ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Duygu ERTÜRKMEN

EKSANTRİK YÜK ETKİSİ ALTINDA KARBON FİBER POLİMER SARGILI BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2017

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSANTRİK YÜK ETKİSİ ALTINDA KARBON FİBER POLİMER SARGILI BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Duygu ERTÜRKMEN

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

…….	……..……	……..……...
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR	Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY	Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

……..	……...
Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ	Doç. Dr. İlker F. KARA
ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma TÜBİTAK 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı ve Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2013D22

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

EKSANTRİK YÜK ETKİSİ ALTINDA KARBON FİBER POLİMER SARGILI BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Duygu ERTÜRKMEN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
Yıl: 2017, Sayfa: 284
Jüri : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
: Doç. Dr. İlker F. KARA

Yapısal uygulamalarda, yüksek dayanımlı betonarme kolonların kullanımı giderek artmaktadır. Bilindiği gibi, yüksek dayanımlı betonarme kolonlar yük etkisinde gevrek davranış sergilemektedir. Bu nedenle bu tarz kolonlara, yük etkisi altında daha sünek davranabilmeleri için çelik lifler ilave edilmektedir. Buna ek olarak, bu kolonlar dayanımlarının arttırılabilmesi için de karbon lifli polimer (CFRP) malzeme ile sarılabilmektedirler. Bu çalışmada, karbon lifli polimer sargılı, yüksek dayanımlı, çelik lifli ve lifsiz, narin betonarme kolonların deneysel ve analitik davranışları incelenmektedir. Yapılan deneyler sırasında kullanılan betonun basınç dayanımının, uygulanan eksantrisite değerinin, çelik lif varlığının ve CFRP sargısının kolon davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda elemanların dayanımı, yük-deplasman ilişkileri ve kırılma biçimleri gözlenmiştir. CFRP sargısının kolonların dayanım, süneklik ve sargı kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir. İki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki CFRP sargılı, narin betonarme kolonların analizi için liteatürde mevcut bulunan sayısal bir hesap yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde betonun basınç dayanımı, donatının akma dayanımı, CFRP kumaşının mekanik özellikleri ve kolonun geometrik özellikleri kolonun davranışını belirlemek için kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Lifli Polimer, Narin Kolon, Çelik Lif, Dayanım Kapasitesi, Deplasman.

ABSTRACT

PhD. THESIS

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF CARBON FIBER POLYMER WRAPPED REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER ECCENTRIC LOAD EFFECT

Duygu ERTÜRKMEN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
Year: 2017, Pages: 284
Jury : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
: Assoc. Prof. Dr. İlker F. KARA

High strength reinforced concrete columns have been increasingly used in structural applications. It is known that these columns exhibit brittle behavior under applied loads. Therefore, steel fibers can be added into the core concrete to improve the ductility and deformability of these columns. In addition, high strength reinforced concrete columns can be wrapped with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) materials for additional strengthening. In this work, experimental and analytical studies on CFRP confined plain and steel fiber slender high strength columns have been presented. The experimental strength capacities, load-deflection relations and failure modes of the column specimens have been observed. The effects of the parameters of concrete compressive strength, load eccentricity, steel fibers, and carbon fiber polymer material on the structural behavior of high strength reinforced concrete columns have been examined. The experimental study revealed that the CFRP material is significantly effective on reinforced concrete columns with respect to strength, ductility and confinement. In addition, a numerical procedure is presented for the analysis of slender reinforced concrete columns confined with CFRP sheets subjected to combined axial load and biaxial bending. These columns have been analyzed using geometric features and experimental parameters of concrete compressive strength, steel yield strength and CFRP material properties to predict the column structural behavior. It was observed that the analysis results and the experimental results showed good agreement in this study.

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Polymer, Slender Column, Steel Fiber, Strength Capacity, Deflection.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Ülkemizde dayanım ve rijitlik bakımından yetersiz olan çok sayıda betonarme yapı bulunmaktadır. Özellikle, yapı inşaatında yönetmelikte öngörülenden daha düşük basınç dayanımlı beton kullanımı ve yapı elemanlarını donatılandırmada kullanılan enine ve boyuna donatıların, öngörülenden eksik ve yetersiz olması gibi olumsuzluklar, bu yapıların deprem gibi dayanım ve yüksek yanal rijitlik gerektiren hallerde başarısız olmalarına ve belki de yıkılmalarına sebep olabilmektedir. Bu nedenle bu tarz olumsuzlukları gidermek ve bu şekilde hasar görmüş olan betonarme elemanlara başlangıçtaki mukavemetlerini kazandırmak veya söz konusu hasarlı elemanları güçlendirmek için bu elemanlara lif takviyeli epoksi esaslı kompozit malzemeler sarılabilmektedir.

Çekme dayanımları çelikten çok daha fazla olan bu tür kompozit malzemelerin en büyük avantajları hafif olmaları, korozyona uğramamaları ve kolaylıkla uygulanabilmeleridir. Lifli polimer malzemeler, tek yönlü plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilebilmekte olup, karbon (CFRP), aramid (AFRP) ve cam (GFRP) gibi maddelerden oluşmaktadırlar.

Lifli polimer (FRP) malzemeler betonarme yapılarda;

- Kolonlarda ve perdelerde etriye olarak,
- Kirişlerde etriye ve alt-üst donatı olarak,
- Döşemelerde alt-üst donatı olarak,
- Yığma duvarlarda ise takviye olarak kullanılabilmektedirler.

Lifli polimerler, sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için uygulama yönleri oldukça önemlidir. İki yönlü tabakalar halinde uygulandıklarında kirişlerde eğilme ve kesme dayanımının, kolonlarda eğilme ve sargılama etkisiyle basınç dayanımının arttırılması mümkündür.

Lifli polimer malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılanlar, karbon lif takviyeli (CFRP) ve cam lif takviyeli (GFRP) olanlardır. Yük etkisi altında karbon lif takviyeli kompozitler cam lif takviyeli olanlara göre çok daha yüksek çekme

dayanımı sağlamaktadırlar; bu nedenle de yapı elemanlarının güçlendirilmesinde cam lif kompozitlere göre daha fazla tercih edilmektedirler. Karbon fiber (CFRP) adıyla tanınan bu malzemeler hafif, yüksek mukavemetli, liflerin dizilim yönleri değiştirilerek mukavemeti ayarlanabilen, beton ve çeliğin giremeyeceği yerlere girebilen, ince, uygulanması hızlı ve pratik, uzun ömürlü malzemelerdir.

Bu malzemeler, beton ve çeliğe göre biraz pahalıdır ama bir otelde, restoranda, turistik bir yerde veya tarihi bir mekânda güçlendirmede; yani kullanımında daralma olması istenmeyen, çirkin ve kaba görüntülere müsaade edilemeyecek olan yerlerde, tercih edilmektedirler.

Özellikle deprem etkisi altındaki kolonlarda karbon lifli polimerlerle yapılan sargılama, kolonun yanal rijitlik ve yanal yük kapasitesinde fazla bir artış olmadan yer değiştirme yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, sargı yetersizliğine sahip betonarme kolonların güçlendirilmesinde CFRP sargılama oldukça etkin bir yöntem olabilmektedir.

Yapılan doktora tezi kapsamında, toplamda 16 adet karbon fiber sargılı ve sargısız, çelik lifli ve lifsiz, yüksek dayanımlı narin betonarme kolon hazırlanmış ve eksantrik yük etkisi altında test edilmiştir. Test edilen kolon numunelere deney boyunca uygulanan yük ve yüke karşılık gelen yanal deplasmanlar, yük ve deplasman ölçerler kullanılarak ölçülmüştür. Test edilen kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki davranışları gözlenmiş, kolonlara ait taşıma gücü değerleri ve yük-deplasman ilişkileri belirlenerek gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, karbon fiber polimer sargı uygulamasının, yüksek dayanımlı betonarme kolonların dayanım, süneklik ve sargı kapasitesini arttırdığı; bununla birlikte, narin kolonun burkulmasını önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada, deneysel olarak test edilen kolonlar, kolonların kesit özellikleri ve deneylerde kullanılan parametreler de dikkate alınarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, lisans ve doktora eğitimim boyunca bana birçok konuda yardımcı olan, tez çalışmam süresince çalışmalarıma yön veren yardımlarını esirgemeyen; yeri geldiğinde benimle birlikte çalışan, yeri geldiğinde dertleşen ve bana her anlamda bir hoca olmaktan çok, bir baba olan, sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR' a,

Bilgi ve tecrübesi ile tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, özellikle laboratuvar çalışmalarım boyunca hiçbir şekilde benden yardımlarını esirgemeyen, adeta bir abi, bir arkadaş gibi benimle birlikte bıkmadan yorulmadan çalışan, sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ' e,

Lisans eğitimim boyunca kendilerinden çok şey öğrendiğim ve şu ana gelmemde büyük emekleri olan, çok değerli bölüm hocalarıma,

Güler yüzünü hiçbir zaman eksik etmeyen, her sıkıntımda yardımıma koşan çok değerli bölüm personelimiz Sayın Süleyman EVLEKSİZ'e,

İnşaat Mühendisliği Laboratuvar'ının vazgeçilmezi olan laboratuvar personelimiz Sayın Ömer KÜTÜK'e,

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, benden sevgi ve desteklerini esirgemeyen aileme, sevgili eşim Emre ERTÜRKMEN'e ve dünyama gelişi ile hayatıma renk katan, anlam kazandıran biricik oğlum Ali Ateş'ime; varlıklarıyla hayatıma renk kattıkları için çok çok teşekkür ederim.

Bu Doktora Tez Çalışması, "**TÜBİTAK-BİDEB 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı**" kapsamında desteklenmiştir. Sağlamış olduğu Doktora Burs Desteği için "**TÜBİTAK-BİDEB 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı**" na teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından **MMF2013D22** numaralı BAP Doktora Tez Projesi ile desteklenmiştir. Çalışmaya maddi destek sağlayan **Çukurova Üniversitesi BAP** birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELER DİZİNİ X
ŞEKİLLER DİZİNİ XII
SİMGELER VE KISALTMALAR XVIII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 9
2.1. Lifli (Aramid, Hibrit, Cam ve Karbon) Polimer Malzemeler ile İlgili Çalışmalar 9
2.2. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Malzeme ile İlgili Çalışmalar 22
3. MATERYAL VE METOD 29
3.1. Giriş 29
3.2. Analizlerde Kullanılan Temel Varsayımlar 30
3.3. Malzemeler için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modelleri 31
3.3.1. Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli 32
3.3.1.1. Sargısız Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli 32
3.3.1.2. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Sargılı Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli 34
3.3.1.3. Çelik Lifli Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli 37
3.3.2. Çelik için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli 38
3.3.3. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Malzeme için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli 39

3.4. Kesitte Oluşan Birim Deformasyonların Hesabı 40
3.5. Tek veya Çift Kat CFRP Sargılı Kolon Kesiti Geometrik Özellikleri 42
3.6. Denge Denklemleri.....44
3.7. Narinlik Etkisi 46
3.8. Bilgisayar Programı.....48
4. BETONARME KOLON DENEY ÇALIŞMALARI 51
4.1. Giriş 51
4.2. Deney Numuneleri 52
4.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlanışı.....55
4.3.1. Beton.....55
4.3.2. Numune Kalıbı 60
4.3.3. Donatı 62
4.3.4. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Malzeme 68
4.4. Deney Düzeneği ve Deneyde Kullanılan Aletler 73
4.5. Deneyin Yapılışı.....81
4.6. Numunelerin Göçme Biçimleri 84
4.6.1. C1-0 Numunesi.....84
4.6.2. C1-I Numunesi 85
4.6.3. C1-II Numunesi 87
4.6.4. C1-III Numunesi.....88
4.6.5. C1-0-SF Numunesi.....89
4.6.6. C1-I-SF Numunesi.....90
4.6.7. C1-II-SF Numunesi 91
4.6.8. C1-III-SF Numunesi.....93
4.6.9. C2-0 Numunesi.....94
4.6.10. C2-I Numunesi 95
4.6.11. C2-II Numunesi 96
4.6.12. C2-III Numunesi.....97
4.6.13. C2-0-SF Numunesi.....98

4.6.14. C2-I-SF Numunesi.....99
4.6.15. C2-II-SF Numunesi.....100
4.6.16. C2-III-SF Numunesi.....101
4.7. Deneysel Gözlemler ve Çıkarılan Sonuçlar.....102
4.8. Deney Sonuçları.....106
4.9. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması.....117
5. ANALİZ BULGULARI VE KARŞILAŞTIRMALAR.....125
5.1. Giriş.....125
5.2. Numunelere ait Karşılaştırmalı Yük-Deplasman Eğrileri.....126
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....137
KAYNAKLAR.....141
ÖZGEÇMİŞ.....147
EKLER.....148

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 4.1. Numunelere ait 1 m^3 beton karışımı ağırlık değerleri 58
Çizelge 4.2. Kolon numunelerine ait beton döküm-basınç dayanımı testi tarihleri ile elde edilen ortalama basınç dayanımı değerleri.....60
Çizelge 4.3. Numunelere uygulanan yükün eksantrisite değerleri ve elde edilen deneysel sonuçlar.....107
Çizelge 5.1. Numunelere ait deneysel ve analitik taşıma gücü değerleri. 126

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Karbon lifli polimer sargılı betonarme kolon 5
Şekil 3.1. Hognestad modeli 33
Şekil 3.2. CFRP sargılı beton için (σ-ε) modeli 34
Şekil 3.3. Çelik için (σ-ε) modeli 39
Şekil 3.4. CFRP için (σ-ε) modeli 40
Şekil 3.5. CFRP sargılı kare kolon kesiti ve birim deformasyon dağılımı 41
Şekil 3.6. Tek veya çift kat CFRP sargılı kolon kesitine ait koordinat tanımı 43
Şekil 3.7. CFRP sargılı kolon kesiti gerilme dağılımı 45
Şekil 3.8. Eksantrik yüklemeye maruz bir kolonun deformasyonu 47
Şekil 4.1. Kolon numunelerine ait detay ve kesitler 54
Şekil 4.2. Standart Basınç Deney aleti ve deney numunesi 56
Şekil 4.3. Standart Basınç Deney düzeneğine yerleştirilmiş silindir numune detayı 56
Şekil 4.4. Beton karışımlarında kullanılan kum-çakıl ve çimento malzemesi 57
Şekil 4.5. Beton dökümü öncesi hazırlıklar 58
Şekil 4.6. Numunelere ait beton karışımlarından örnek silindir numunelerin alınışı 59
Şekil 4.7. Beton dökümüne hazır hale getirilmiş kolon kalıbı görüntüsü 61
Şekil 4.8. Kolon numune kalıbı detayı 61
Şekil 4.9. Dökülen kolon numune betonu 62
Şekil 4.10. Kolon numunelerinin hazırlanmasında kullanılan boyuna donatılar 63
Şekil 4.11. Kolon numunelerinin hazırlanmasında kullanılan etriyeler ve U demirleri 63
Şekil 4.12. U demirlerin bükülerek firkete yapılması 64
Şekil 4.13. Kolon numunelerinde kullanılan donatılar ve boyutları 65

Şekil 4.14. Kolon numunelerinde uygulanan donatı yerleşimi ve başlık kesiti donatı düzeni 66
Şekil 4.15. Başlık donatısı yerleşimi 66
Şekil 4.16. Hazırlanan kolon numune donatı düzeni 67
Şekil 4.17. Beton dökümü için hazırlanmış kolon numunelerine ait donatı düzeni 67
Şekil 4.18. Numunelerin sarılmasında kullanılan karbon lifli polimer malzeme 70
Şekil 4.19. CFRP malzemesinin kolon numunelerin sarılması için hazırlanışı 71
Şekil 4.20. Kolon numunelerinin sarılmasında kullanılan epoksi reçine karışımı 72
Şekil 4.21. CFRP sargılı kolon numunelerinin hazırlanışı 73
Şekil 4.22. Yükleme çerçevesine yerleştirilmiş deney numunesi 75
Şekil 4.23. Yükleme plakası detay ve kesiti 76
Şekil 4.24. Kolon numunesi başlık detayı 77
Şekil 4.25. 10 mm kapasiteli deplasman ölçer 77
Şekil 4.26. Deplasman ölçerlerin (LVDT) deney numunesine yerleşimi 78
Şekil 4.27. Deney düzeneği, ADU aleti, bilgisayar ve data logger 79
Şekil 4.28. Portable data logger 80
Şekil 4.29. Kollu ve motorlu hidrolik silindir 80
Şekil 4.30. Deney düzeneği ve numune yerleşimi detayı 82
Şekil 4.31. Sargısız ve CFRP sargılı kolon numune deney düzeneği 83
Şekil 4.32. C1-0 numunesi göçme anı 85
Şekil 4.33. C1-I numunesi göçme anı 86
Şekil 4.34. C1-II numunesi göçme anı 87
Şekil 4.35. C1-III numunesi göçme anı 88
Şekil 4.36. C1-0-SF numunesi göçme anı 90
Şekil 4.37. C1-I-SF numunesi göçme anı 91
Şekil 4.38. C1-II-SF numunesi göçme anı 92

Şekil 4.39. C1-III-SF numunesi göçme anı....93
Şekil 4.40. C2-0 numunesi göçme anı....94
Şekil 4.41. C2-I numunesi göçme anı....95
Şekil 4.42. C2-II numunesi göçme anı....96
Şekil 4.43. C2-III numunesi göçme anı....97
Şekil 4.44. C2-0-SF numunesi göçme anı....98
Şekil 4.45. C2-I-SF numunesi göçme anı....99
Şekil 4.46. C2-II-SF numunesi göçme anı....100
Şekil 4.47. C2-III-SF numunesi göçme anı....101
Şekil 4.48. Sargısız, lifsiz C1-0 numunesi göçme anı....103
Şekil 4.49. Sargısız, çelik lif katkılı C1-0-SF numunesi göçme anı....104
Şekil 4.50. Çift kat CFRP sargılı, lifsiz C1-III numunesi göçme anı....105
Şekil 4.51. Tek kat CFRP sargılı, çelik lifli C1-I-SF numunesi göçme anı....105
Şekil 4.52. C1-0 numunesi yük-deplasman grafiği....108
Şekil 4.53. C1-I numunesi yük-deplasman grafiği....108
Şekil 4.54. C1-II numunesi yük-deplasman grafiği....109
Şekil 4.55. C1-III numunesi yük-deplasman grafiği....109
Şekil 4.56. C1-0-SF numunesi yük-deplasman grafiği....110
Şekil 4.57. C1-I-SF numunesi yük-deplasman grafiği....110
Şekil 4.58. C1-II-SF numunesi yük-deplasman grafiği....111
Şekil 4.59. C1-III-SF numunesi yük-deplasman grafiği....111
Şekil 4.60. C2-0 numunesi yük-deplasman grafiği....112
Şekil 4.61. C2-I numunesi yük-deplasman grafiği....113
Şekil 4.62. C2-II numunesi yük-deplasman grafiği....113
Şekil 4.63. C2-III numunesi yük-deplasman grafiği....114
Şekil 4.64. C2-0-SF numunesi yük-deplasman grafiği....115
Şekil 4.65. C2-I-SF numunesi yük-deplasman grafiği....115
Şekil 4.66. C2-II-SF numunesi yük-deplasman grafiği....116
Şekil 4.67. C2-III-SF numunesi yük-deplasman grafiği....116

