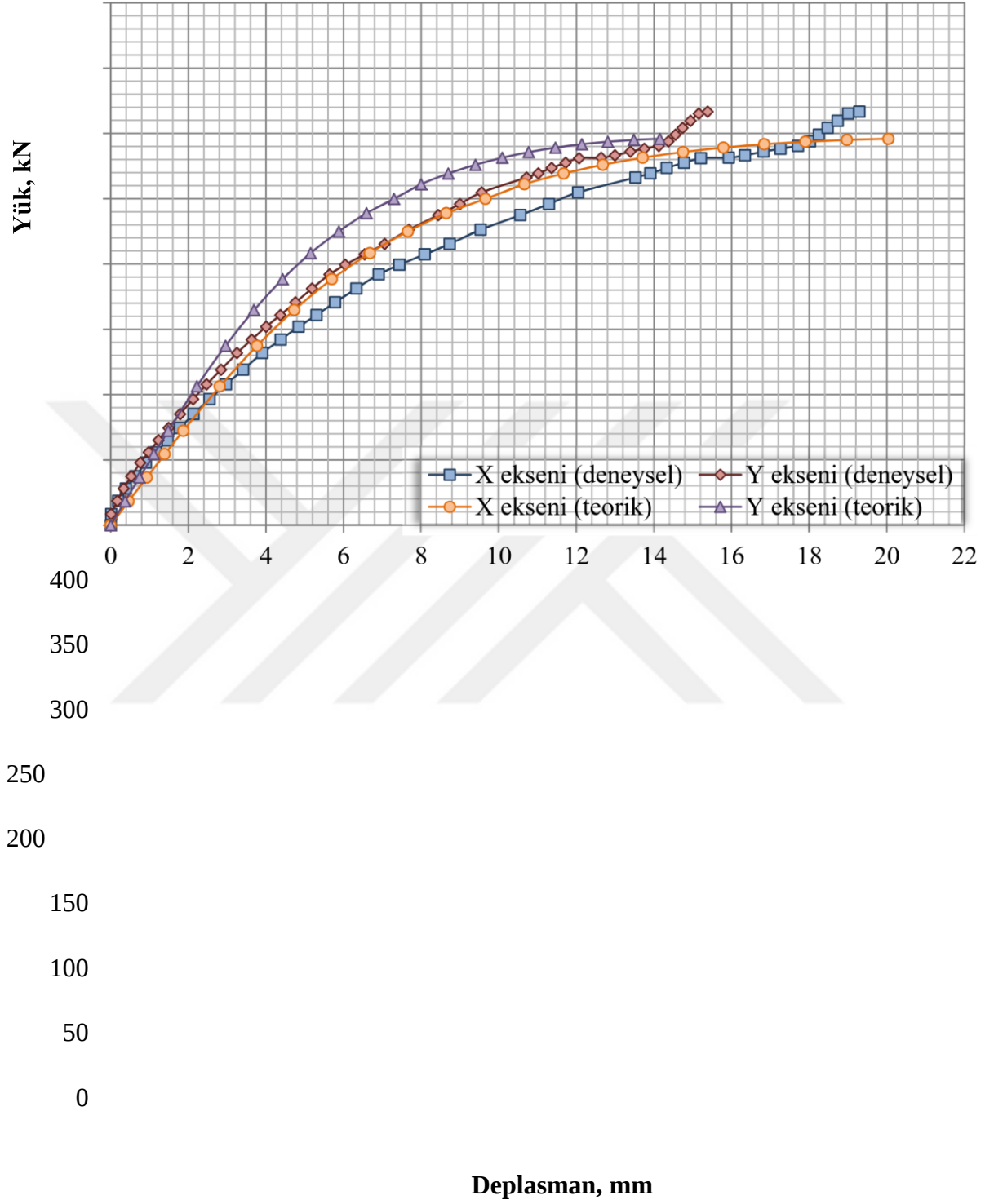
CFSSTCC-II-3



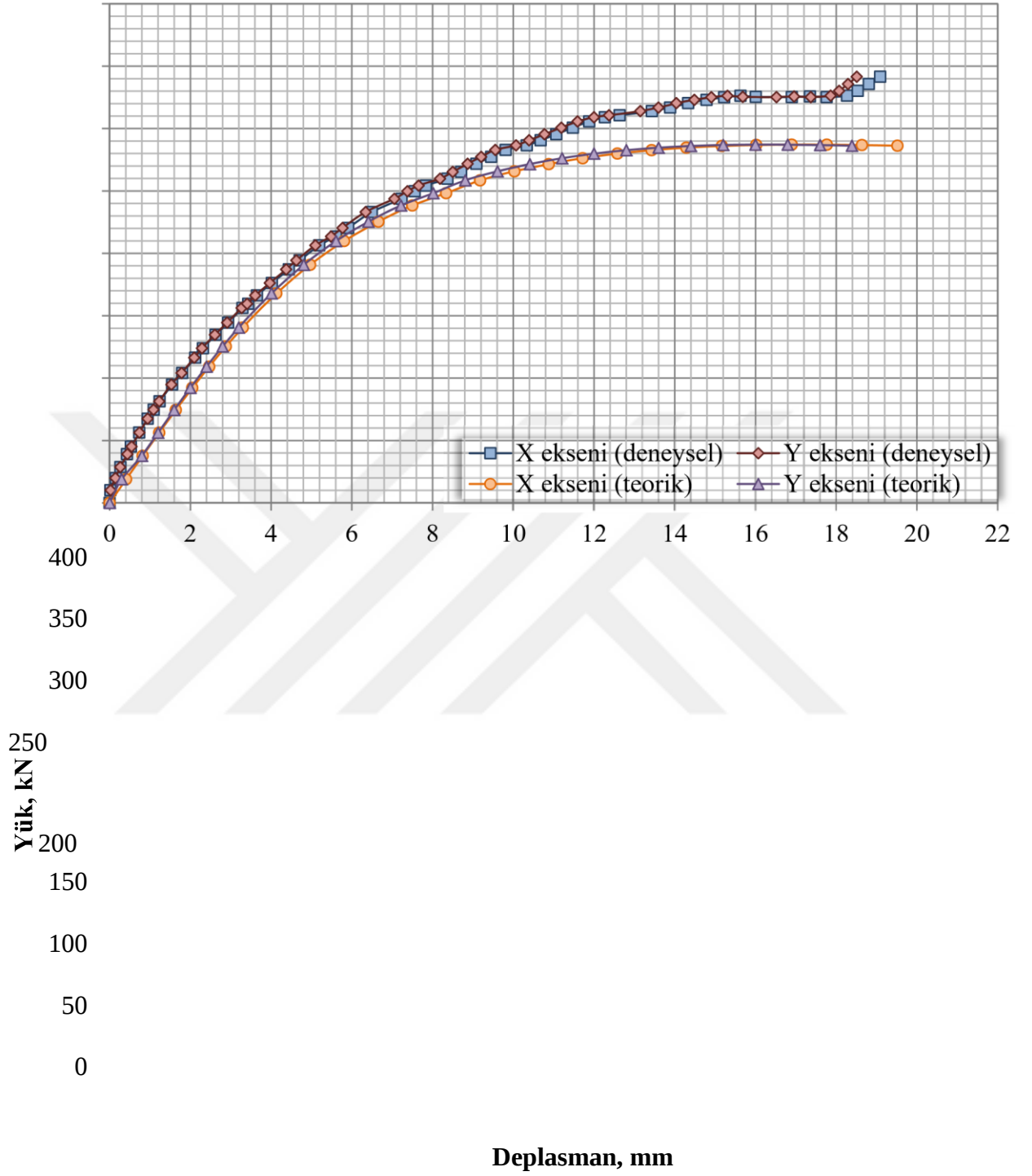
CFSSTCC-I-1-SF



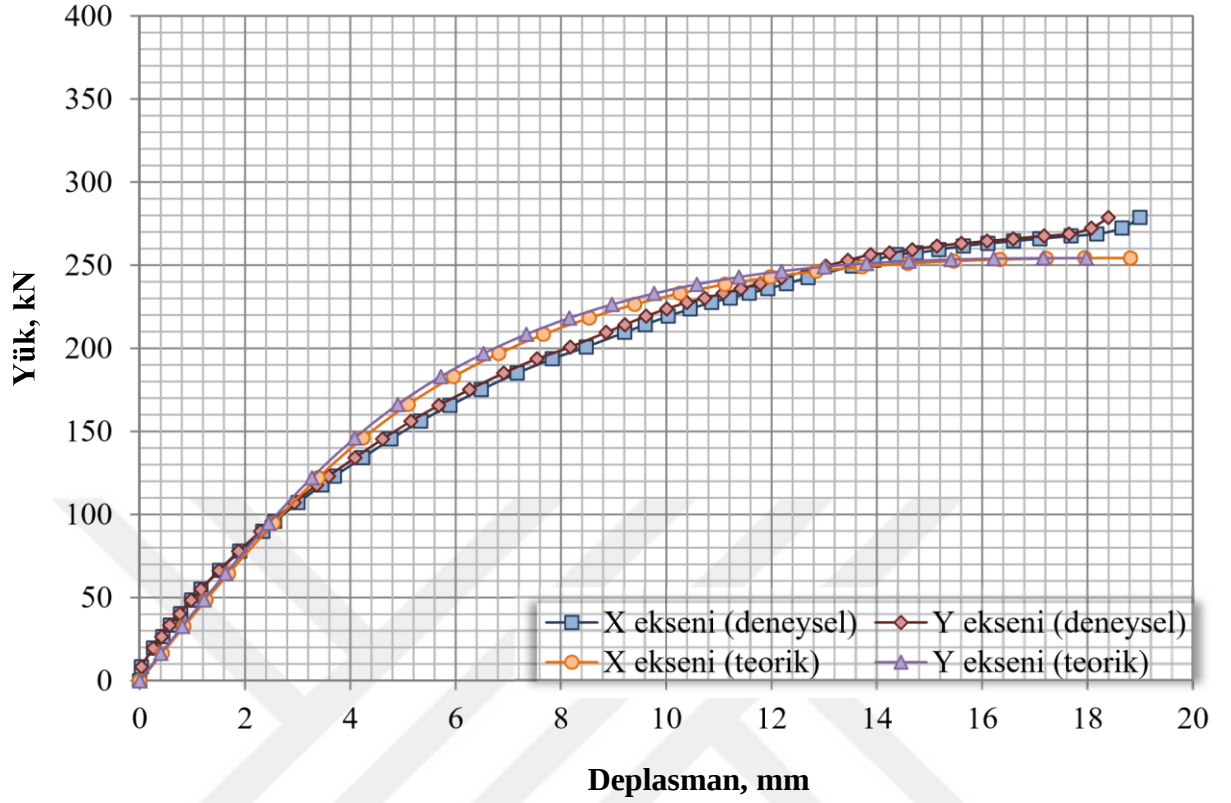
CFSSTCC-I-2-SF



CFSSTCC-II-1-SF



CFSSTCC-II-2-SF



Şekil 4.2. Çelik lif katkılı beton dolgulı paslanmaz çelik tüp kompozit kolon deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri

Tablo 4.1 ile Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de yer alan grafiklerin incelenmesinden, Seri I’de yer alan kolonların taşıma gücü değerlerinin Seri II’deki kolon taşıma gücü değerlerinden daha fazla elde edildiği görülmüştür. Seri I ve Seri II’de yer alan benzer numune özellikleri ve deney parametrelerine sahip kolonlar karşılaştırıldığında (örneğin, CFSSTCC-I-1 ve CFSSTCC-II-1), Seri I’de yer alan kolonlara yerleştirilmiş olan I-kesitli yapı çeliğinin Seri II’deki kolonlara yerleştirilen T-kesitli yapı çeliğe göre daha fazla dayanım kazandırdığı sonucuna varılmıştır. Söz konusu farkın numunelerde bulunan karbon yapı çeliğinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Yapılan karşılaştırmalarda %18 ile %28 aralığında dayanım artışı olduğu görülmüştür. Ancak, test edilen kolonlardan CFSSTCC-I-1-SF kolon numunesi ile CFSSTCC-II-1-SF numunesi karşılaştırıldığında taşıma gücü kapasitesinin çok fazla değişmediği belirlenmiştir.