Şekil 4.68. C1-0, C1-I, C1-II numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....118
Şekil 4.69. C2-0, C2-I, C2-II numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....119
Şekil 4.70. C1-0-SF, C1-I-SF, C1-II-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....120
Şekil 4.71. C2-0-SF, C2-I-SF, C2-II-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....121
Şekil 4.72. C1-III, C1-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....121
Şekil 4.73. C2-III, C2-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....122
Şekil 4.74. C1-II, C1-III numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....122
Şekil 4.75. C1-II-SF, C1-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....123
Şekil 4.76. C2-II, C2-III numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....123
Şekil 4.77. C2-II-SF, C2-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri....124
Şekil 5.1. C1-0 numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....127
Şekil 5.2. C1-I numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....127
Şekil 5.3. C1-II numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....128
Şekil 5.4. C1-III numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....128
Şekil 5.5. C1-0-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....129
Şekil 5.6. C1-I-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....129
Şekil 5.7. C1-II-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....130
Şekil 5.8. C1-III-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....130
Şekil 5.9. C2-0 numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....131
Şekil 5.10. C2-I numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....131
Şekil 5.11. C2-II numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği....132

Şekil 5.12. C2-III numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği 132
Şekil 5.13. C2-0-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği 133
Şekil 5.14. C2-I-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği 133
Şekil 5.15. C2-II-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği.....134
Şekil 5.16. C2-III-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği 134

SİMGELER VE KISALTMALAR

a : Tarafsız eksenin x eksenini kestiği noktanın x-y eksen takımına göre uzaklığı

A_{ck} : Beton çekirdek alanı

A_{ck} : a_k, c_k parametreleri ile sınırlı poligon alanı

$\overline{A_{ck}}$: k'ncı beton şerit alanı

A_{fp} : CFRP kumaşı alanı

A_{si} : i'nci boyuna donatı alanı

A_{st} : Kolon kesitindeki toplam boyuna donatı alanı

c : Tarafsız eksenin y eksenini kestiği noktanın x-y eksen takımına göre uzaklığı

D : CFRP kumaşının sargıladığı göbek betonun çapı

e : Eksantrisite

E_c : Beton elastisite modülü

E_f : CFRP kumaşının kuru haldeki etkili elastisite modülü

E_s : Çelik elastisite modülü

E_1 : Sargılı beton davranışını tanımlayan ilk doğruya ait eğim

E_2 : Sargılı beton davranışını tanımlayan ikinci doğruya ait eğim

e_x : x ekseni yönündeki eksantrisite

e_y : y ekseni yönündeki eksantrisite

f_c : Sargısız beton basınç dayanımı

f_{ck} : Sargısız beton karakteristik basınç dayanımı

f_{cu} : Sargılı betonda oluşacak maksimum gerilme

f_f : Halka gerilmesi

f_r : CFRP kumaşının sargılama basıncı

f_y : Donatı akma dayanımı

f_o : Sargılı beton davranışını tanımlayan modelde ikinci doğrunun başlangıcındaki gerilme değeri

f_{fu} : CFRP kumaşındaki maksimum gerilme değeri

h : Kesitte en çok zorlanan noktanın tarafsız eksene dik uzaklığı

L_e : Elemanın boyu

L_o : Birim kısalma okumaları arası mesafe

L_k : Kolon etkili boyu (L_k=kL)

M_{max} : Maksimum moment

M_{ix} : i'nci noktadaki x yönündeki moment

M_{iy} : i'nci noktadaki y yönündeki moment

M_{ux} : x eksenine göre kesit taşıma gücü momenti

M_{uy} : y eksenine göre kesit taşıma gücü momenti

M_x : x ekseni yönünde oluşan toplam kesit taşıma gücü momenti

M_y : y ekseni yönünde oluşan toplam kesit taşıma gücü momenti

n : Sargılı betonu tanımlayan eğrinin şekil faktörü

n_1 : Malzeme dayanımına bağlı bir katsayı

N : Kesite verilen eksenel yük

N_i : i'nci noktadaki eksenel yükün değeri

N_u : Taşıma gücü eksenel kuvveti

N_{test} : Kolon deneysel taşıma gücü

s : Sargı donatısı aralığı

t : Beton basınç bölgesi şerit sayısı

t_f : CFRP kumaşının kalınlığı

x : Kesit için seçilen eksen takımı x koordinatı

x_i : i'nci donatının x-y eksen takımına göre x koordinatı

x_g : Kesite eğik eksantrisiteli olarak etki eden eksenel kuvvetin kesitin ağırlık merkezine göre koordinatları

$\overline{x_{ck}}$: k'ncı beton şerit x-y eksen takımına göre ağırlık merkezinin x koordinatı

x_d : $0.6f_c$ gerilmesine karşılık gelen birim kısalma değeri

x_{fp} : CFRP kumaşının x-y eksen takımına göre ağırlık merkezinin x koordinatı

y : Kesit için seçilen eksen takımı y koordinatı

y_i : i'nci donatının x-y eksen takımına göre y koordinatı

y_g : Kesite eğik eksantrisiteli olarak etki eden eksenel kuvvetin kesitin ağırlık merkezine göre koordinatları

$\overline{y_{ck}}$: k'ncı beton şerit x-y eksen takımına göre ağırlık merkezinin y koordinatı

y_{fp} : CFRP kumaşının x-y eksen takımına göre ağırlık merkezinin y koordinatı

β : Gerilme-birim deformasyon eğrisini şekline ve çelik lifin hacimsel oranına bağlı bir katsayı

δ : Deplasman

δ_x : x ekseni yönündeki deplasman

δ_y : y ekseni yönündeki deplasman

ε : Birim deformasyon

ε_c : Betondaki birim kısalma

ε_i : Herhangi bir noktadaki şekil değiştirme

ε_{co} : Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma

ε_{cu} : Kırılma anındaki birim kısalma

ε_s : Donatı birim deformasyonu

ε_f : CFRP kumaşının birim deformasyonu

ε_1 : Seçilen herhangi bir koordinat merkezindeki fiktif şekil değiştirme

ε_{fu} : CFRP kumaşına ait maksimum şekil değiştirme değeri

σ : Gerilme

σ_c : Betondaki gerilme

σ_{ck} : Beton basınç bölgesinin k'ncı şeridinin ağırlık merkezinde hesaplanan beton basınç gerilmesi

σ_s : Donatı gerilmesi

σ_{si} : i'nci donatı gerilmesi

σ_f : CFRP kumaşının gerilmesi

σ_{fp} : CFRP kumaşında oluşan gerilme

ψ : Eksantrik yüklemeye maruz kalan kesitte oluşan dönme

ψ_x : Eksantrik yüklemeye maruz kalan kesitte x ekseni yönünde oluşan eğrilik

ψ_y : Eksantrik yüklemeye maruz kalan kesitte y ekseni yönünde oluşan eğrilik

1. GİRİŞ

Günümüzde mevcut bulunan betonarme yapıların önemli bir kısmında kullanılan betonun basınç dayanımı, projede öngörülenden çok daha düşük; enine ve boyuna donatılandırmada kullanılan donatılar ise güncel yönetmeliklerde belirtilen şartları sağlamaktan oldukça uzaktır. Bu tarz olumsuzluklar, düşey taşıyıcı elemanların eksenel yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti taşıma kapasitelerini ve sünekliklerini büyük ölçüde etkilemekte ve aynı zamanda azaltmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak da; bu yapıların deprem etkisi altındaki davranışları, projesine ve yönetmeliklere uygun şekilde inşa edilmiş olan yapılara göre çok daha başarısız olmaktadır. Bahsedilen nedenlerden dolayı, bu tarz yapılar için ilave güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Ayrıca yine günümüzde mevcut bulunan bazı yüksek katlı betonarme yapılarda, yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilmiş olan kolonlar, yük etkisi altında iyi derecede dayanım gösteriyor olmalarına karşın, gevrek davranış sergilemekte ve taşıma gücü kapasitelerine ulaştıkları anda aniden kırılmaktadır. Bu durum dikkate alındığında, özellikle yüksek dayanımlı beton kullanılarak imal edilmiş olan betonarme kolonların ve köprü ayaklarının, sargı ve süneklik kapasitelerinin ilave önlemler alınarak geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Kolonların sargı kapasitesinin arttırılması için uygulanan yöntemlerin başında, enine donatının arttırılması ve betona çelik lif katılması yöntemleri gelmektedir. Ancak bu yöntemler de bazı durumlarda elemanların tam anlamıyla güçlendirilebilmesi için yetersiz kalabilmektedir.

Tüm bu bahsedilen nedenlerden dolayı, lifli polimer (FRP) kompozit malzemelerinin betonarme kolonlarda güçlendirme ve onarım amaçlı olarak kullanımı son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle de depremden dolayı hasar görmüş olan mevcut betonarme yapı elemanlarının lifli polimer malzeme ile sarılması, elemanların kaybettikleri mukavemeti geri kazanmalarına ve yük etkisi altında daha sünek davranmalarına yardımcı olmaktadır. Ayrıca deprem etkisi

altındaki kolonlarda lifli polimer malzeme ile yapılan sargılama, kolonların yanal rijitlik ve yanal yük taşıma kapasitesinde fazla bir artışa neden olmaksızın, yer değiştirme yapmalarına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, sargılama bakımından yetersiz olan betonarme kolonların özellikle de plastik mafsal bölgelerinin güçlendirilmesinde lifli polimer malzemelerin kullanılması oldukça etkili bir yöntemdir.

Ülkemizdeki mevcut betonarme yapıların çoğu yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip değildir. Bu eksikliklerin giderilebilmesi ve yapıların bu anlamda güçlendirilebilmesi için, özellikle ana taşıyıcı durumunda olan kolon elemanlarda, lifli polimer (FRP) kompozit malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Çekme dayanımları çelikten çok daha fazla olan bu kompozit malzemelerin yapıların güçlendirilmesinde tercih edilmelerinin en önemli sebeplerinden bazıları; hafif olmaları, korozyona dayanıklı olmaları, rulolar halinde saklanabilmeleri ve diğer güçlendirme yöntemlerine göre uygulama bakımından daha kolay uygulanabilir olmalarıdır.

Özellikle yapı ve görünümünün bozulması istenmeyen tarihi yapılarda, klasik güçlendirme yöntemlerinin kullanılamaması halinde, lifli polimer malzemeler kolay uygulanabilir oldukları ve yapının dokusunu çok fazla etkilemedikleri için büyük oranda tercih edilebilmektedirler.

Lifli polimer malzemeler, sadece lif eksenine paralel olan çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için liflerin elemana uygulandıkları yön büyük önem taşımaktadır. İki yönlü tabakalar halinde uygulandıklarında; kirişlerde eğilme ve kesme dayanımının, kolonlarda ise eğilme ve sargılama kapasitesinin, bununla birlikte de basınç dayanımının artmasını sağlamaktadırlar.

İlk olarak havacılık, otomotiv ve denizcilik alanında Amerika, Avrupa ve Japonya'da kullanılan bu malzemeler, 1990 yılından itibaren yaygın olarak karayolu köprülerinde, özellikle köprü ayaklarında, kullanılmaya başlanmıştır. Beton ve çeliğe göre pahalı olan bu malzemeler, görsel açıdan kaba bir görünüme izin verilemeyecek olan bir takım özel (tarihi, turistik, vb...) yapılarda oldukça

pratik ve zararsız bir şekilde uygulanabilmektedir. Betonarme elemanlara bir epoksi reçine yapıştırıcısı vasıtasıyla dıştan sarılmak suretiyle uygulandıklarında, elemanlara gelen yükler bu yapıştırıcı sayesinde kompozite aktarılmakta ve böylece hem üniform yük aktarımı sağlanmakta hem de elemanların yük taşıma kapasiteleri ile eğilme dayanımları arttırılmaktadır.

Lifli polimer (FRP) kompozit malzemeler piyasada karbon, cam ve aramid lifli olarak bulunabildikleri gibi, ince karbon plakalar şeklinde de bulunabilmektedirler. En yaygın olarak kullanılan türleri ise karbon lifi takviyeli (CFRP) ve cam lifi takviyeli (GFRP) olanlarıdır.

CFRP (karbon lifli polimer) malzemeleri kolon, kiriş, döşeme ve duvarların taşıma kapasitelerini artırmak için genellikle plakalar halinde uygulanabildiği gibi, kolon, kiriş, baca, silo, tünel, boru ve duvar gibi yapı elemanlarında tek yönlü veya iki yönlü kumaş ile sargılama şeklinde de uygulanabilmektedir. Özellikle taşıyıcı duvarlarda olası bir deprem durumunda yapının komple göçmesini engellemek, can güvenliğini sağlamak, duvarların darbeye karşı direncini arttırmak ve dağılmasını önlemek amacıyla da kullanılabilmektedirler.

Hafif, yüksek çekme dayanımlı ve kolay uygulanabilir olmalarının yanı sıra, oldukça ince et kalınlığına sahip oldukları için üst üste uygulansalar da yapıların görünümünde rahatsız edici bir değişiklik yaratmamaktadırlar. Ayrıca, esnek yapıları sayesinde her türlü formdaki elemana rahatlıkla uygulanabilmektedirler. Piyasada 0.30-0.60 m eninde kumaş rulolar halinde bulunabilmektedir. Özellikle yapı elemanlarına epoksi reçine ile uygulandıklarında oldukça yüksek çekme dayanımı sağlamaktadırlar. Ancak bu dayanım, malzemenin uygulanış şekli ile değişebilmektedir. Bol reçine kullanılarak yapılan bir güçlendirme uygulamasında, kullanılan karbon lifli kumaşın elastisite modülü ve çekme dayanımı ne kadar yüksek olursa olsun; uygulandığı elemana yeterli dayanımı sağlayamamaktadır. Bu nedenle, malzemeye ait şartnamede belirtilen

miktarlar dikkatli bir şekilde ayarlanarak uygun epoksi karışımı hazırlanmalı ve elemanın uygulanacağı yüzeye eşit ve düzgün bir şekilde yayılmalıdır.

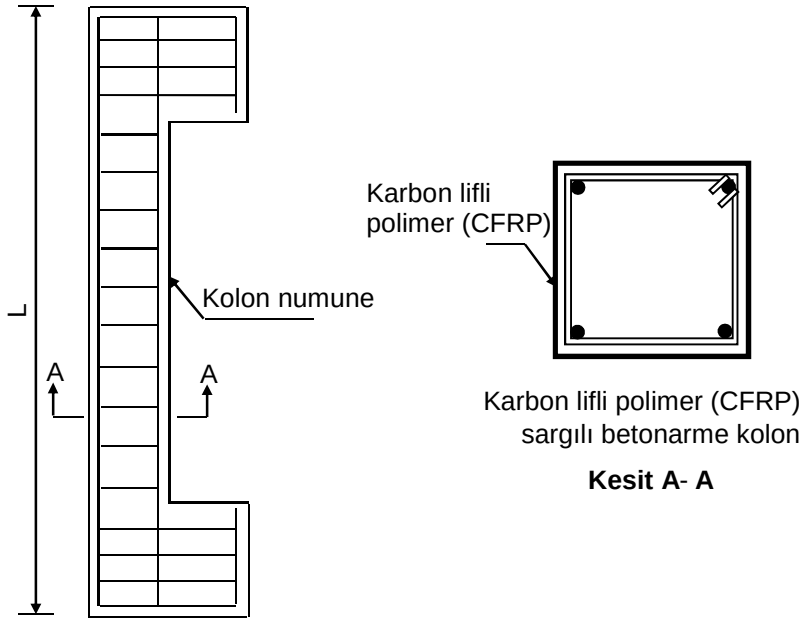
Ayrıca, özellikle yüksek katlı yapılarda, köprülerde veya bazı endüstriyel yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı betonarme kolonların, sargı ve süneklik kapasitesinin arttırılmasını sağladığı için de kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Lifli polimerlerin (FRP) bir türü olan karbon lifli polimer (CFRP) malzeme, betonu mükemmel bir şekilde sardığından, göbek betonun parçalanmasını önlemekte, kolonların sargı kapasitesini, deformasyon yapma özelliğini ve taşıma gücü kapasitesi arttırmakta, buna ek olarak da özellikle de narin olan kolonların burkulmasını büyük oranda engellemektedir.

Betonarme yapı elemanlarının davranışının bilinmesi, tasarımcıların yapının analiz ve tasarımını doğru bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için oldukça önem taşımaktadır. Yapılarda özellikle köşe kolonları düşey yükler, rüzgar yükleri ve deprem etkisi nedeniyle eksantrik yüklemeye maruz kalabilmektedirler. Gerek CFRP malzemesi ile sarılı eksantrik yüklü yüksek dayanımlı narin betonarme kolonların davranışlarının belirlenmesine; gerekse lifli polimer sargılı betonarme elemanların mekanik davranışlarının tanımlanmasına ilişkin pek çok sayıda teorik ve deneysel çalışma literatürde mevcuttur. Ancak, karbon lifli polimer sargılı çelik lifli yüksek dayanımlı narin betonarme kolonların davranışlarının belirlenmesi üzerine yapılan araştırmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Bu nedenle, karbon lifli polimer sargılı çelik lif içeren betonarme kolonların yapısal davranışının daha iyi tanımlanması için yeni deneysel ve teorik çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Yapılan bu doktora tezi kapsamında, betonarme kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel basınç etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi ve elemanların taşıma gücü kapasitelerinin elde edilmesi amacıyla, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda bir dizi betonarme kolon deneyi yapılmıştır. Bu amaçla çelik lifli ve lifsiz, sargısız ve karbon lifi sargılı kare kesitli yüksek dayanımlı narin betonarme kolonlar hazırlanmış ve iki

eksenli eksantrik yük etkisi altında test edilerek karbon lifli polimer malzemenin kolon davranışı üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

Hazırlanan toplam 16 adet kolon numunenin 4'ü sargısız olarak ele alınmış, kalan 12 adedi ise uygun bir epoksi reçine karışımı yardımıyla çift yönlü lif içeren karbon lifli polimer malzeme ile tek veya çift tabaka halinde tamamen sarılmıştır. Kullanılan malzeme çift yönde lif içerdiğinden her iki doğrultuda da kolonların sargı kapasitesinin artması sağlanmıştır. Şekil 1.1' de karbon lifli polimer sargılı, çelik lifli ve lifsiz betonarme bir kolon kesiti görülmektedir.



Şekil 1.1. Karbon lifli polimer sargılı betonarme kolon

Sargılı, sargısız ve çift kat sargılı olarak çelik lifli ve lifsiz beton karışımları kullanılarak hazırlanan bu kolonlar, eksantrik yüklemeye tabi tutulmuş ve kolonların taşıma gücü ve süneklik kapasitelerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Ayrıca, karbon lifli polimer katkısının, yüksek dayanımlı betonarme kolonların burkulma davranışına olan etkileri de araştırılmıştır. Test

edilen kolon numunelere deney boyunca uygulanan yük ve karşılık gelen yanal deplasmanlar ile eksenel deformasyonlar sırasıyla; yük ölçer (Load Cell), deplasman ölçer (LVDT) ve birim deformasyon ölçer (Strain Gauge) aletleri kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel verileri kaydetmek için, elektronik data toplama sistemi (Data Logger) kurulmuştur. Çalışma kapsamında test edilen kolonların, iki eksenli eğilme altındaki davranışı gözlenmiş; taşıma gücü değerleri ve yük-deplasman özellikleri belirlenerek çeşitli karşılaştırmalar yapılmış ve bu karşılaştırmalar grafik ortamında sunulmuştur.

Deneysel çalışmaya ek olarak, CFRP sargılı beton davranışı göz önüne alınarak kolonlara ait maksimum yük taşıma kapasitesi ve enine deformasyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla, Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından geliştirilen bir bilgisayar programı uygun şekilde yeniden düzenlenmiş ve test edilen numuneler, bu program vasıtasıyla teorik olarak da analiz edilmiştir. Analizlerde kolonların karakteristik özellikleri (beton basınç dayanımı, çelik akma dayanımı, eksantrisite değerleri, kesit boyutları) ve bir takım deneysel parametreler de göz önüne alınmış ve elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Analizlerde CFRP sargılı beton için, daha önce Punurai ve arkadaşları (2013) tarafından sargılı beton için önerilmiş olan ve malzemelerin doğrusal olmayan davranışını esas alan gerilme-birim deformasyon ilişkisi göz önüne alınarak kolonlara ait taşıma gücü ve yük-deplasman değerleri elde edilmiştir.

Analizde beton basınç bölgesi, herhangi bir gerilme-birim deformasyon ilişkisi kullanımına imkân sağlamak için tarafsız eksen konumuna paralel olarak şeritlere ayrılmış ve her bir şeridin ağırlık merkezinde hesaplanan birim deformasyonlar ile beton için seçilen gerilme-birim deformasyon modelinden problemin çözümü için gerekli olan beton gerilmeleri hesaplanmıştır. Karbon lifli polimer malzemenin herhangi bir basınç kuvvetini karşılamadığı kabul edilmiştir. Sadece boyuna yönde çekme kuvvetlerinin oluşmasını sağladığı kabul edilmiştir. Bu nedenle benzer şekilde, karbon lifli polimer malzeme de çekme bölgesinde

tarafsız eksen konumuna paralel olarak küçük elemanlara ayrılmış ve yine malzemeye ait gerilme-birim deformasyon modeli kullanılarak malzemede oluşan çekme gerilmeleri belirlenmiştir. Kesitteki boyuna donatılarda da donatı için seçilen gerilme-birim deformasyon ilişkisinden faydalanılarak donatı gerilmeleri elde edilmiştir. Böylece kesit üzerinde yazılan denge ve uygunluk denklemlerinin çözümü ile elemanların teorik olarak da analizi gerçekleştirilmiştir.

Yöntemde ikinci mertebe momentlerinden meydana gelen narinlik etkisi, Rangan (1990) tarafından önerilen "Stabilite Analiz Yöntemi" esasına göre ele alınmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Sunulan doktora tezi içerisinde yapılmış olan çalışmalara ait bölümler özet halinde aşağıda yer almaktadır.

- **2. bölümde,** konu ile ilgili yapılan geniş çaptaki literatür çalışması değerlendirilerek, söz konusu konuya yönelik şimdiye kadar gerçekleştirilmiş olan teorik ve deneysel çalışmalar hakkında edinilmiş olan veri ve bilgilere özet şeklinde yer verilmiştir.
- **3. bölümde,** hesaplarda kullanılan yöntem ve formülasyonlar detaylı olarak belirtilmiştir.
- **4. bölümde,** çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmaya ait detaylı bilgilere ve elde edilen test sonuçlarına yer verilmiştir.
- **5. bölümde,** yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar verilmiş ayrıca, deneysel ve analitik olarak elde edilen sonuçlar farklı açılardan birbirleriyle kıyaslanarak çeşitli yorumlarda bulunulmuştur.
- **6. bölümde,** doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar özet şeklinde verilerek; gelecekteki çalışmalara yönelik bir takım önerilerde bulunulmuştur.
- **7. bölümde,** çalışma kapsamında yararlanılan kaynaklara yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bugüne kadar gerek karbon lifli polimer sargılı, eksantrik yüklü, yüksek dayanımlı, narin betonarme kolonların yük etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesine ve gerekse lifli polimerle sarılı bazı betonarme yapı elemanlarının mekanik davranışlarının tanımlanmasına ilişkin çok sayıda teorik ve deneysel çalışma gerçekleştirilmiş olup literatürde yer alan bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.1. Lifli (Aramid, Hibrit, Cam ve Karbon) Polimer Malzemeler ile İlgili Çalışmalar

Saadatmanesh ve ark. (1994), çalışmalarında sismik yüklere karşı betonarme kolonların güçlendirilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, yapısal olarak ince ancak eğilmede güçlü olan kompozit lifli şeritlerin, betonarme kolonların yanal deformasyon kapasitesini iyileştirmek ve bu sayede süneklik ve dayanım değerlerini arttırmak için kolonların etrafına sarılması ile uygulanmaktadır. Çalışmada ayrıca, dıştan yüksek dayanımlı kompozit lifli polimer şeritlerle sarılarak güçlendirilmiş olan betonarme kolonların dayanım ve süneklik değerlerindeki artış miktarlarını incelemek için analitik modeller de önerilmiştir. Deneysel çalışma için dikdörtgen ve dairesel kesitli kolonlar tasarlanmış ve dairesel kolonlara faklı türlerdeki (cam, karbon lifli) polimer malzeme, parçalı daire veya parçalı spiral şeklinde sarılmıştır. Çeşitli tasarım parametrelerinin (beton basınç dayanımı, elyaf kalınlığı ve şeritler arasında boşluk, lif türü) numune üzerindeki etkilerinin hesaplanması için parametrik bir çalışma da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel ve analitik sonuçlara göre yüksek dayanımlı kompozit lifli şeritlerin, kolonların etrafına sarılması ile kolonların süneklik ve dayanım değerlerinde (özellikle de sismik deprem yükleri etkisinde) büyük ölçüde artış olduğu görülmüştür. Sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme modeline bakıldığında, sargısız olana göre maksimum basınç dayanımı ve karşılık

gelen şekil değiştirme değerinde önemli bir artış olduğu gözlenmiştir. Sargı malzemesi olarak cam lif kullanımının, karbon lif kullanımına göre kırılma anına kadar daha büyük bir deformasyon oluşmasına neden olduğu, ancak karbon lif kullanımı halinde deprem sırasında oluşan enerjiyi yutma kapasitesinin cam life göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Kolonların üzerine dıştan sarılarak uygulanan, tabaka sayıları aynı olan cam ve karbon lifli sargı malzemeleri kıyaslandığında, karbon lifli malzeme kullanımında oluşan eksenel yük ve süneklik değerlerinin, yük etkisi altındaki şekil değiştirmenin, cam lif kullanımına göre çok daha büyük olduğu belirtilmiştir. Elemanlara lifli polimerlerle sargılama uygulanması durumunda, elemanların maksimum moment kapasitesi değerinde oluşan artışın, maksimum eksenel yük ve şekil değiştirme değerindeki artışa göre çok daha az olduğunu ve bu durumun, kırılmanın sünek bir eğilme kırılması şeklinde oluşmasını sağladığını, istenmeyen gevrek bir kesme kırılmasının oluşmasını ise büyük oranda önleyeceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kolonların dayanım, süneklik ve eksenel yük değerlerindeki artışın betonun basınç dayanımının artması ile azalığını gözlemlemişlerdir. Son olarak, süneklik katsayısının uygulanan elyaf kalınlığının artmasına bağlı olarak arttığı, parçalı sargı uygulanması halinde ise azaldığı sonucuna varılmıştır.

Mirmiran ve Shahawy (1997), çalışmalarında lifli polimer sargılı betonarme kolonların davranışlarını ele almışlardır. Bunun için literatürde bulunan beton dolgulu FRP boru ve FRP sargılı modellerin davranışlarını incelemişlerdir. Ekseni doğrultusunda basınca maruz bulunan numunelerin davranışlarını literatürde önerilen sargılama modelleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kullanılan modellerin sonuçlarının deney sonuçları ile uyum sağlamadığı ve daha fazla bir dayanım sağladığını görmüşlerdir. Bu nedenle de mevcut sargı modellerinin beton dolgulu FRP boru için kullanımının güvenli yönde olmayacağı sonucuna varmışlardır. Ayrıca, lifli kompozit malzemelerin sargılama bakımından çeliğe göre benzersiz özellikte olduğunu ve göbek betonu tamamen çevreledikleri için yük etkisinde betonda oluşacak olan genleşme eğilimini engelleyeceğini ve bu

sayede kesitin rijitliğini koruyacağını belirtmişlerdir. Deneysel çalışma için hem FRP boru hem de FRP sargılı 30 adet silindir numuneden faydalanılmıştır. Bu numunelerin 24 adedi beton dolgulu FRP boru ile 6 adedi ise sargısız sade beton kullanılarak oluşturulmuştur. Kullandıkları FRP malzemesi cam lifli olup farklı et kalınlığında ve katman sayısında olacak şekilde numuneler sarılmıştır. Numunedeki yanal ve enine deformasyonların ölçülmesi için numune ortasına deplasman ve birim deformasyon ölçerler yerleştirilmiştir. Eksenel yönde basınç uygulanarak numunelerin dayanımları belirlenmiştir. Kırılma, sargılı betonlarda FRP borunun orta kısmında yer alan liflerin ani olarak kopmasıyla gerçekleşmiştir. Sargılı betonun sargısız olana göre yük etkisinde daha yüksek dayanım gösterdiği ve sünek davrandığı gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar, ele alınan 3 modele ait mevcut analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve kullanılan hiçbir modelin elemanın gerçek davranışını tam olarak yansıtmadığı gözlemlenerek yeni bir sargı modeli önerilmiştir. Önerilen model kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarının, deneysel sonuçlar ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Tan (2002), çalışmasında en boy oranı 3,65 olan dikdörtgen kesitli betonarme kolonların lifli polimer malzeme kullanılarak güçlendirilmesinin dayanım artışı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla 52 adet yarı ölçekli kısa kolon imal edilmiş ve merkezi yükleme etkisinde kırılana kadar test edilmiştir. Kolonlarda farklı lif türü, farklı yönde sargı ve farklı lif bağlantıları kullanılarak lifli polimer malzemelerin kolon dayanımını arttırma yönündeki etkileri incelenmiştir. Kolon üzerinde sıva varlığının da dayanım üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kolonlara tam enine sargı, U, C ve I şeklinde boyuna sargı olmak üzere dört farklı sargı biçimi uygulanmıştır. Çalışmada, U ve C harfleri kullanılarak tanımlanan boyuna sargı şekli, dikdörtgen kesitli kolonun, her iki kısa kenarından her iki uzun kenarına doğru belli uzunlukta lifli polimer malzeme gelecek şekilde uygulanan sargı şeklini ifade etmektedir. I harfi ile tanımlanan boyuna sargı şekli ise söz konusu kesitin her iki uzun kenarına belli uzunlukta lifli polimer malzemenin uygulanması ile oluşturulan sargı şeklini ifade etmektedir.

Test edilecek olan kolonlar 7 farklı seriye ayrılmış olup kullanılan lifli polimer malzemeler, farklı sayıda tabakalar halinde kolonların üzerine sarılmıştır. Sargı etkisinin dikdörtgen kolonlarda kare ve dairesel kesitli kolonlara göre daha az olduğu belirtilmiş ve dikdörtgen kolon kesitlerinde enine bağlantı elemanlarının kullanılması gerektiği, ancak bu şekilde sarılmanın kolon dayanımı üzerinde etkili olacağı vurgulanmıştır. Kolonlar önce boyuna yönde sarılmış sonra enine yönde sarılmıştır. Beton dökümünden önce boyuna donatıların üzerine bir gerilme ölçer yerleştirilmiş ve sonrasında beton dökülerek 28 gün bekletilmiştir. Sonraki aşamada ise lifli polimer malzemeler ile sarılarak boyuna ve enine şekil değiştirmelerin ölçülebilmesi için lifli polimerin üzerine de gerilme ölçerler yerleştirilmiştir. Güçlendirilmemiş kolonlarda kırılma, taşıma gücüne ulaşıldığında kabuk betonun parçalanması, belli sayıda çatlakların gözlenmesi ve betonun zayıf olan bölgede kırılması ile gerçekleşmiştir. Sargılı kolonlarda ise kolon yüzündeki lif tabakalarının ayrılması ve en çok zorlanan çekme bölgesindeki liflerin ani ve yüksek sesle kopması sonucu kırılma gerçekleşmiştir. Enine yönde lif bağlantılarının kullanılmadığı durumlarda elemanlara sargılanan tabakalarda oluşan ayrılmaların kolon boyunca yayıldığı; enine yönde lif bağlantılarının kullanıldığı durumlarda ise tabakalarda ortaya çıkan ayrılmaların daha az oluştuğu gözlenmiştir. Sıvasız kolonlarda da liflerdeki ayrılmanın, sıvalı olanlara göre daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kırılma anında sıvalı kolonlarda oluşan sünekliğin sıvasız olanlara göre daha az olduğu görülmüştür. Boyuna yöndeki lif tabaka sayısının artması ile kolonların dayanım ve sünekliğinin arttığı, enine yöndeki sargı tabakasının artması ile de kolonların eksenel yük kapasitesinin artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca cam lifli malzemenin tabakalarındaki ayrılmanın karbon lifli olana göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Son olarak güçlendirilmiş kolonların eksenel yük kapasitelerinin belirlenebilmesi için basit analitik bir model önerilmiştir.

Maalej ve ark. (2003), çalışmalarında cam lifli polimer (GFRP) ve/veya karbon lifli polimer (CFRP) malzemeleri ile güçlendirilmiş olan dikdörtgen kesitli

betonarme kolonların tasarım ve hesapları için analitik bir model önermişlerdir. Önerdikleri bu model, yüksek boy oranına sahip dikdörtgen kesitli betonarme kolonların yük-deplasman ilişkilerinin, kalıcı yük etkisinde veya yükler olmaksızın tahmin edilmesini sağlamaktadır. Model, güçlendirilmiş kolonun genelleştirilmiş bir yük-deplasman davranışı olduğunu ve iki ayrı eğri içerdiğini kabul etmektedir: "Parabolik olarak artan eğri ve doğrusal olarak azalan eğri" Artan eğri, yanal donatılandırmadan ve FRP sarılmasından dolayı oluşan yanal basınçtan etkilenirken; azalan eğri, boyuna donatı burkulmasından ve betonun kırılmasından etkilenmektedir. Önerdikleri modele ait elde ettikleri sonuçlar ile daha önceden yapılmış olan deneysel sonuçları karşılaştırarak sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Malvar ve ark. (2004), çalışmalarında lifli polimer malzeme ile sarılı betonarme kolonların hesapları için sayısal bir model önermişlerdir. Yük etkisi altında bulunan sargılı bir kolondaki, sargı malzemesinde oluşan gerilme artışı ile betondaki genleşme arasındaki etkileşimin belirlenmesi için, üç eksenli gerilme durumunda betonun hacimsel davranışını temsil eden bir beton malzeme modelinin sayısal modellemede kullanılması gerektiğini savunarak uygun bir beton malzeme modeli önermişlerdir. Önerdikleri modele göre yanal sargılamanın düşük seviyelerde olduğu durumlarda sargı etkisinden beklenen verimin yeterli olarak sağlanamadığı sonucuna varmışlardır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, çeşitli geometrik şekillerdeki modeller (silindirik, prizmatik) ve farklı türlerdeki FRP sargı malzemeleri (aramid, cam, karbon) kullanılarak yapılmış olan mevcut deneysel analizlerin sonuçlarını çalışmalarında deney verisi olarak kullanmışlardır. Dikdörtgen kesitli elemanlara göre dairesel kesitli elemanlarda sargılama bakımından elde edilen verimin daha yüksek düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca farklı sargılama düzeylerindeki elemanlara ait yaptıkları sayısal analizlerde, sargı sayısının artışına da bağlı olarak, dayanım ve süneklikte önemli ölçüde artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir. Aramid, cam ve karbon lifli polimer güçlendirme malzemelerinin özellikle deprem veya patlama şiddetindeki ani

yüklere maruz kalabilecek olan kolonların güçlendirilmesinde güvenle kullanılabileceğini savunmuşlardır. Ayrıca önerdikleri sargılı beton malzeme davranışını temel alan modelin deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu ve bu nedenle de gerçek kolonların davranışlarına ait sonuçları da doğru bir şekilde yansıtacağını belirtmişlerdir.