4.2. Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon analizi

Beton basınç dayanımı ve narinlik etkisinin incelenmesi amacıyla CFSSTCC-I-1 kolon numunesi farklı beton sınıfları ve kolon boyu için diğer deney parametreleri sabit tutularak analiz edilmiştir. Analizde, malzeme gerilme-birim deformasyon modelleri Bölüm 3’de tanımlandığı şekilde kullanılmıştır. Farklı beton sınıfları ve farklı boy etkisi dikkate alınarak, diğer bütün parametreler sabit tutularak yapılan analiz sonucunda elde edilen teorik kolon taşıma gücü sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Farklı beton sınıfı dikkate alınarak yapılan analiz sonucu

Numune no	f_c (MPa)	L (mm)	e_x (mm)	e_y (mm)	N_{teorik} (kN)	M_x (kN.cm)	M_y (kN.cm)
CFSSTCC-I-1	40	1250	55	55	306.30	2013.88	2153.59
	80	1250	55	55	341.77	2271.66	2413.96
	100	1250	55	55	357.01	2381.52	2526.56

Tablo 4.3. Farklı boy etkisi dikkate alınarak yapılan analiz sonucu

Numune no	f_c (MPa)	L (mm)	e_x (mm)	e_y (mm)	N_{teorik} (kN)	M_x (kN.cm)	M_y (kN.cm)
CFSSTCC-I-1	60	750	55	55	365.45	2171.41	2226.43
	60	1000	55	55	346.62	2163.11	2255.82
	60	1500	55	55	301.86	2132.19	2330.28

Tablo 4.2’de beton basınç dayanımının kolon taşıma kapasitesi üzerinde oluşturduğu etkiyi incelemek için diğer parametreler sabit tutulurken beton basınç dayanımı değişkenlik göstermektedir. Tablo 4.2 incelendiğinde, beton basınç dayanımının artması ile kolon taşıma gücü kapasitelerinde artış olduğu görülmektedir. Bu durum beton basınç dayanımının kolon davranışı ve taşıma gücü kapasitesi üzerinde önemli etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4.3 ‘de beton basınç dayanımıyla birlikte diğer parametreler de sabit tutularak, kolon boyu değişken olarak ele alınmıştır. Yapılan analiz sonucunda kolon boyunun artması ile

birlikte narinlik etkisine bağlı olarak kolon taşıma gücü kapasitesinde düşüş olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak sunulan çalışma kapsamında yapılan analizler ele alındığında, beton basınç dayanım değerinin, çelik malzeme davranışının, kolona uygulanan dış merkezlik değerinin, kolon boyunun taşıma gücü kapasitesi üzerinde önemli derecede etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon davranışının doğru ve gerçekçi belirlenmesinde malzemeler için kabul edilen gerilme-birim deformasyon modelinin çok etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma kapsamında kabul edilmiş olan sargılı beton modeli ve paslanmaz çelik ile karbon çelik gerilme-birim deformasyon modellerinin iyi sonuçlar sağladığı görülmüştür.



5. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında davranışını belirlemek amacıyla deneysel ve teorik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan kolon numuneler çelik lifli ve lifsiz beton ile tasarlanmıştır. Söz konusu numuneler iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test edilmiştir. Çalışmada ayrıca, beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların davranışını ortaya koyan teorik bir yöntem önerilmiştir. Yöntemde malzemelerin doğrusal olmayan davranışı esas alınmakta ve kolon narinlik etkisi hesaplarda dikkate alınmaktadır. Test edilen kolon numuneler önerilen teorik yöntem ile analiz edilerek hesaplanan teorik sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur:

- (1) Deneysel çalışmada test edilen beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların sünek davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Kolon numuneler için önemli olan burkulma etkisi beton ve karbon çelik sayesinde önemli düzeyde önlenmiştir.
- (2) Malzeme mekanik özelliklerinden olan beton basınç dayanımı ve çelik dayanımlarının kolon davranışında önemli etkisi olduğu anlaşılmaktadır.
- (3) Çalışmada test edilen çelik lifli beton doldurulmuş kolonlar lifsiz beton doldurulmuş kolonlarla karşılaştırıldığında çelik lif etkisinin kolon davranışı üzerinde bir miktar etkisi olduğu gözlenmiştir. Çelik lifli beton doldurulmuş kolon numunelerin deplasman miktarlarında artış olduğu belirlenmiştir.
- (4) Kolona etki eden yükün dışmerkezlik değerinin kolon taşıma gücü kapasitesinde ve yükdeplasman davranışı üzerinde etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.
- (5) Çalışmada kabul edilen sargılı beton modeli, paslanmaz çelik tüp ve karbon yapı çeliği gerilme-birim deformasyon modellerinden elde edilen analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar sağladığı ortaya konulmuştur.
- (6) Çalışma kapsamında beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolonların analizi için önerilen teorik yöntemin kolon davranışının belirlenmesinde iyi sonuçlar sağladığı görülmüştür.