Marques ve ark. (2004), çalışmalarında FRP kompozit malzemesi ile sargılı dikdörtgen ve silindirik kısa kolonların eksenel yük etkisi altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışının tahmini için sayısal bir model önermişlerdir. Söz konusu modelde tek eksenli basınç altındaki sargılı ve sargısız beton için verilmiş olan formülasyonda, eksenel rijitlik ölçüsünün bir parametresi olarak malzemenin secant elastisite modülü kullanılmış ve elemanın basınç alanında oluşan gerilmelerden yararlanılmıştır. Modele göre sarılı olmayan betonda eksenel ve yanal şekil değiştirme değerleri arasında belli bir ilişki olduğu kabul edilmektedir. Sargılı beton için ise, bu ilişkinin kesin olarak var olduğu savunulmaktadır. Bu durumdan dolayı model, kolonların gerilme-şekil değiştirme davranışlarını tanımlayan tekrarlayan artımlı basit bir yaklaşımdan faydalanılarak tasarlanmıştır. Analizlerde FRP malzemesinin davranışının kırılma anına kadar lineer elastik olduğu kabul edilmiştir. Önerdikleri modeli doğrulamak amacıyla belirli sayıda CFRP veya GFRP (karbon veya cam lif) sargılı kolonu analiz ederek buldukları sonuçları diğer araştırmacılar tarafından daha önce yapılmış deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmalar sonucunda önerdikleri modelin, eksenel yüke maruz sargılı dikdörtgen ve silindirik kolonların her ikisi için de gerilme-şekil değiştirme davranışının tahmini için önemli ölçüde faydalı olacağı sonucuna varmışlardır. Ayrıca literatürde dikdörtgen kolonların sargılanması ile ilgili az sayıda çalışma olduğunu ve bu konu üzerine daha çok çalışmanın yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Matthys ve ark. (2005), çalışmalarında eksenel yük etkisi altında bulunan FRP sargılı gerçek boyutlardaki kolonların davranışlarını ele almışlardır. FRP sargısının elemanın sargı kapasitesi üzerindeki etkisi ve kopma anında FRP

malzemesindeki şekil değiştirmesinin incelenmesini amaçlamışlardır. Çalışma kapsamında, FRP ile sarılı beton elemanlara ait maksimum dayanım değerlerinin belirlenmesine yönelik daha önceden hazırlanmış küçük boyutlardaki mevcut modellerin davranışları da incelenmiştir. Çalışmada sundukları sonuçlar ile mevcut modellere ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca mevcut bir model tekrar düzenlenmiştir. Düzenlenen bu model FRP kopma şekil değiştirmesini belirlemeye yönelik olup bu kopmanın yerel gerilmelerin biriktiği yerde gerçekleştiği belirtilmiştir. Mevcut modellere ait sonuçların daha çok küçük boyutlardaki silindirler üzerinde yapılmış olduğu ancak, bazı sonuçların gerçek boyutlardaki kolonlarda da geçerli olduğu ve maksimum dayanımın tahmininde doğru sonuçlar verdiği savunulmuştur. FRP sargısının gerçek boyutlardaki kolonlar üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için geniş ölçülerdeki kolon numuneler hazırlanmış ve farklı tipte FRP malzemeleri ile sarılarak eksenel basınç altında denenmiştir. Hazırlanan numuneler 400 mm çapında ve 2 m yüksekliğinde olup sargıları için karbon, cam ve hibrit olmak üzere üç farklı tipte polimer malzeme kullanılmıştır. Toplamda 8 adet kolon üretilmiş ve bu üç malzeme ile dairesel veya spiral şeklinde, tam veya parçalı olarak sarılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda kolonlara ait maksimum taşıma yükü, eksenel gerilme, enine ve boyuna şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. FRP ile sargılanan kolonların dayanımında 1.62 MPa değerine varan artışlar gözlenmiştir. Sargılı kolonların FRP de oluşan kopma sonucu kırıldığı belirtilmiştir. Parçalı sargılama yapılan kolonlarda ise kırılmanın sargının yapılmadığı kısımlarda betonun ezilmesi ve çelik donatının burkulması ile gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Sargısız kolonlara kıyasla, sargılı kolonların dayanım ve sünekliğinin daha fazla olduğu görülmüştür. Dayanımda ki artışın değerinin FRP sargısının miktarına, türüne ve malzemenin çekme dayanımına bağlı olduğu belirtilmiştir. Tam sargılamanın parçalı sargılamaya göre dayanımı daha fazla arttırdığı gözlenmiştir.

Hadi (2006), çalışmasında cam ve karbon polimer (FRP) malzeme ile sarılmış kolonların eksantrik yük etkisi altında ki davranışlarını gösteren test

sonuçlarına ve karşılaştırmalara yer vermiştir. Bu amaçla; 3 adedi betonarme olarak tasarlanmış; diğer 3 adedi sade beton ile oluşturulmuş ve 3 kat karbon lifli polimer (CFRP) malzeme ile sarılmış; kalan 3 adedi ise yine beton ile oluşturulmuş ve cam lifli polimer (GFRP) malzeme ile sarılmış olan, toplamda 9 adet kısa kolon imal edilmiştir. Bu şekilde oluşturulan her grupta bulunan kolonlardan biri sadece eksenel yüklemeye tabi tutulmuştur. Diğer ikisi ise sırasıyla 25 mm ve 50 mm eksantrisite ile uygulanan eksenel kuvvet altında test edilmiştir. Yükün kolonlara eksantrik olarak etkitilebilmesi için özel olarak bir eksantrik yük sistemi geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, eksantrik yüklemeye maruz FRP sarılı kolon elemanların kırılma yükü değerlerinin, merkezi yüklemeye maruz olanlara kıyasla çok daha düşük değerlerde olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, eksantrisitenin artması ile çok daha düşük yük değerinde kolonların taşıma gücüne ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca, çelik çubuklar vasıtası ile donatılandırılan betonarme kolonlar ile kıyaslandığında; gerek merkezi yönünde, gerek ise eksantrik olarak yüklenen FRP sarılı kolonların yük taşıma kapasitelerinin ve sünekliklerinin normal betonarme kolonlara oranla çok daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Hadi (2007), çalışmasında cam ve karbon lifli polimer (FRP) malzeme ile sarılmış yüksek dayanımlı betonarme kolonların eksantrik yükler etkisi altında ki davranışlarını araştırmıştır. Bu amaçla yüksek dayanımlı betondan imal edilen 9 adet kolon numune eksantrik yük uygulanarak test edilmiştir. Test sonuçları, karbon lifli polimer kullanımının kolonların dayanım ve sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Ayrıca, yine elde edilen sonuçlara göre; kolonlarda tek yönlü karbon lif kullanımının cam lif kullanımından daha iyi bir performans sağladığı, eksantrisite miktarının arttırılmasıyla ise kolonların yük taşıma kapasitelerinin azaldığı belirlenmiştir.

Teng ve ark. (2007), çalışmalarında FRP, beton ve çelik karışımından oluşan çift katlı boru kolonların tasarım ve davranışlarını incelemişlerdir. Bu çift katlı boru kolonlar, FRP ile dıştan sarılmış olan bir borudan ve çelikten yapılmış bir iç borudan oluşmakta olup araları beton ile doldurulmuştur. Amaç, normal

kolonlar ile elde edilemeyecek bazı avantajların kazanılmasıdır. Bunun için ilk olarak, yeni bir kolon şekli, yapım amacı ve süneklik, dayanım, korozyon direnci, uygulama kolaylığı gibi bazı kriterler bakımından kolondan beklenen avantajlar açıklanmıştır. Bu amaçla bir dizi eksenel basınç testi gerçekleştirilmiş ve sonuçları çalışma kapsamında verilmiştir. Bu sonuçlara göre, kolonun içindeki betonun iki boru tarafından etkili bir şekilde sarıldığı ve bu sayede içteki çelik boruda oluşan yerel burulmanın etkisinin bastırıldığı, dolayısıyla da oldukça sünek bir davranışın ortaya çıktığı ve dayanımın arttığı belirtilmiştir.

Fraldi ve ark. (2008), çalışmalarında lifli polimerlerle sarılmış dairesel betonarme kolonların çökme yüklerinin tahmini için malzemenin elastoplastik davrandığı varsayımına dayalı bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışmada lifli polimerlerle güçlendirilmiş dairesel betonarme kolonların basınç altında maksimum taşıma gücü dayanımlarının hesaplanması amacıyla üretilen silindir numunelerin, elastik ve elastik sonrası çözümlerini elde etmek için bir yapı tasarım metodu önerilmiştir. Çalışmalarının sonucunda, elemanların elastik ve elastik sonrası davranışları incelenerek, tüm alan boyunca oluşacak olan göçme modunu, beton basınç dayanımını, beton sarılma basıncını ve göçme anındaki uzamayı içeren tahmini hesaplama formülasyonları geliştirilmiştir. Elde edilen veriler, literatürde yer alan az sayıda deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ve sonuç olarak, deneysel sonuçlar ile analitik sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.

Benzaid ve ark. (2009), çalışmalarında GFRP (cam lifli polimer malzeme) ile sarılı prizmatik kare şeklindeki dikdörtgen kolonların yük taşıma kapasitelerini ve şekil değiştirme değerlerini inceleyen deneyler yapmışlardır. Toplamda 21 adet boyutları 100x100x300 mm olan prizmatik kare kesitli numune hazırlanmış ve yük etkisi altındaki şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Deneylerde değişken parametre olarak GFRP tabaka sayısı ve köşe yuvarlama yarıçapı tutulmuştur. Geniş köşe yarıçaplı numunelerde, köşelerdeki gerilme yığılmasının azaldığı belirtilmiştir. Bu sayede sargılı ve farklı köşe yarıçapına sahip olan numunelerin,

sarılı olmayan modellere göre daha dayanıklı olduğunu anlaşılmıştır. Sonuç olarak, kare kesitli numunelerin eksenel yük etkisi altında keskin köşe noktalarında oluşan gerilme yığılmalarını azaltmak ve kırılma anında, GFRP malzemesinin bu zayıf noktalardan kopmasını engellemek için, keskin olan köşelerin belli bir yarıçapta yuvarlanarak malzemenin o şekilde sarılması gerektiği önerilmiştir.

Doran ve ark. (2009), çalışmalarında FRP ile sarılmış kare ve dikdörtgen kesitli kolonların lineer olmayan davranışlarını sonlu elemanlar modeli ile modelleyerek incelemişlerdir. Bunun için belirli sayıda, farklı şekillerde lifli polimer (FRP) malzeme ile sarılan kolon modelleri oluşturulmuş ve bu şekilde betona FRP malzeme sarılmasının, elemanın davranış ve tasarımını ne şekilde etkilediği araştırılmıştır.

Rocca ve ark. (2009), çalışmalarında pratik uygulamalarda kullanılan dairesel veya dairesel olmayan kesitlere sahip lifli polimerlerle sarılmış betonarme kolonların hesap ve tasarımı için basitleştirilmiş eksenel yük-eğilme momenti etkileşim diyagramı yöntemini ele almışlardır. Önerilen teorik etkileşim diyagramı ile deneysel olarak bulunan etkileşim diyagramı karşılaştırılmış ve kısmi olarak uyumlu oldukları sonucuna varılmıştır.

Karimi ve ark. (2011), çalışmalarında beton, çelik ve lifli polimer (FRP) malzemeden oluşturdukları kompozit kolonu, yaptıkları deneysel testler ve geliştirdikleri analitik model ile değerlendirmişlerdir. Kompozit kolon, I kesitli çeliğin etrafına sarılan cam lifli polimer boru ve boru ile profilin arasını dolduran betondan oluşturulmuştur. Toplam 7 adet kolon numunesi teste tabi tutularak kolonların eksenel yük etkisi altındaki davranışları araştırılmıştır. Aynı zamanda, beton büzülmesinin kompozit kolonların basınç davranışları üzerine olan etkisi de incelenmiştir. Büzülme azaltma faktörünün ilavesi ile kompozit kolonların basınç davranışlarının daha fazla geliştirilip iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, eksenel yük etkisindeki kompozit kolonların davranışlarının tahmini için analitik bir model geliştirilmiş ve sarılmanın sağlanması ile kompozit etkinin güçlenmesi sonucu kolonların basınç dayanımının arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Silva (2011), çalışmasında farklı türlerde lifli polimer malzeme (FRP) ile kaplı olan veya olmayan kare kesitli dikdörtgen kolonların eksenel yük etkisi altında ki davranışlarını ve sargılı kolonların dayanım ve sünekliklerinde oluşan değişimi incelemişlerdir. Kare kesitli kolonlar, önce keskin kenarlı, sonra köşelerde 20 ve 38 mm değerlerinde yuvarlama yarıçapı uygulanarak eksenel yük etkisinde deneye tabi tutulmuştur. Kolonların sarılmasında aramid ve karbon lifli olmak üzere iki farklı FRP malzemesi kullanılmış olup kare kesitli ve dairesel kesitli iki farklı geometrik gruptaki kolonlar üzerinde çalışılmıştır. Kolonların AFRP (aramid lifli polimer) veya CFRP (karbon lifli polimer) malzeme ile sarılması halinde eksenel yük dayanımının ve sünekliğinin önemli ölçüde artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca kolonlarda kırılmanın, FRP malzemelerinin kopması ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Dairesel kesitli kolonlarda FRP sargısının (aramid veya karbon), kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerini arttırdığı; CFRP (karbon lifli polimer) sargılı kare kesitli yani keskin köşeli kolonlarda ise sargının, kolonların yük taşıma kapasitesine ve sünekliğine fazla katkısı olmadığı kaydedilmiştir. Kesiti nasıl olursa olsun (dairesel veya kare), AFRP (aramid lifli polimer) sargılı kolonların tamamında yük taşıma gücünün ve sünekliğin arttığı gözlenmiştir.

Csuka ve Kollár (2012), çalışmalarında lifli polimerlerle sarılmış eksantrik yüklü dairesel ve merkezi yüklü dikdörtgen kesitli kolonların hesap ve tasarımı için yeni bir model geliştirmişlerdir. Yaptıkları hesaplamalar ve elde ettikleri deneysel sonuçlarla, literatürdeki sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışmada, mevcutta bulunan bazı modellerin, tasarım bakımından eksik yönlerinin üzerinde durulmuş ve hesaplamalara dayanan basitleştirilmiş yeni bir tasarım modeli sunulmuştur.

Jiang ve Teng (2012), çalışmalarında lifli polimer (FRP) malzeme ile sarılmış dairesel narin betonarme kolonların tasarımı ve yük taşıma kapasitesinin tayini için nümerik integrasyon yöntemini temel alan teorik bir model öne sürmüşlerdir. Bu model ile elde edilen sonuçlar, mevcut deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve yapılan tahminlerin doğru olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca,

FRP malzemesinin kolonlara sarılmasının, kolonun eksenel yük taşıma kapasitesini arttırdığı, fakat kesitin eğilme rijitliğini başlangıç eğilme rijitliğine kıyasla azalttığı; bu nedenle de kolonun daha narin bir hale geldiği belirtilerek, önerilen teorik modelin kolonun eksenel yük taşıma kapasitesini doğru bir şekilde tahmin ettiği kanıtlanmıştır.

Karimi ve ark. (2013), çalışmalarında lifli polimer boru, beton ve çelik karışımının farklı kombinasyonları ile oluşturulan çeşitli narinlik oranlarına sahip kompozit kolonlar için, yeni bir analitik model ve eksenel yük tasarımı sunmuşlardır. Oluşturulan bu farklı bileşenli kolonlar, süneklik, sarılma, basınç dayanımı ve enerji yayma kapasitesi bakımından normal olarak güçlendirilmiş kolonlarla karşılaştırılmıştır. Betonarme sistemlerde güçlendirme için mevcut olarak kullanılan tasarım metotlarının, lifli polimer borular (FRP) için kullanımının yanlış olduğu sonucuna varılmıştır. Analitik olarak sunulan modele ait sonuçlar ile deneysel sonuçların uyum içinde olduğu belirtilerek bununla birlikte, bir de parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kolonlarda bulunan FRP borularının kalınlığının, borunun eksenel basınç modülünün, çelik donatının miktarının, kolon narinlik sınırlarının ve kolon çapının, süneklik, dayanım gibi sonuçlara olan etkilerini araştırmışlardır. Son olarak da, kompozit kolonların basınç yükü kapasitesini belirlemek amacıyla basitleştirilmiş bir tasarım denklemi önerilmiştir.

Sharma ve ark. (2013), çalışmalarında GFRP (cam lifli polimer malzeme) ile kaplı çeşitli köşe yuvarlama yarıçapı değerine sahip küçük boyutlardaki dikdörtgen kolonların eksenel yük etkisi altındaki davranışlarını incelemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bunun için, kare kesit alanına sahip, kesit alanı 125x125 mm ve yüksekliği 1200 mm olan 15 adet dikdörtgen kolon hazırlanmış ve 3'erli gruplar halinde eksenel basınç altında test edilmiştir. Sargısız ve köşeleri yuvarlatılmamış olan keskin köşeli 3 kolon, kontrol numunesi olarak test edilmiştir. Köşe yarıçapı paspayına eşit ve 25 mm olan 3 kolon tek kat GFRP, diğer 3 kolon çift kat GFRP ile sarılarak test edilmiştir. Kalan son 6

numune ise 5 mm köşe yuvarlama yarıçapına sahip olup ilk üçü yine tek kat, kalan üçü ise çift kat GFRP ile sarılarak denenmiştir. Kullanılan GFRP malzemesindeki lifler boyuna yönde, enine yöne kıyasla daha fazla olup sargılama enine yönde gerçekleştirilmiştir. GFRP malzemesi yapıştırılmadan önce beton yüzeyi pürüzsüzleştirilmiş yapıştırıcı uygulandıktan sonra da GFRP malzemesi arada boşluk kalmamasına özen gösterilerek kolonlara sarılmıştır. Deneydeki değişkenler, uygulanan GFRP katman sayısı ve köşe yuvarlama yarıçapı değerleridir. Deney sonucunda maksimum kırılma yükü, eksenel ve yanal şekil değiştirme değerleri sırasıyla hidrolik kriko, lineer transdüserler ve elektrikli uzama ölçerler kullanılarak ölçülmüştür. Kolon orta bölgesindeki yanal şekil değiştirmelerin ölçülebilmesi için o bölgeye birim uzama ölçerler (Strain Gauge) yapıştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda GFRP sargısının dikdörtgen kolonların yapısal performanslarını, hem maksimum dayanım hem de şekil değiştirme açısından arttırdığı, ayrıca GFRP katman sayısının da kolonların eksenel basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Köşe yuvarlama yarıçapı yüksek olan kolonların düşük olanlara göre daha yüksek yük değerlerine kadar kırılmadan dayandığı kanıtlanmıştır. Ek olarak, sargısız kolonlara kıyasla sargılı kolonların maksimum kırılma yükü değerlerinin ortalama %47-%149 oranında artış gösterdiği belirtilmiştir.

Teng ve ark. (2013), çalışmalarında beton dolgulu çelik borudan (CFTs-Concrete Filled Steel Tubes) oluşan kolonların davranışları incelemişlerdir. CFTs borularda çeliğin betona sarılmasının azalması veya bozulması durumunda, dayanımda ve süneklikte azalma olduğu belirtilerek boruların lifli polimer (FRP) malzeme ile dıştan sarılmasının bu tarz olumsuzlukların önüne geçeceği vurgulanmıştır. Bu amaçla, FRP ile sarılmış beton dolgulu çelik borunun davranışının belirlenmesi için bir gerilme-şekil değiştirme modeli önerilmiştir. Önerilen modele yönelik yapmış oldukları tahminlerin, mevcut deneysel sonuçlar ile yakın olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Malzeme ile İlgili Çalışmalar

Samaan ve ark. (1998), çalışmalarında karbon lifli polimer sargılı betonun davranışını belirleyen bir model önermişlerdir. Modeli geliştirmek amacıyla silindir beton numuneler hazırlanarak test edilmiş, deney sonuçları dikkate alınarak beton modeli tanımlanmış ve modelde beton davranışı üç doğru denklemi ile ifade edilmiştir. Ayrıca, yapılan deneylerde karbon lifli polimer malzemenin elemanların sargı etkisini arttırdığı dolayısıyla da, beton basınç birim kısalma değerinin de bu sayede arttığı sonucuna varılmıştır.

Val (2003), çalışmasında karbon lifli polimer sargılı dairesel kesitli kısa betonarme kolonların statik yük etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Karbon fiber polimer malzemenin kolon dayanım, süneklik ve deformasyon özelliklerini arttırdığı ve kolon iyileştirme malzemesi olarak olumlu sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Dayanım azaltma faktörünün, karbon fiber polimer sargılı kolonlar için geçerliliğini araştırmıştır. Ayrıca çalışmada, eksenel yük ve eğilme etkisi altındaki kolonlarda dayanım azaltma faktörü ve sargı faktörü arasındaki ilişkiyi gösterilmiştir.

Montoya ve ark. (2004), çalışmalarında karbon lifli polimer sargılı kolonların analizinde kullanılmak üzere bir beton gerilme-birim deformasyon modeli geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında, karbon fiber polimer sargılı kolonların analizine yönelik, temeli Sonlu Elemanlar Yöntemine dayanan teorik bir model geliştirilmiştir. Önerilen gerilme-birim deformasyon modeli teorik analiz yöntemine uygulanarak literatürde mevcut bulunan salt eksenel yüke maruz betonarme kolon elemanların analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Karam ve Tabbara (2005), çalışmalarında karbon lifli polimer güçlendirme (CFRP) malzemesi ile sarılı betonarme elemanların gerilme değerlerinin belirlenebilmesi için bir sonlu eleman metodu geliştirmişlerdir. Çalışmada, değişken köşe yuvarlama yarıçapına sahip olan kare ve dikdörtgen kesitli elemanların eksenel yük etkisi altındaki davranışları ile dairesel kesitli olanların

davranışlarını karşılaştırılmıştır. Keskin köşelere sahip (kare veya dikdörtgen kesitli) kolonlarda yük etkisi altında, köşe noktalardaki gerilme değerlerinde artış olduğu ve oluşacak kırılmanın da bu köşelerde oluşacağı gözlenmiştir. Bu durumdan dolayı da kesitin dikdörtgen olduğu veya köşelerinin daha keskin olduğu durumlarda, sarılma etkisinin kolon davranışını iyileştirmeye yönelik katkısının azaldığı sonucuna varılmıştır. Yani dayanıma olan katkı azalmıştır. Geometrik sarılma katsayısının hesabı için, sayısal bir hesap yöntemi önerilmiştir. Hesaplanan bu değerler ile basit bir modele ait elde edilmiş sonuçların uyum içinde olduğu söylenmiştir. ADINA isimli doğrusal olmayan analiz yapan bir program vasıtası ile dikdörtgen kesitli elemanlarda ve belli durumlar için kare ve dairesel kesitli elemanlarda da kullanılabilen bir beton hesap modeli kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmalarında, farklı köşe yuvarlama yarıçapına sahip, çeşitli kesit ölçülerinde ve FRP sargı rijitliğinde olan kolonlar için parametrik bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları sayısal analizlere ait sonuçlar ile referans aldıkları basit bir modele ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte literatürde olan sonuçlarla, CFRP ile sargılama sonucunda elde ettikleri sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, elemanın keskin olan köşelerinde oluşan gerilmeler nedeniyle elemanın rijitliğinin azaldığı ve bu bölgelerde yerel kırılmalar olduğu; geometrik sarılma katsayısının artması ile sarılma etkisinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Başka bir ifadeyle, kesite ait şekil katsayısının artmasına yani kesitin daire şeklinde veya köşeleri yuvarlatılmış şekilde olması yerine köşeleri keskin bir geometride (dikdörtgen veya kare) olmasına bağlı olarak sarılma etkisinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Özgen ve Mutlu (2005), karbon elyaf üretimi ve özelliklerini anlatan bir araştırma yapmışlardır. Karbon elyaf malzemenin avantajları, üretimi, çeşitleri ve mekanik özellikleri, kullanımda üstün kılan yönleri, kullanım alanları anlatılmıştır.

Sheikh ve Li (2007), çalışmalarında karbon fiber sargılı kare kesitli betonarme kolonların analizi için teorik bir yöntem önermişlerdir. Literatürde mevcut bulunan salt eksenel yüklemeye maruz karbon fiber sargılı betonarme

kolonlar, önerilen yöntem ile analiz edilmiş ve karbon fiber malzemenin kolon davranışı üzerine olan etkileri ortaya konulmuştur. Ayrıca, karbon fiber malzemenin kolon dayanım ve sünekliğini olumlu derecede arttırdığı belirtilmiştir.

Hadi (2009), çalışmasında 16 adet numunenin test sonuçlarını vermiştir. Numunelerden 12 adedi farklı eksantrisiteye sahip kolon olmak üzere, kalan 4 adedi dört nokta yüklemesi deneyine tabi tutulan kiriş olarak düzenlenmiştir. Tüm elemanlar dairesel kesite sahiptir ve yüksek dayanımlı betondan yapılmıştır. 4 eleman referans eleman olarak düşünülmüş; diğer 4 eleman karbon lifli polimerlerle (CFRP) sarılmıştır. Bir diğer 4 eleman betona ilave edilen çelik liflerden oluşmakta olup kalan 4 eleman ise hem çelik liflerle güçlendirilmiş hem de CFRP ile sarılmıştır. Bu dört elemandan oluşan grupların her birinde ilk numune salt eksenel yüklü olarak test edilmiş bir kolondur. İkinci numune, 25 mm eksantrisite ile üçüncü numune 50 mm eksantrisite ile test edilmiş bir kolondur. Son olarak da dördüncü numune dört nokta yüklemesi deneyine tabi tutulan bir kiriş elemanıdır. Yapılan test sonuçlarına göre, elemana liflerin katılması ve elemanın aynı zamanda karbon lifli polimer ile sarılması durumlarında betonun özelliklerinin, dayanımının ve özellikle de sünekliğinin önemli ölçüde arttığı kanıtlanmıştır.

Maaddawy (2009), çalışmasında karbon lifli polimer (CFRP) malzeme sarma yöntemi ile güçlendirilmiş olan betonarme kolonların eksantrik yük etkisi altındaki dayanım ve davranışlarını ele alan bir takım deneysel ve analitik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bunun için her iki ucunda başlık bulunan, farklı yükseklikte ki toplamda 12 adet kolonun, dıştan tek yönde FRP malzemesi ile sarılarak; farklı eksantrisiteye sahip yükler etkisinde test edilmesi amaçlanmıştır. Kolon başlıkları eğilme ve kesme etkilerini karşılayacak dayanım ve şekilde oluşturulmuş olup; kolonlar, farklı e/h oranlarına sahip sargısız, tam FRP sargılı ve parçalı FRP sargılı olacak şekilde tasarlanmış ve teste tabi tutulmuştur. Kırılmanın kolon orta bölgesinde olması için yüklemenin yapılacağı uç kısımlar güçlü kılınmıştır. Ayrıca boyuna ve enine yönde deplasmanların ölçümü için çeşitli

deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Araştırma bulguları, bir elemanda ki e/h oranı arttıkça, FRP sargısından dolayı elemanın dayanım kazanma durumunun azalacağını göstermiştir. Tam sargı sonucunda e/h oranı 0,3 iken elemanın basınç dayanımında %37 değerinde bir artış gözlenirken; e/h oranı 0,86 olduğunda dayanımda ki bu artışın %3 olduğu gözlenmiştir. Parçalı sargı durumunda ise, tam sargı haline göre elemanın basınç dayanımında sadece %5'lik bir azalma olduğu sonucuna varılmıştır. Eksantrisitedeki değişikliğin neden olduğu yanal deformasyonların kolon dayanımına etkisinin tahmini için 2.dereceden nonlineer bir analiz yapılması önerilmiştir. FRP sarılmayan modellerden ikisi betonun ani kırılması sonucu taşıma gücüne ulaşmış ve gevrek bir davranışa sebep olmuştur. Tam ve parçalı FRP kullanılarak sarılan modellerde ise önce FRP kopması gerçekleşmiş ve basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile taşıma gücüne ulaşılmıştır. Buna göre, CFRP sargılamanın betonun basınç dayanımını arttırdığı, betonda ki ani kırılmayı engellediği ve ertelediği, bununla birlikte kırılma öncesinde çeliğin de akmasını sağladığı sonucuna varılmıştır. Yapılan deneysel ve analitik çalışmaların sonuçlarına ek olarak literatürde önerilen sonuçlar incelenmiş ve bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen analizin doğruluğu ve geçerliliği sunulan model ve yapılan deney sonuçlarına göre kanıtlanmıştır.

Song ve ark. (2012), çalışmalarında eksenel ve eksantrik yük etkisi altındaki karbon fiber sargılı betonarme kolonların teorik davranışını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında kolon analizi için teorik bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile literatürde mevcut bulunan kolon numunelerin analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gösterilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre karbon fiber polimer malzemenin, betonarme kolon dayanım ve deformasyon özelliğini arttırdığı belirtilmiştir.

Pham ve ark. (2013), çalışmalarında şekil değişikliği yapılarak ve karbon lifli polimer (CFRP) malzeme kullanılarak güçlendirilmiş kare betonarme kolonların dayanım özelliklerini ve farklı yükleme tiplerindeki davranışlarını

incelemişlerdir. Kare kesitli kolonlara, yarım daire şeklinde ki beton parçalar dört kenardan monte edilerek kolonlar dıştan daireselleştirilmiştir. Test edilecek elemanlar için farklı kalitedeki beton dayanımları kullanılmış; eksantrik, merkezi ve iki eksenli eğilme etkisinde ki yüklemeler uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yüksek dayanımlı beton ile kaplanan numunelerin yük taşıma kapasitelerinin, normal dayanımlı betonla kaplananlara göre daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Gerek dairesel yüksek dayanımlı beton ile gerek ise CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş kolonların merkezi yükleme durumundaki yük taşıma kapasiteleri, referans alınan güçlendirilmemiş kolon numunesine göre 4 kat daha fazla bulunmuştur. Dairesel beton eleman kullanılarak güçlendirilen kare kolonlar için kenarlardaki dairesel her parçanın basınç dayanımı göbek betondan daha fazla ya da eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Dayanımları farklı olan toplam 16 adet eşdeğer kare kolon, 4 gruba ayrılmış; ilk grup referans grup olmak üzere 40 MPa betondan oluşan kare şeklinde, ikinci grup 40 MPa, üçüncü grup 80 MPa ve dördüncü grup ise 100 MPa dayanımlı dairesel beton kullanılarak kare olan kolonlara uygulanmak üzere hazırlanmıştır. Şekli kareden daireye döndürülen bu son üç gruptaki kolonlar, ayrıca üç kat CFRP katmanı ile sarılmıştır. Her gruptaki ilk numune merkezi yönünde eksenel yükleme ile, diğer iki numune ise 25 mm ve 50 mm’ lik eksantrik yükleme ile test edilmiştir. Son numuneler ise 4 nokta yüklemesi deneyine tabi tutulmuştur. Dairesel parçalar kare kolon yüzeylerine epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Yapışma sonrası ayrılmanın olmaması için numune tamamen çelik bir çember vasıtasıyla sıkıca bağlanarak üç gün boyunca kurumaya bırakılmıştır. Sonrasında, keskin köşeleri yuvarlatılarak yumuşatılmış ve adeta bir daire haline getirilmiş olan kurumuş her bir numunenin üzerine özel bir epoksi yapıştırıcısı ile CFRP katmanları tek tek uygulanmıştır. Numune uçlarındaki erken hasarı önlemek amacıyla numune uçlarına da ek olarak CFRP katmanı sarılmıştır. Yine üç gün kurumaya bırakılmıştır. Numuneler 28 ve 56 gün sonunda test edilmiş ve test edilirken beton basınç dayanımının tayini için de kolon numunelerin dökümü aşamasında alınan silindir numuneler de test edilmiştir. Elde

edilen deney sonuçlarına göre; referans aldıkları ilk gruba ait normal dayanımlı, 40 MPa basınç dayanımına sahip olan, merkezi yüklemeye tabi tutulmuş kare kesitli kolonlarda ortaya çıkan kırılmanın, önce pas payının sıyrılması ile sonra kolon ortasında ki betonun dökülmesi ile sonra da donatının burkulması ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Diğer üç adet CFRP ile sarılmış olan dairesel merkezi yönde yüke maruz bulunan kolonlarda ise kırılmanın, önce FRP' nin ani olarak kolon ortasında kopması ile sonrasında ise beton kaplamasının çatlayıp kırılması ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, yüksek dayanımlı betonlar (80 MPa ve 100 MPa) ile kaplanmış olan kare kolonların, 40 MPa dayanıma sahip beton kullanılarak hazırlanmış kolon numunelere göre daha ani olarak kırıldığı gözlenmiştir. Aynı kolonlar eksantrik olarak yüklendiklerinde ise, köşeleri yuvarlatılarak yumuşatılmış ve adeta bir daire haline getirilmiş olan sargılı kolonlarda kırılmanın önce yine FRP' nin kopması, sonra ise betonun çatlaması ile gerçekleştiği söylenmiştir. Ayrıca, sargılı olan tüm kolonlardaki FRP kopmalarının kolon ortasında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Her grup içerisinde yer alan son kolon, dört nokta yüklemesi deneyine tabi tutulmuş bir kiriş gibi düşünülmüştür. Bu kolonlarda FRP kopmasının olmadığı ancak, kırılmanın basınç bölgesindeki betonun ezilip ufalanması ve çekme bölgesindeki boyuna donatının kırılması ile gerçekleştiği vurgulanmıştır. Eksenel yük etkisinde teste tabi tutulan kolonların eksenlerindeki deformasyon değerleri hesaplanmış ve kolonlara ait etki diyagramları oluşturulmuştur. Teorik olarak da bir etki diyagramı ve çözüm için bir hesap yöntemi önerilmiş ve elde edilen değerler, deneysel sonuçlarla bulunan eksenel yük ve eğilme momenti kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan bu daireselleştirme ve CFRP ile sarma yönteminin, kolonların yük taşıma kapasitelerini önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Punurai ve ark. (2013), çalışmalarında iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz karbon fiber polimer sargılı betonarme narin kolonların deneysel ve teorik davranışını ele almışlardır. Çalışma kapsamında üretilen 4 adet karbon fiber polimer sargılı kolon test edilmiş ve sonuçları sunulmuştur. Deneysel parametreler

kullanılmak suretiyle kolon numuneler önerilen yöntem ile analiz edilerek elde edilen teorik sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Zaki (2013), çalışmasında karbon fiber polimer sargılı betonarme kolonların davranışını tanımlayan teorik bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntem Sonlu Elemanlar Yöntemi esasına dayanmakta ve yöntemin uygulanmasında kolon taşıma gücü değeri elde edilmektedir. Yöntemde ayrıca, kolonlarda kullanılan karbon fiber polimer malzemenin optimum değerinin belirlenebildiği ifadeler önerilmiştir. Çalışma kapsamında, karbon fiber polimer malzemenin kolon davranışına olan etkileri teorik olarak ele alınmış ve sonuçları detaylı bir şekilde sunulmuştur.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Giriş

Yüksek katlı yapılarda ve köprülerde yaygın olarak kullanılmakta olan yüksek dayanımlı beton, yük etkisinde gevrek bir davranış sergilemekte ve yapının deformasyon yapma kapasitesini azaltmaktadır. Yüksek katlı binalarda gerek alandan kazanmak gerekse alana gelen yükü azaltmak amacıyla, kolonlar yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilebilmektedir. Yüksek dayanımlı beton kullanılan kolonların kesit boyutları, normal dayanımlı beton kullanılan kolonlara göre daha küçük boyutlarda olabildiği için özellikle de alandan tasarruf edilmesi istenen durumlarda bu tarz betonların kullanımı tercih edilmektedir.

Yüksek dayanımlı betonarme kolonlar eksenleri yönünde yüklendiklerinde, normal dayanımlı betonarme kolonlara göre çok daha rijit davranmaktadırlar. Ancak bilindiği üzere, gerçekte betonarme kolonlar düşey yük, deprem yükü, rüzgar yükü vb. etkileri altında iki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz kalmaktadırlar. Özellikle de yapının köşelerinde yer alan, yüksek dayanımlı beton ile imal edilen kolonlar, deprem etkisi nedeniyle eksantrik yüklemeye maruz kaldıklarında, çok fazla yanal deplasman yapamadıkları için gevrek bir şekilde ve aniden kırılabilmektedirler. Bu tarz olumsuzlukları önlemek amacıyla, imalat sırasında yüksek dayanımlı betonun içerisine sünekliği arttırıcı çelik lifler ilave edilebilmektedir.

Özellikle depremde hasar görmüş yüksek dayanımlı betonarme kolonlar için çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanarak kolonların dışarıdan güçlendirilmesi sağlanmaktadır. Bunun için çelik plakalarla kaplamak bir yöntem olabileceği gibi, çözüm için seçilecek olan her yöntem pratik olmamaktadır. Ayrıca uygulanan bazı yöntemler, kolonların görünümünde olumsuz yönde bir takım değişikliklerin ve bozulmaların oluşmasına sebep olabilmektedir.

Hasarlı kolonların, dışarıdan lifli polimer (FRP) malzemeler kullanılarak sarılması ise; hem uygulama açısından oldukça pratik olmakta hem de görünümü bozmamaktadır. Söz konusu malzemeler, kolonların rijitliğine fazla katkı sağlamıyor olsalar da, yük etkisinde kolonların daha sünek davranmasını sağlamakta ve göbek betonunun parçalanmasını büyük ölçüde engellemektedirler.

Bu amaçla kullanılan lifli polimer malzemelerin en yaygın olarak kullanılanları, karbon ve cam lifi takviyeli olanlarıdır.

Yapılan çalışmada çelik lifli ve lifsiz, karbon lifli polimer (CFRP) sargılı ve sargısız, yüksek dayanımlı narin betonarme kolonların, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki davranışı incelenmiştir. Bu amaçla çelik lifli ve lifsiz, karbon lifli polimer sargılı ve sargısız toplamda 16 adet betonarme kolon, eksantrik yük etkisinde deneye tabi tutulmuştur. Ayrıca, daha önce iki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz betonarme kolonlar için Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından geliştirilmiş olan bir analiz programı yeniden düzenlenerek söz konusu kolonların bilgisayar ortamında analizi de gerçekleştirilmiştir.