6. ÖNERİLER

Sunulan çalışmada, test edilen çelik lifli kolonlarda beton içerisinde bulundurulan çelik lif %0.7 hacimsel oranında esas alınmıştır. Çelik liflerin beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon davranışı üzerinde etkili parametre olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu parametrenin kolon davranışına olan etkisinin daha kapsamlı bir şekilde ortaya konulması bakımından, beton içerisinde farklı hacimsel oranlarda çelik lif kullanılarak hazırlanacak olan çelik lifli beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit kolon numunelerin test edilmesi faydalı olacaktır. Böylece söz konusu kolonlarda bulundurulması gereken optimum çelik lif hacimsel oranı belirlenebilecektir. Bu kapsamda yapılacak olan çalışmalarla çelik lifli beton doldurulmuş paslanmaz çelik tüp kompozit deneysel sonuçlarının literatüre önemli katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- ABAQUS Standard user's manual, version 6.14. Providence, RI (USA): Dassault Systemes Corp.; 2013.
- ACI 318 (2015), *Building Code Requirements for Structural Concrete*, Detroit (MI), American Concrete Institute.
- AISC (1993): *Load and resistance factor design specification for structural steel buildings*, 2nd ed. Chicago IL, American Institute of Steel Construction.
- Al-Rodan, A. and Al-Tarawnah, S. (2003). FE analysis of the flexural behavior of rectangular tubular sections filled with high-strength concrete. *Emirates Journal for Engineering Research*, 8 (1): 71-77.
- Chen, Z., Xu, J., Xue, J. and Su, Y. (2014). Performance and calculations of recycled aggregate concrete-filled steel tubular (RACFST) short columns under axial compression. *International Journal of Steel Structures*, 14(1):31-42.
- Ellobody, E. and Young, B. (2006). Design and behaviour of concrete-filled cold-formed stainless steel tube columns. *Engineering Structures*, 28:716–728.
- Ellobody, E., Young, B. and Lam, D. (2006). Behaviour of normal and high strength concrete-filled compact steel tube circular stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 62:706–715.
- Ellobody, E. (2013). Nonlinear behaviour of eccentrically loaded FR concrete-filled stainless steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 90:1-12.
- Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures, part1. 1: General rules and rules for building. BS EN 1994-1:1 2004. London (UK): British Standards Institution; 2004.
- Fujimoto, T., Mukai, A., Nishiyama, I. And Sakino, K.(2004). Behavior of eccentrically loaded concrete-filled steel tubular columns. *Journal of Structural Engineering*, 130:203-212.
- Ghaemdosut, M.R., Narmashiri, K. and Yousefi, O. (2016). Structural behaviors of deficient steel SHS short columns strengthened using CFRP. *Constructions and Building Materials*, 126:1002-1011.
- Han, L-H., Hou, C-C., Zhao, X-L. and Rasmussen, K.J.R. (2014). Behaviour of high-strength concrete filled steel tubes under transverse impact loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 92:25-39.
- Han, L-H., and Yao, G-H. (2003). Influence of concrete compaction on the strength of concrete-filled steel RHS columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 59 :751– 767.

- Han, L-H, Ye, Y., and Liao, F. (2016). Effects of core concrete initial imperfection on performance of eccentrically loaded CFST columns. *Journal of Structural Engineering*, 142(12):1-13.
- Lam, D., and Gardner, L. (2008). Structural design of stainless steel concrete filled columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 64:1275-1282.
- Lam, D., Gardner L. and Burdett, M. (2010). Behaviour of axially loaded concrete filled stainless steel elliptical stub columns. *Advanced in Structural Engineering*, 13(3):
- Li, G.C., Yang, Z. and Lang, Y. (2010). Experimental behavior of high strength concrete-filled square steel tube under bi-axial eccentric loading. *Advanced Steel Construction*, 6(4):963-975.
- Liang, Q.Q.(2017). Nonlinear analysis of circular double-skin concrete-filled steel tubular columns under axial compression. *Engineering Structures*, 131; 639-650.
- Liang Q.Q., Patel VI and Hadi, MNS (2012). Biaxially loaded high-strength concrete-filled steel tubular slender beam-columns, part I: multiscale simulation. *Journal Constructional Steel Research*, 65:64–71.
- Liang, Q.Q., Uy, B. and Liew, J.Y.R. (2006). Nonlinear analysis of concrete-filled thin-walled steel box columns with local buckling effects. *Journal of Constructional Steel Research*, 62:581–591.
- Liu, D.,Gho, W-M. And Yuan, J.(2003). Ultimate capacity of high-strength rectangular concrete-filled steel hollow section stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 59:1499–1515.
- Liu, D., (2004). Behaviour of high strength rectangular concrete-filled steel hollow section columns under eccentric loading. *Thin-Walled Structures*, 42:1631-1644.
- Liew, J.Y.R., Xiong M., Xiong, D. (2016). Design of concrete filled tubular beam-columns with high strength steel and concrete. *Structures*, 8:213-226.
- Mander, JB., Priestley, MNJ., Park, R (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8):1804–1826.
- Rangan, BV.(1990). Strength of reinforced concrete slender columns. *ACI Structural Journal*, 87(1):32–38.
- Ramberg, W. and Osgood, W.R. (1944). Description of stress-strain relations from offset yield strength values. *NACA Technical Note no. 927*

- Secer, M.,and Kural, M.E. (2010). Investigation of stress-strain-time relationships of concrete filled steel tube columns. Pamukkale University, Journal of Engineering Sciences, 16(1):11-19.
- Tokgoz S. (2009). Effects of steel fiber addition on the behaviour of biaxially loaded high strength concrete columns. Materials and Structures, 42:1125-1138.
- Tokgoz S. (2006). Öngerilmeli ve betonarme elemanların iki eksenli eğilme ve eksenel yük etkisi altında davranışı. Doktora tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tokgoz, S.(2015). Testson plain and steel fiber concrete-filled stainless steel tubular columns. Journal of Constructional Steel Research, 114:129-135.
- Tokgoz, S.,and Dundar, C., (2010). Experimental study on steel tubular columns in-filled with plain and steel fiber reinforced concrete. Thin-Walled Structures, 48:414-422. Tokgoz S, Dundar C. (2008). Experimental tests on biaxially loaded concrete-encased compositecolumns. Steel and Composite Structures, 8(5):423-438.
- Tomii M, Sakino K. (1979). Elastic-plastic behavior of concrete filled square steel tubular beam-columns. Transactions of the Architectural Institute of Japan, 280:111-120.
- Uy, B., Tao, Z. and Han, L-H.(2011). behaviour of short and slender concrete-filled stainless steel tubular columns. Journal of Constructional Steel Research, 67:360-378.
- Yousuf, M., Uy, B., Tao, Z., Remennikov, A., andLiew, J.Y.R. (2013). Transverse impact resistance of hollow and concrete filled stainless steel columns. Journal of Constructional Steel Research, 82:177-189.
- Wang, W.,Sheikh, M.N. Hadi, M.N.S., Gao, D. And Chen, G. (2017). Behaviour of concreteencased concrete-filled FRP tube (CCFT) columns under axial compression. Engineering Structures, 147:256-268.
- Yuan, H., Hong, H-P., Deng, H. And Bai, Y. (2018). Displacement ductility of staged construction-steel tube-reinforced concrete columns. Construction and Building Materials, 188:1137-1148.
- Zeghiche, J. and Chaoui, K.(2005). An Experimental Behaviour of Concrete-Filled Steel Tubular Columns. Journal of Constructional Steel Research, 61:53-66.
- Zhang, S. And Guo, L.(2007). Behaviour of high strength concrete-filled slender RHS steel tubes. Advances in Structural Engineering, 10(4):337-351.