3.2. Analizlerde Kullanılan Temel Varsayımlar

Bu çalışmada karbon lifli polimer (CFRP) sargılı, sade veya çelik lifli yüksek dayanımlı narin betonarme kolonların eksenel yük ve iki eksenli eğilme altında analizi ele alınmıştır. Bu amaçla, iki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz kolonlar için Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından geliştirilmiş olan program, karbon lifli polimer (CFRP) sargılı betonarme kolonlara uygun olacak şekilde yeniden düzenlenmiş ve problemin analitik çözümünde kullanılmıştır.

İki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında bulunan, sargısız ve CFRP sargılı betonarme elemanların taşıma gücü hesabında kullanılan analiz yönteminde yapılan temel varsayımlar aşağıda verilmektedir;

1. Eğilmeden önce düzlem olan kesitler, eğilmeden sonra da düzlem kalırlar.
2. Hesaplarda malzemenin doğrusal elastik olmayan davranışı esas alınmaktadır.
3. Beton için literatürde mevcut bulunan sargılı ve sargısız, çelik lifli ve lifsiz beton basınç gerilme deformasyon modelleri kullanılmaktadır.
4. Çelik için malzemenin elasto-plastik davranışını göz önüne alan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılmaktadır.
5. Betonun çekme dayanımına katkısı ihmal edilmektedir.
6. Sünme ve büzülme etkisi ihmal edilip beton, çelik ve CFRP malzemesi arasında aderansın tam olduğu kabul edilmiştir.
7. Elemanda oluşan eksenel ve kesme deformasyonları ihmal edilmektedir.

Problemin çözümünde, malzemelere ait gerilme değerlerinin elde edilebilmesi için, beton basınç bölgesinde seçilen herhangi bir gerilme-birim deformasyon ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi kullanılabilmektedir. Seçilen söz konusu ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi, literatürde mevcut olan herhangi bir model olabileceği gibi, numunelerin eksenel basınç altında deneysel olarak test edilmesi sonucunda elde edilen bir ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi de olabilmektedir. Ancak sargılı beton için sargılı beton davranışını tanımlayan ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi kullanılmalıdır. Bunun için de, yine literatürde sargılı beton için tanımlanmış olan mevcut bir ($\sigma - \varepsilon$) modeli göz önüne alınabileceği gibi, sargılı beton numunelerin eksenel basınç altında test edilmesi ile elde edilen kendilerine özgü ($\sigma - \varepsilon$) ilişkileri de kullanılabilmektedir. Aynı şekilde, elemanlarda bulunan donatılar için de, kabul edilen bir ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi göz önüne alınarak donatılarda meydana gelen gerilmeler belirlenebilmektedir.

3.3. Malzemeler için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modelleri

Gerek gerilme ve kuvvet cinsinden ifade edilen denge denklemleri, gerekse birim deformasyon türünden ifade edilen uygunluk denklemleri, malzemelerin

gerilme-birim deformasyon ($\sigma - \varepsilon$) eğrileri kullanılarak elde edilmektedir. Bu nedenle de problemlerin çözümünde, malzemelere ait gerilme-birim deformasyon ilişkilerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

Yapılacak olan analiz ve hesaplamalarda, problemin çözümü için, söz konusu malzemelere ait kendi ($\sigma - \varepsilon$) ilişkileri kullanılabileceği gibi; literatürde mevcut bulunan, yapılan çok sayıda deneyden elde edilmiş ve matematiksel olarak ifade edilmiş olan çeşitli matematiksel modeller de kullanılabilmektedir.

3.3.1. Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli

Bilindiği üzere beton, homojen olmayan bir yapı malzemesidir ve ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi pek çok değişken tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle de betonun ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisini tek bir ($\sigma - \varepsilon$) modeli kullanarak tanımlamak doğru olmamaktadır.

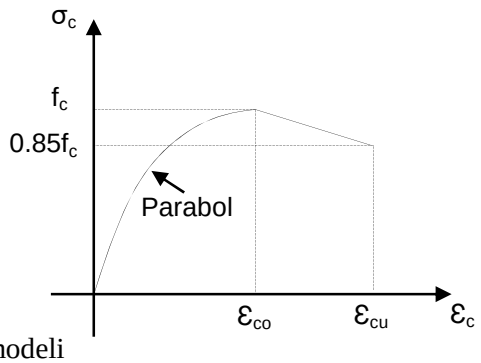
Literatürde beton için ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisini belirleyen sargılı ve sargısız beton davranışını esas alan bir takım modeller bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada sargısız beton için Hognestad ve ark. (1955) tarafından önerilen ($\sigma - \varepsilon$) modeli kullanıldığından sadece o modele ait ifadelere yer verilecektir. Çalışmada ayrıca, çelik lifli beton için Hsu ve Hsu (1994) tarafından önerilen ($\sigma - \varepsilon$) modeli kullanılmaktadır. Karbon lifli polimer (CFRP) sargılı beton için ise ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisinin tanımlanmasında Punurai ve ark. (2013) tarafından önerilen model kullanılmaktadır.

Elemanın beton basınç bölgesinde elemana ait gerilmelerin saptanması için kullanılan söz konusu ($\sigma - \varepsilon$) modelleri sargısız, sargılı ve çelik lifli beton için sırasıyla aşağıda tanımlanmaktadır.

3.3.1.1. Sargısız Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli

Çalışmada sargısız beton için Hognestad ve ark. (1955) tarafından önerilmiş olan ($\sigma - \varepsilon$) modeli kullanılmıştır.

Modelde betonun ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi, parabol ve doğrusal olarak Şekil 3.1' de görüldüğü gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1. Hognestad modeli

Modelde maksimum gerilmenin, beton silindir basınç dayanımının %85'i olduğu varsayılmaktadır ($f_c=0.85f_{ck}$). Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma değeri, $\varepsilon_{co}=2f_c/E_c$ olarak verilmiştir ancak; hesaplamalarda bu değerin 0.002 olarak alınabileceği belirtilmektedir. Modelde kırılmaya karşılık gelen maksimum birim deformasyon değerinin ise $\varepsilon_{cu}=0.0038$ olduğu kabul edilmektedir (Şekil 3.1).

Betonun elastisite modülü için ise (3.1) denklemi önerilmektedir;

$$E_c = \tan a = 12680 + 460 f_c \quad \text{(MPa)} \tag{3.1}$$

Hognestad modelini ifade eden denklemler ise eğrinin parabolik ve doğrusal kısımları için aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

Parabolik Kısım:

$$s_c = f_c \left[\frac{2e_c}{e_{co}} - \left(\frac{e_c}{e_{co}} \right)^2 \right] \tag{3.2}$$

Doğrusal Kısım:

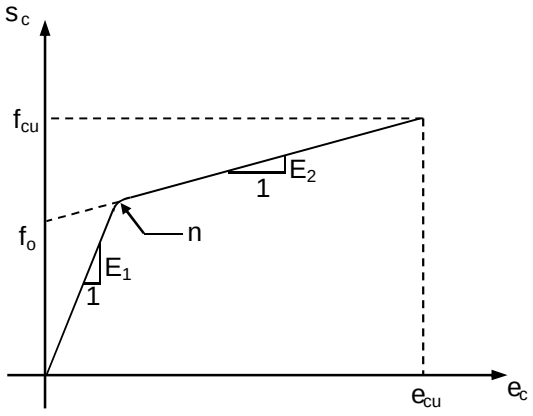
$$\sigma_c = f_c \left[1 - 0.15\left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}}\right)\right] \quad (3.3)$$

Burada f_c beton basınç dayanımını; ε_{co} maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmayı; ε_{cu} kırılma anındaki birim kısalmayı ve ε_c betondaki birim kısalmayı simgelemektedir.

3.3.1.2. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Sargılı Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli

Yapılan çalışmada sargılı beton için Samaan ve ark. (1998) ile Punurai ve ark. (2013) tarafından önerilen ($\sigma - \varepsilon$) modeli kullanılmıştır.

Modelde betonun ($\sigma - \varepsilon$) ilişkisi tanımlanırken eğriler, iki artan doğru ile yaklaşık olarak temsil edilmiş olup Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2. CFRP sargılı beton için ($\sigma - \varepsilon$) modeli

Burada ε_{cu} lifte oluşacak olan maksimum şekil değiştirmeyi, f_{cu} ise CFRP sargılı betonda oluşacak olan maksimum gerilmeyi temsil etmektedir.

CFRP sargılı betonun gerilme-birim deformasyon davranışını belirleyen denklem ise ilk olarak Samaan ve ark. (1998) tarafından önerilmiş olup Punurai ve ark. (2013) tarafından da kabul edilmiş ancak modele ait verilen bazı parametrelerde farklı ifadeler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Punurai ve ark. (2013) tarafından önerilen denklemler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle burada sadece Punurai ve arkadaşlarının (2013) modeli belirleyen parametrelere ilişkin vermiş oldukları denklemlere yer verilecektir.

Modelde davranışı ve betonun gerilmesini belirleyen denklem (3.4)'te yer alan ifade ile belirlenmektedir.

$$\sigma_c = \frac{(E_1 - E_2)\varepsilon_c}{\left[1 + \left(\frac{(E_1 - E_2)\varepsilon_c}{f_o}\right)^n\right]^{1/n}} + E_2\varepsilon_c \tag{3.4}$$

Burada σ_c ve ε_c sırasıyla, CFRP sargılı betonun gerilme ve birim deformasyon değerleridir. E_1 ve E_2 ifadeleri ise verilen bu iki artan doğruya ait eğim yani elastisite modülü değerleridir. E_1 eğrinin elastik olan kısmının eğimi olup E_2 eğrinin taşıma gücüne erişilene dek yaklaşık lineer olarak artış gösteren ikinci kısmının eğimidir. f_0 ikinci doğruya ait başlangıç gerilmesi olup bu noktadan itibaren oluşan gerilmeler plastik haldeki gerilmelerdir. n ise verilen bu iki eğri arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir parametre olan şekil faktörünü temsil etmekte olup (3.5) ifadesi ile belirlenmektedir.

$$n = 1 + \frac{1}{\frac{E_1}{E_2} - 1} \tag{3.5}$$

Şekil 3.2' de görülen ilk doğrunun eğimi olan E_1 ifadesinin ACI 318-08 (2008) tarafından önerilen denklemi (3.6)'da verilmektedir.

$$E_1=4730\sqrt{f_c} \tag{3.6}$$

Burada f_c sargısız betonun basınç dayanımıdır.

E_2 CFRP sargılı betona ait gerilme-birim deformasyon modelinde yer alan ikinci doğrunun eğimi olup ifadesi denklem (3.7)'de verildiği gibidir.

$$E_2=189.21f_c^{0.2}+1.345\frac{E_f\ t_f}{D} \tag{3.7}$$

Bu ifadede yer alan E_f ifadesi CFRP kumaşının kuru haldeki etkili elastisite modülü değeridir; t_f ifadesi CFRP tabakasının kalınlığıdır; D ise kolona ait göbek betonun çapıdır.

f_0 ikinci doğruya ait başlangıç gerilmesi olup (3.8) ifadesi ile hesaplanmaktadır.

$$f_o=0.85f_c+1.9f_r+6.89 \tag{3.8}$$

Burada f_r CFRP kumaşının sargılama basıncı olup (3.9) denklemi ile elde edilmektedir.

$$f_r=\frac{2f_f\ t_f}{D} \tag{3.9}$$

Burada yer alan f_f ise sargı malzemesinin numune etrafında oluşturduğu sargı gerilmesidir.

CFRP sargılı betona ait maksimum gerilme olan (f_{cu}) ve ona karşılık gelen birim deformasyon (e_{cu}) değerleri ise aşağıda verilen ifadelerle elde edilebilmektedir:

$$f_{cu}=f_c+6.14f_r^{0.75} \tag{3.10}$$

$$e_{cu}=\frac{f_{cu}-f_o}{E_2} \tag{3.11}$$

3.3.1.3. Çelik Lifli Beton için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli

Çalışmada, çelik lifli beton için Hsu ve Hsu (1994) tarafından önerilen ($\sigma-\varepsilon$) modeli kullanılmıştır. Modelde basınç altındaki lifli betonun davranışını tanımlayan, artan ve azalan kısımdan oluşan eğri iki farklı denklemle aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\sigma_c=\frac{n_1\beta\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)}{n_1\beta-1+\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^{n_1\beta}}f_c \qquad \left(0\le\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\le x_d\right) \tag{3.12}$$

$$\sigma_c=0.6\exp\left[-0.7\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}-x_d\right)^{0.8}\right]f_c \qquad \left(x_d\le\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right) \tag{3.13}$$

Burada n_1 ve β malzeme parametreleri olup n_1, malzeme dayanımına; β ise gerilme-birim deformasyon eğrisinin şekline bağlıdır. β parametresi (3.14) denkleminde verilen ifade ile de belirlenebilmekte olup değerleri karışımda bulunan çelik lif miktarının hacimsel oranına göre değişmektedir. Söz konusu

parametreler çalışmada, kullanılan lifin hacimsel oranı 0.75 olacak şekilde, β=2.65 ve n_1=1.00 olarak dikkate alınmıştır.

$$\beta = \frac{1}{\left(1-\frac{f_c}{\varepsilon_o E_c}\right)} \tag{3.14}$$

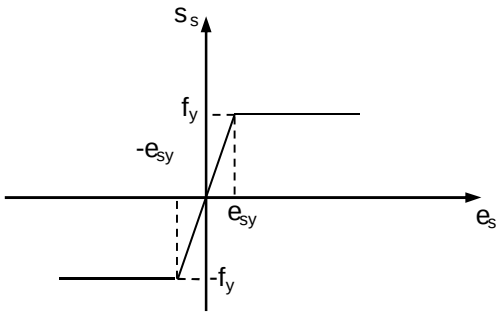
Yukarıda belirtilen ifadelerde yer alan σ_c değeri, beton basınç gerilmesini, f_c değeri ise maksimum beton basınç gerilmesine karşılık gelen gerilmeyi simgelemektedir. Bununla birlikte, ε_0 maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın değerini, x_d ise eğrinin azalan kısmını temsil eden bölümünde $0.6f_c$ gerilmesine karşılık gelen birim kısalma değerini temsil etmektedir. E_c ise eğrinin elastik kısmının eğimi olan betonun elastisite modülünü belirtmektedir.

3.3.2. Çelik için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli

Çalışmada donatı çeliği için çekme ve basınçta davranışın elasto-plastik olduğu $(\sigma - \varepsilon)$ modeli kullanılmaktadır.

Modelde, belli bir akma dayanımına kadar doğrusal olan $(\sigma - \varepsilon)$ eğrisi, akma noktasından sonra da deformasyon yapmakta ancak, oluşan bu deformasyonlar (uzamalar) kalıcı hale gelmektedir. Çeliğin bu davranışı "elasto-plastik davranış" olarak tanımlanmaktadır.

Davranışın akma sınırına kadar doğrusal olduğu ilk kısım elastik bölge olup buradaki doğrunun eğiminden çeliğin elastisite modülü elde edilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çelik için ($\sigma - \varepsilon$) modeli

Modelde davranışı tanımlayan denklem (3.15)'te verilmektedir.

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y \tag{3.15}$$

Burada E_s, çeliğin elastisite modülü olup değeri 1.9×10^5 MPa ile 2.1×10^5 MPa arasında değişebilmektedir. Betonarme hesaplarda ise çeliğin elastisite modülü genellikle 2×10^5 MPa olarak alınmaktadır.

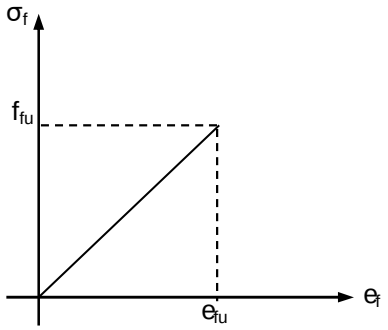
3.3.3. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Malzeme için Kullanılan Gerilme-Birim Deformasyon Modeli

Çekme altındaki karbon lifli polimer malzeme için kabul edilen ($\sigma - \varepsilon$) eğrisi malzemenin kopma anına kadar lineer elastik olup Şekil 3.4' te verilmektedir.

Verilen şekilde yer alan σ_f ve ε_f ifadeleri, CFRP' nin gerilme ve şekil değiştirme değerleri olup f_{fu} ve ε_{fu} ise malzemeye ait maksimum gerilme ve şekil değiştirme değerleridir.

Modele ait davranış (3.16) denklemi ile tanımlanmaktadır.

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_f \leq f_{fu} \qquad 0 \leq \varepsilon_f \leq \varepsilon_{fu} \tag{3.16}$$



Şekil 3.4. CFRP için ($\sigma - \varepsilon$) modeli

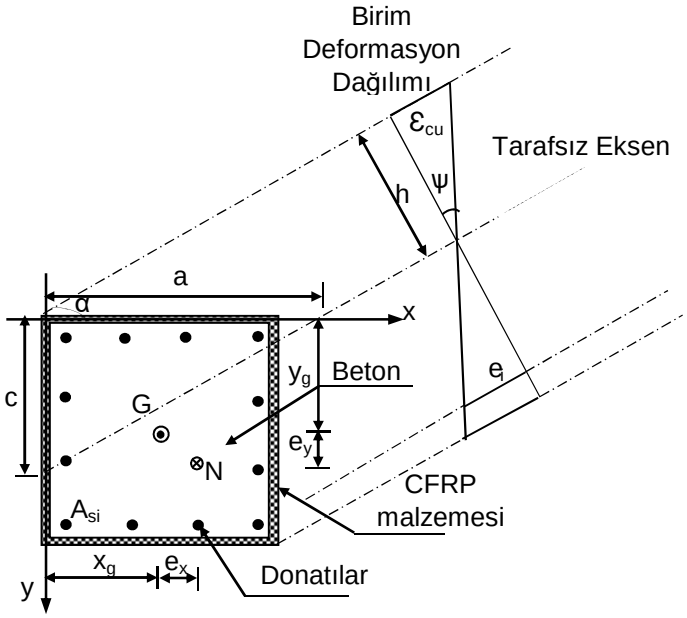
Burada E_f malzemeye ait elastisite modülü olup aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \tag{3.17}$$

3.4. Kesitte Oluşan Birim Deformasyonların Hesabı

İki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz CFRP sargılı kare kolon kesiti ve kesite ait olan birim deformasyon dağılımı Şekil 3.5' te görülmektedir.

Eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin, eğilmeden sonra da düzlem kaldığı varsayımına göre kesitte oluşan birim deformasyon dağılımı göz önüne alındığında, kesitte en çok zorlanan noktada oluşacak olan maksimum deformasyonun değeri ε_{cu} olmak üzere; deformasyon değerleri eğik oluşan tarafsız eksene göre doğrusal orantılı olarak değişiklik göstermektedir. Tarafsız eksen konumu seçilen x-y eksen takımına göre a ve c gibi iki parametre ile tanımlanmakta ve birim deformasyon dağılımı, söz konusu parametreler cinsinden ifade edilebilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. CFRP sargılı kare kolon kesiti ve birim deformasyon dağılımı

Kesitte oluşan birim deformasyon dağılımı ve benzer üçgenler kullanılarak, x-y eksen takımına göre kesitin herhangi bir (x_i, y_i) noktasındaki şekil değiştirmenin (ε_i) değeri, x-y ekseninin orijin noktasının tarafsız eksene yatay ve dikey mesafeleri olan (a ve c) parametrelerine bağlı olarak, denklem (3.18)'de verilen ifade ile belirlenebilmektedir (Tokgöz, 2006).

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{cu}\left(\frac{y_i}{c} + \frac{x_i}{a} - 1\right) \tag{3.18}$$

Yapılan çalışmada, beton basınç bölgesi, herhangi bir gerilme-birim deformasyon ilişkisi kullanmaya olanak sağlamak üzere tarafsız eksen konumuna paralel olarak şeritlere ayrılmaktadır. Her bir şeridin ağırlık merkezinde (3.18) ifadesi ile hesaplanan birim deformasyon değeri kullanılarak, beton için esas alınan ($\sigma - \varepsilon$) eğrisinden analizde yer alacak olan beton gerilmeleri elde edilebilmektedir

($\sigma=f(\varepsilon)$). Söz konusu şeritlerin alan ve ağırlık merkezi değerlerinin hesabında Tokgöz (2006) tarafından poligon kesit için önerilen ifadelerin uygulandığı bilgisayar programından faydalanılmıştır.

Karbon lifli polimer malzemenin mekanik özelliği nedeniyle basınç gerilmelerini karşılamadığı, sadece çekme gerilmelerine katkı sağladığı kabul edilmektedir. Bu durumda analizde CFRP malzemesi çekme bölgesinde tarafsız eksene paralel şeritlere ayrılarak her bir parçada oluşan birim deformasyonlar hesaplanmış ve onlara karşılık gelen çekme gerilmesi değerleri CFRP malzemeye ait verilen ($\sigma - \varepsilon$) eğrisi kullanılarak belirlenmiştir.

Gerek denklem (3.18)'de verilen ifadenin çıkarılışı; gerekse şeritlerin alan ve ağırlık merkezlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan poligon kesit özelliklerine ait formülasyon, Tokgöz (2006) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak sunulmaktadır.

ε_c betonda oluşan birim deformasyon değeri ve h maksimum basınç lifi ile tarafsız eksen arasındaki mesafe olarak tanımlanırsa kesitte oluşan eğrilik ise aşağıdaki ifade ile hesaplanabilmektedir.

$$y = \frac{e_c}{h} \tag{3.19}$$

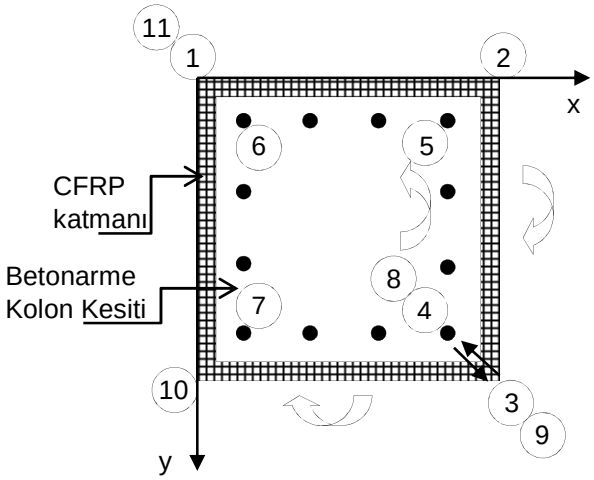
3.5. Tek veya Çift Kat CFRP Sargılı Kolon Kesiti Geometrik Özellikleri

Yapılan çalışmada analizler gerçekleştirilirken, Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında bulunan değişik geometriye sahip kolonların davranışının belirlenmesi için geliştirilmiş olan program, tek veya çift CFRP sargılı çelik lifli veya lifsiz, kolonların taşıma gücü hesabı için kullanıma uygun olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir.

Çalışma kapsamında, geometrik özellikleri bilinen ifadelerle kolaylıkla hesaplanabilecek olan kare kesitli tek veya çift kat CFRP sargılı kolonların davranışı ele alınmıştır. Ancak gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin hesabı için

tarafsız eksene paralel olarak şeritlere ayrılan beton basınç bölgesinde söz konusu şeritlerin geometrileri düzgün olmadığından hesaplamalarda poligonal kesit özelliklerinden yararlanılmıştır. Gerek poligonal kesit geometrik özelliklerinin gerekse birim deformasyonların ve ona bağlı olarak oluşacak olan gerilmelerin belirlenmesine yönelik ifadeler Tokgöz (2006) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir.

Sunulan çalışmada, Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından kolon analizi için önerilmiş olan yöntem ve yöntemi uygulayan bilgisayar programı, CFRP sargılı kolon analiz hesabını içerecek şekilde geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programında, kolon kesitinin geometrisine bağlı olarak koordinat değeri veri girişinin, tek veya çift kat CFRP sargılı kolon kesitlerinde uygulaması Şekil 3.6' da şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.6. Tek veya çift kat CFRP sargılı kolon kesitine ait koordinat tanımı

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere koordinat tanımı yapılırken; söz konusu sargısız kesit istenilen yönde kapalı bir şekil oluşana kadar 1, 2, 3, ..., i-1, i, i+1, ..., n şeklinde numaralandırılır. CFRP sargılı kesitte ise koordinat tanımında CFRP tabakasının varlığı da tanımlamada göz önünde bulundurularak, kesitte adeta

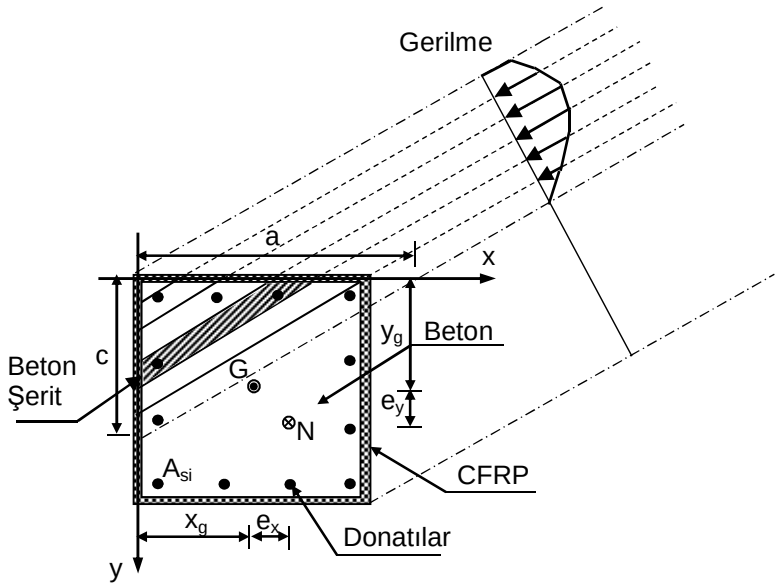
boşluk varmış gibi düşünülüp, kesit içindeki dönüş yönü, kesit dışındaki dönüş yönüne göre ters yönde alınarak numaralandırma yapılır ve yapılan numaralandırmaya göre koordinatlar belirlenir.

Tanımlanan CFRP kumaşının tabaka sayısı, çift kat CFRP sargılı durumda, tek kat CFRP sargılı duruma göre, hesaplama için tanımlanacak olan koordinatların değerini, üst üste gelen CFRP kumaşlarının kalınlıkları kadar değiştirecektir. Dolayısı ile her iki sargı durumunda da koordinat tanımlaması Şekil 3.6' da görüldüğü gibi yapılmaktadır.

3.6. Denge Denklemleri

Problemin formülasyonunda, beton basınç bölgesi tarafsız eksen konumuna paralel olarak şeritlere ayrılmakta ve her bir şeridin ağırlık merkezinde (3.18) denklemi ile hesaplanan birim deformasyonlar ile beton için seçilen gerilme-birim deformasyon ilişkisi kullanılarak gerilme değerleri belirlenmektedir. Benzer şekilde kesitin çekme ve basınç bölgesinde bulunan donatılar için de gerilme değerleri çelik için seçilen gerilme-birim deformasyon ilişkisinden elde edilmektedir. CFRP malzemesinin ise sadece çekme gerilmelerinin oluşumunu sağladığı varsayılarak çekme bölgesinde hesaplanan şekil değiştirme değerleri ile malzeme için seçilen gerilme-birim deformasyon modelinden malzemeye ait gerilme değerleri belirlenmektedir.

Şekil 3.7' de görülen CFRP sargılı kolon kesitine e_x ve e_y dış merkezliği ile eksenel kuvvet (N) etki etmekte ve seçilen x-y eksen takımına göre kesitin ağırlık merkezinin (G) koordinatları x_g ve y_g olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.7. CFRP sargılı kolon kesiti gerilme dağılımı

Burada statik dengenin sağlanabilmesi için CFRP sargılı kesitin içinde oluşan eksenel kuvvet ve kuvvetin uygulandığı eksantrisite nedeniyle kesitin x ve y eksenleri yönünde oluşan eğilme momenti değerlerinin, kesite statik olarak dışarıdan uygulanan eksenel kuvvet ve yükün uygulandığı eksantrisiteden doğan eğilme momentlerine eşit olması gerekmektedir.

Kesitin içinde oluşacak olan eksenel kuvvet ve momentler betonda, donatı çeliğinde ve CFRP kumaşında meydana gelen kuvvet, gerilme ve şekil değiştirmelerin ortak etkisiyle aşağıda verilen denge denklemleri kullanılarak hesaplanacaktır:

$$f_1 = \sum_k^t \overline{A_{ck}}\,\sigma_{ck} - \frac{A_{st}}{n}\sum_i^n \sigma_{si} - \sum_l^m A_{fp}\sigma_{fp} - N_i = 0 \qquad (3.20)$$

$$f_2 = \frac{A_{st}}{n}\sum_i^n \left(y_i - y_g\right)\sigma_{si} - \sum_k^t \overline{A_{ck}}\,\sigma_{ck}\left(\overline{y_{ck}} - y_g\right) - \sum_l^m A_{fp}\sigma_{fp}\left(y_{fp} - y_g\right) - M_{ix} = 0 \qquad (3.21)$$

$$f_3 = \frac{A_{st}}{n}\sum_{i}^{n}\left(x_i - x_g\right)s_{si} - \sum_{k}^{t}\overline{A_{ck}}s_{ck}\left(\overline{x_{ck}} - x_g\right) - \sum_{l}^{m}A_{fp}s_{fp}\left(x_{fp} - x_g\right) - M_{iy} = 0 \qquad (3.22)$$

Denklem (3.20-3.22)'de verilen ifadeler yazılırken; basınç kuvvetleri pozitif, çekme kuvvetleri negatif alınmıştır. Söz konusu ifadelerde, A_{st}, kesitteki toplam donatı alanını; σ_{ck}, beton basınç bölgesinin *k*'ncı şeridinin ağırlık merkezinde hesaplanan beton basınç gerilmesi; $\overline{A_{ck}}$ ve ($\overline{x_{ck}}$, $\overline{y_{ck}}$), *k*'ncı şeridin alanını ve ağırlık merkezinin koordinatlarını; t, beton basınç bölgesi şerit sayısını; σ_{si}, *i*'nci donatının gerilmesini; x_i ve y_i, *i*'nci donatının koordinatlarını göstermektedir. Ayrıca, A_{fp} CFRP kumaşı alanını, σ_{fp} oluşan gerilmeyi, (x_{fp}, y_{fp}) kumaşın koordinatlarını temsil etmektedir.

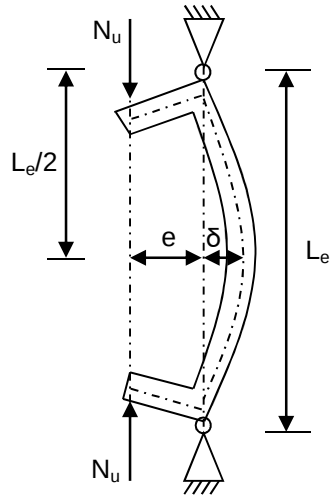
CFRP sargılı kolon taşıma gücü analizinde, Denklem (3.21) ve Denklem (3.22) ifadeleri Newton-Raphson iteratif yöntemi kullanılarak (Dündar ve Şahin, 1993) çözüm yapılmakta ve tarafsız eksenin yerini tanımlayan a ve c parametreleri elde edilebilmektedir. Analitik olarak kolonların taşıyabileceği maksimum eksenel kuvvetin değeri ise aşağıda verilen ifade ile hesaplanmaktadır.

$$N_u = \sum_{k}^{t}\overline{A_{ck}}s_{ck} - \frac{A_{st}}{n}\sum_{i}^{n}s_{si} - \sum_{l}^{m}A_{fp}s_{fp} \qquad (3.23)$$

3.7. Narinlik Etkisi

Narinlik, betonarme yapılarda mevcut bulunan kolon elemanlarının kesit boyutlarının, boylarına oranla küçük olması nedeniyle ortaya çıkan bir davranış biçimidir. Eğilme etkisine maruz narin bir kolonda, oluşan deformasyon sonucunda ilave bir moment meydana gelmektedir. İkinci mertebe momenti olarak adlandırılan bu ilave moment N(δ) mertebesindedir ve genellikle kolon ortasında maksimum olmaktadır (Şekil 3.8).

$$M_{max} = N_u(e) + N_u(\delta) \quad (3.24)$$



Şekil 3.8. Eksantrik yüklemeye maruz bir kolonun deformasyonu

İkinci mertebe momentler çoğunlukla ihmal edilemeyecek boyutta olduklarından hesaplarda mutlaka dikkate alınmaları gerekir. Bu nedenle kolonlarda meydana gelen deformasyon değerlerinin de doğru olarak saptanması önemli olmaktadır.

CFRP sargılı kolon kesitinde oluşan eksenel kuvvet ve buna bağlı deformasyonların hesabında, narin kolonların hesabı için Rangan (1990) tarafından önerilen "Stabilite Analizi Yöntemi" kullanılmıştır.

Yöntemde, eksantrik yük etkisi altında eğilmiş olan iki ucu mafsallı bir kolonda meydana gelen eğrinin denklemi bir sinüs fonksiyonu şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$u(x) = \delta Sin\left(\frac{\pi x}{L_e}\right) \quad (3.25)$$

Kolonun orta noktasında oluşan eğrilik ise (3.25) ifadesinin ikinci mertebe türevi alınarak aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\varphi = \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{\pi^2}{L_e{}^2} \mathrm{Sin}\left(\frac{\pi x}{L_e}\right) \tag{3.26}$$

Kolonun orta bölgesinde x ve y yönlerinde meydana gelecek olan deplasman değerleri ($x = y = \frac{L_e}{2}$) alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Burada, L_e kolon etkili boyudur.

$$\delta_x = \varphi_x \frac{L_e{}^2}{\pi^2} \qquad \delta_y = \varphi_y \frac{L_e{}^2}{\pi^2} \tag{3.27}$$

Buna göre yine kesitin ortasında meydana gelen momentler ise aşağıda verilen ifadeler kullanılarak elde edilmektedir.

$$M_{ux} = N_u\left(e_y + \delta_y\right) \qquad M_{uy} = N_u(e_x + \delta_x) \tag{3.28}$$

3.8. Bilgisayar Programı

Çalışmada; CFRP sargılı, çelik lifli ve lifsiz, narin betonarme kolonların analizlerinde, daha önce Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz betonarme kolonların analizi için önerilen Fortran dilindeki bilgisayar programı yeniden düzenlenerek kullanılmıştır.

Program genel olarak; genel bilgiler, poligon kesit bilgileri ve donatı bilgileri bölümlerinden oluşmaktadır. Genel bilgiler bölümünde; kullanılacak modele ait birim deformasyon değerleri, malzeme dayanımları, kesite etki eden eksantrisite değerleri, iterasyon başlangıç değerleri, beton ve donatı için kabul edilen gerilme-birim deformasyon ilişkisine ait kodlama yer almaktadır. Poligon kesit bilgileri bölümünde; kolon kesitinin köşe noktalarının koordinatları seçilen x-

y eksen takımına göre girilmektedir. Donatı bilgileri bölümünde; her bir sırada bulunan donatı sayısı belirtilerek, sıranın başlangıç ve sonundaki donatıların x-y eksen takımına göre koordinatları tanımlanmakta, ara donatılar için ise program tarafından türetme yapılarak tüm donatıların koordinatları belirlenmiş olmaktadır. Program çözümü sonrasında elde edilen sonuçlar bir çıktı dosyasına yazdırılmakta; kesit, donatılar ve tarafsız eksenin konumu ekrana çizdirilmektedir (Tokgöz, 2006).

Programa öncelikle beton, donatı ve CFRP malzeme özellikleri girilir. Sonra yükün numuneye uygulanacağı eksantrisite değerleri (e_x, e_y) ile iterasyon başlangıcı için tarafsız eksenin tahmini değerleri (a ve c) girilir. CFRP sargılı, çelik lifli veya sargısız ve lifsiz beton için ve donatı için hesaplamalarda kullanılacak olan gerilme-birim deformasyon modellerine ait kod numaraları girilir. Beton basınç bölgesinin kaç şeride ayrılacağı da belirtilir. Sonra poligon köşe noktaları yani ilgili kolon kesitine ait koordinatlar girilir. Son olarak kesitte bulunan donatılara ait koordinatlarda girilir ve çözüm için gerekli iterasyon başlar. Önce şeritlerin alan hesabı ve beton, donatı ve CFRP malzemesinde oluşacak olan gerilmelerin hesabı yapılır. Sonra denge denklemleri oluşturulur ve eğer denklemler sağlanıyorsa sonuç ekrana yazdırılır, kesit ve tarafsız eksen çizilir. Eğer denklemler sağlanmıyorsa, iterasyon için yeni bir başlangıç değeri seçilerek hesaplamalara geri dönülür.

4. BETONARME KOLON DENEY ÇALIŞMALARI

4.1. Giriş

Bu bölümde, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında iki ucu mafsallı olarak teste tabi tutulan çelik lifli ve lifsiz, karbon lifli polimer sargılı ve sargısız, yüksek dayanımlı beton kullanılarak imal edilmiş toplam 16 adet narin betonarme kolonun deneysel çalışması sunulmaktadır.

Çalışmada, karbon lifli polimer malzeme sargısının iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz kolonların davranışları ve taşıma gücü kapasiteleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu amaçla, test edilen kolonlara özel olarak hazırlanan başlıklarla düşey doğrultuda her iki eksen yönünde eksantrisite yaratacak şekilde kısa süreli yüklemeler uygulanmakta ve bu yüklemeler altında elemanların taşıma gücü kapasiteleri ile yük-deplasman ilişkileri elde edilmektedir.

Hazırlanan deney numuneleri aynı boy, kesit ve donatı özelliklerine sahip olacak şekilde imal edilmiş olup üretimleri aşamasında C1 ve C2 olarak adlandırılan iki farklı beton karışımı kullanılmıştır. Hazırlanan her karışım çelik lif içeren ve içermeyen iki karışıma ayrılmıştır. Çelik lif içeren karışımlar SF (steel fiber) rumuzu kullanılarak simgelenmiştir. Deney çalışmasında değişken tutulan başlıca parametreler ise aşağıda verilmektedir;

- Betonun silindir basınç dayanımı (f_c)
- Uygulanan yükün eksantrisite değerleri (e_x, e_y)
- Kullanılan karbon lifli polimer (CFRP) malzeme sargı katmanı sayısı

Deneyde CFRP sargılı ve sargısız tüm numuneler, her iki ekseni yönünde belirlenen eksantrisite değeri uygulanarak yaklaşık 1 kN/sn değerindeki yükleme hızında test edilmektedir. Yükleme sırasında belirli artımlara okunan yük değerleri

ile o yük değerlerine karşılık numunelerin orta bölgelerinde meydana gelen deplasmanlar, deplasman ölçerler (LVDT) kullanılarak bilgisayar ortamında kaydedilmektedir. Bu şekilde oluşturulan datalar kullanılarak numunelere ait yük-deplasman eğrileri elde edilmektedir.

Deneylerde karbon lifli polimer sargılı olmayan, sade beton ile üretilen kolon numuneler, numunenin basınç bölgesindeki betonda ezilme ve çekme bölgesindeki betonda çatlamaların oluşması ile taşıma gücüne ulaşmaktadır. Söz konusu numune taşıma gücüne ulaştıktan sonra, numuneye uygulanan yük hızla azalırken deplasmanlar bir süre daha artış göstermektedir. Taşıma gücüne ulaşan numunede çelik liflerin bulunması ise numunenin taşıma gücüne ulaştıktan sonra azalan yükler altında deformasyonunun artmasını yani daha sünek davranmasını sağlamaktadır.

Karbon lifli polimer sargılı kolon numunelerinde ise kırılma çekme bölgesindeki liflerin ani bir şekilde kopması ile yine kolon orta bölgesinde meydana gelmektedir. Sargısız numunelere oranla kıyaslandığında; sargılı numunelerin yük etkisinde daha sünek bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir.

Yapılan deneylerde taşıma gücüne ulaşan kolon numunelerinde meydana gelen kırılmanın, genel olarak numunenin başlık kısımlarında değil, gövde ortasında veya gövde ortasına oldukça yakın olan bölgelerinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durum, numunelerin kendilerinden beklenen davranışa uygun şekilde davrandıklarını göstermektedir.

4.2. Deney Numuneleri

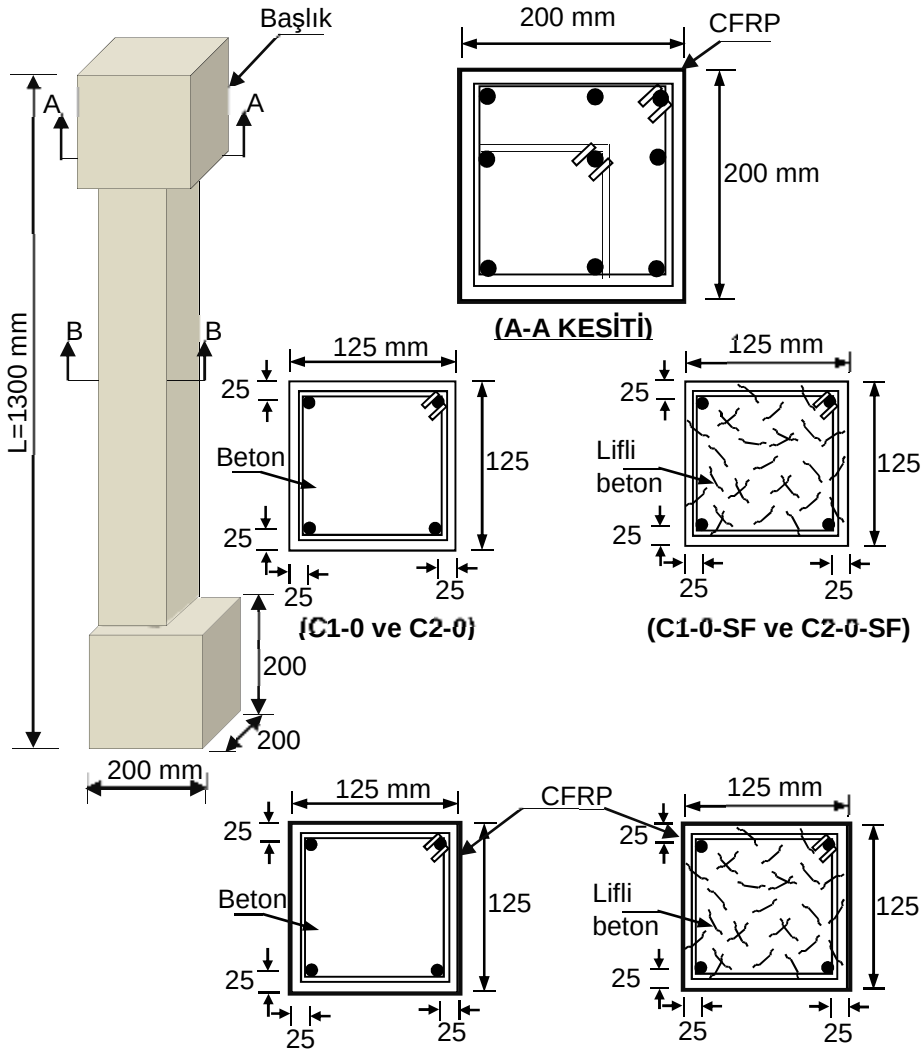
Çalışma kapsamında, kare kesitli, çelik lifli ve lifsiz, CFRP sargılı ve sargısız, toplam 16 adet narin betonarme kolon numune, yüksek dayanımlı beton kullanılarak laboratuvar ortamında imal edilmiştir.

Numunelerin üretiminde iki farklı beton karışımı planlanmış olup planlanan her bir karışım için çelik lif kullanılan ikinci bir alt karışım oluşturulmuştur.

Hazırlanan her karışımdan 4 adet numune oluşturulmuş olup sırasıyla 0, I,II ve III rakamları ile simgelenmiştir. Buna göre ilk karışımdan oluşturulan kolonlar için C1-0, C1-I, C1-II, C1-III; ilk karışımın liflisi kullanılarak oluşturulan kolonlar için C1-0-SF, C1-I-SF, C1-II-SF, C1-III-SF rumuzları kullanılmıştır. Benzer şekilde ikinci karışımdan oluşturulan kolonlar için C2-0, C2-I, C2-II, C2-III ve ikinci karışımın liflisi olan son karışım kullanılarak oluşturulan kolonlar için de C2-0-SF, C2-I-SF, C2-II-SF ve C2-III-SF rumuzları kullanılmıştır. Bu rumuzlarda yer alan 0 rakamı numunenin sargısız olduğunu temsil etmekte olup I rakamı tek kat CFRP sargılı, II rakamı ise çift kat CFRP sargılı olduğunu belirtmektedir. III rakamı ise yine çift kat CFRP sargısını temsil etmekte olup numuneye uygulanacak eksantrisite değerinin gruptaki diğer üç numuneden farklı olduğunu simgelemektedir.

C1 ve C1-SF gruplarında yer alan 0-I ve II rumuzlu numuneler 4 cm eksantrisite ile III rumuzlu numuneler ise 5 cm eksantrisite ile yüklemeye tabi tutulmuştur. III rumuzlu numuneler II kodlu numuneler gibi çift kat CFRP malzemesi ile sarılmıştır. Sadece yükün uygulandığı eksantrisite değerleri farklıdır. Bunun yapılmasında ki amaç; eksantrisitenin arttırılması durumunda kolon taşıma gücünün ne kadar değiştiğinin belirlenmesidir. Aynı şekilde C2 ve C2-SF gruplarındaki 0-I ve II rumuzlu numuneler 5 cm eksantrisite ile III rumuzlu numuneler de 6 cm eksantrisite değeri ile test edilmiştir.

Bahsedilen kolonlar, toplam yüksekliği 1300 mm, gövde genişliği 125 mm ve her iki ucunda (200x200) mm^2 kesit alanlı 200 mm yüksekliğinde güçlendirilmiş başlıklar olacak şekilde tasarlanmıştır. Yük etkisi altında kolon uç kısımlarında oluşacak gerilmelerin bu bölgelerde olası bir tahribata yol açmasını önlemek amacıyla başlık kısımları etriyeler ve U demirleri kullanılarak güçlendirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kolon numunelerine ait detay ve kesitler

4.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlanışı

Deneysel çalışma için hazırlanan numunelerde kullanılan malzemeler aşağıda verilmektedir:

- Yüksek dayanımlı beton
- Normal nervürlü inşaat demiri
- Soğukta çekilmiş nervürlü inşaat demiri
- Çelik lif
- Karbon lifli polimer (CFRP) malzeme

4.3.1. Beton

Günümüzde betonarme yapılarda kullanılan betonun basınç dayanımı, yapıların dış yükler altında sergileyecekleri davranış ve mukavemet bakımından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Yapım aşamasında projede öngörülenden düşük dayanımda kullanılan beton, özelikle yapıdaki düşey taşıyıcı elemanların eksenel yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti taşıma kapasitelerini ve sünekliklerini büyük ölçüde azaltmaktadır. Aynı şekilde yüksek katlı bazı betonarme yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı beton, yük etkisi altında düşey taşıyıcı elemanların daha gevrek davranmasına ve taşıma gücüne ulaştıkları anda aniden kırılmalarına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu tarz elemanların sünekliklerini arttırmak için ekstra önlemler alınması gerekmektedir.

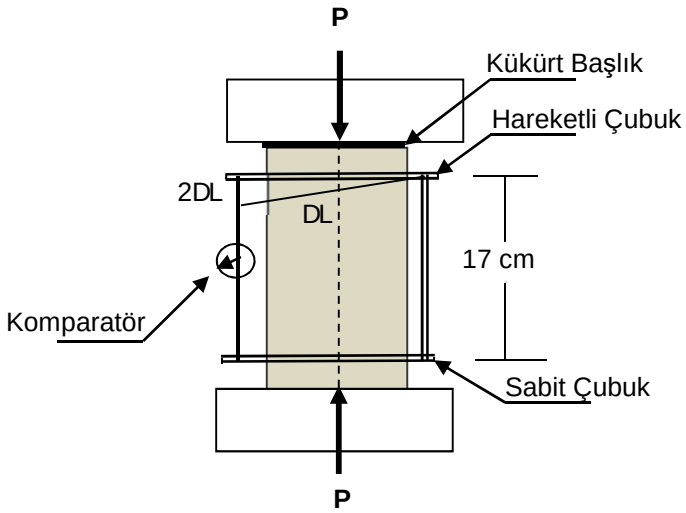
Betonarme elemanların davranış ve mukavemetleri bakımından önemli bir etken olan betonun basınç dayanımı (f_c), Türk Standartları tarafından kabul edilen, çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan standart silindir numunelerinin eksenel basınç altında test edilmesiyle elde edilmektedir.

Çalışma kapsamında hazırlanan kolon numunelerinin dayanımlarının belirlenmesinde kullanılan standart basınç deney aletinin ve numunelere ait prese

yerleştirilmiş olan bir silindir numunenin temsili görüntüsü ile şematik görüntüsü sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' te verilmektedir.



Şekil 4.2. Standart Basınç Deney aleti ve deney numunesi



Şekil 4.3. Standart Basınç Deney düzeneğine yerleştirilmiş silindir numune detayı

Söz konusu numuneye ait betonun basınç dayanımı değeri, ekseni yönünde basınca tabi tutulan silindir numuneye etki eden yükün maksimum değerinin, silindirin kesit alanına bölünmesi ile belirlenmektedir. Ayrıca, test sırasında silindir

numune üzerine yerleştirilen ve deplasman okumayı sağlayan bir aparat (komparatör) sayesinde yük etkisi altında elemanda oluşan kısalmaların ölçülmesi sağlanarak numuneye ait gerilme-birim deformasyon ilişkisi elde edilebilmektedir.

Numunelere ait beton karışımlarında PÇ42.5 dayanımlı çimento, elenmiş yıkanmış nitelikte, çapları 0-10 mm ve 10-20 mm aralığında değişiklik gösteren kum çakıl malzemesi, su ve kimyasal katkı malzemeleri kullanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Beton karışımlarında kullanılan kum-çakıl ve çimento malzemesi

Çelik lifli karışımlarda ise; boyu 35 mm, çapı 0.55 mm ve yoğunluğu 7850 kg/m^3 olan RC 65/35 BN kodlu çelik lif malzemesi kullanılmıştır. Liflerin kullanılan karışımlardaki hacimsel oranı ise 0.75 değerinde alınmıştır.

Şekil 4.5’ te numune betonu dökümünde kullanılan malzemeler, numune kalıbı ve donatısı, beton mikseri ve silindir numunelerin sıkıştırılması için kullanılan sarsma tablası görülmektedir.



Şekil 4.5. Beton dökümü öncesi hazırlıklar

Çizelge 4.1' de hazırlanan numunelerin 1 m^3 beton karışımı içindeki ağırlıkça malzeme değerleri ve içerdikleri lif miktarı bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Numunelere ait 1 m^3 beton karışımı ağırlık değerleri

Malzeme	C1	C1-SF	C2	C2-SF
Çakıl (kg)	1120	1110	1100	1090
Kum (kg)	725	720	640	630
Çimento (kg)	400	400	400	400
Su (l)	150	150	120	120
Kimyasal (kg)	5	5	15	15
Lif (kg)	-	50	-	60

Her bir kolon numunesi için, hazırlanan beton karışımlarından, numunelere ait beton basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla, 3'er adet silindir numune alınarak kür edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Numunelere ait beton karışımlarından örnek silindir numunelerin alınışı

Kolon numunelerinin iki eksenli eğilme ve eksenel basınç testine tabi tutulduğu gün, numunelere ait silindir numuneler de, daha sonra analizde kullanılacak olan silindir basınç dayanım değerinin belirlenmesi ve numuneye ait beton gerilme-birim deformasyon ilişkilerinin deneysel olarak elde edilmesi amacıyla beton basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Bu şekilde deneysel olarak belirlenen gerilme-birim deformasyon ilişkileri Ek-4' te grafiksel olarak sunulmaktadır.

Çizelge 4.2' de kolon numunelerine ait beton döküm tarihi, numunelere ait beton karışımlarından alınan silindir numunelerin basınç dayanımı testi tarihi ve analizlerde kullanmak üzere deneysel olarak elde edilen ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Kolon numunelerine ait beton döküm-basınç dayanımı testi tarihleri ile elde edilen ortalama basınç dayanımı değerleri

Numune No	Beton Döküm Tarihi	Standart Basınç Deneyi Tarihi	Ortalama Basınç Dayanımı f_c (MPa)
C1-0	10.03.2014	18.07.2014	64.66
C1-I	17.03.2014	03.12.2014	58.98
C1-II	24.03.2014	11.12.2014	57.72
C1-III	31.03.2014	16.02.2015	61.34
C1-0-SF	07.04.2014	13.08.2014	65.20
C1-I-SF	14.04.2014	17.12.2014	65.31
C1-II-SF	21.04.2014	25.12.2014	67.59
C1-III-SF	28.04.2014	16.02.2015	65.48
C2-0	05.05.2014	18.07.2014	76.76
C2-I	12.05.2014	02.02.2015	74.87
C2-II	25.06.2014	02.02.2015	61.91
C2-III	14.07.2014	19.02.2015	63.62
C2-0-SF	19.08.2014	12.02.2015	64.37
C2-I-SF	26.08.2014	09.02.2015	63.30
C2-II-SF	02.09.2014	09.02.2015	53.13
C2-III-SF	09.09.2014	19.02.2015	57.53

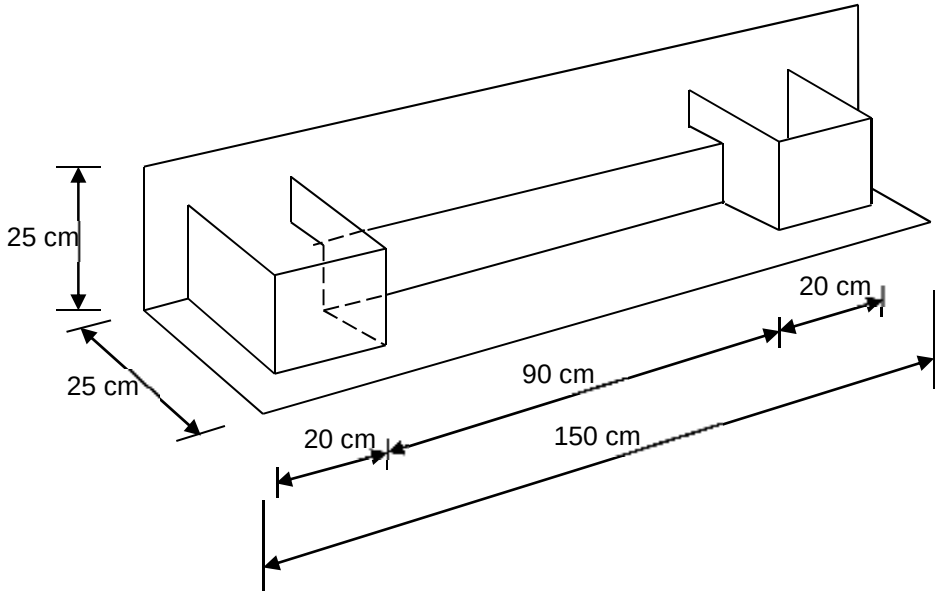
4.3.2. Numune Kalıbı

Donatı düzeni öngörülen şekle uygun biçimde hazırlanan kolon numuneleri, her yönünde yaklaşık 1.5'ar cm paspayı bırakılacak şekilde sac malzemeden özel olarak üretilmiş olan numune kalıbına yerleştirilmiştir (Şekil 4.7).

Numunelerin hazırlığında kullanılan kalıbın et kalınlığı 5 mm olup kalıp detayı Şekil 4.8' de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 4.7. Beton dökümüne hazır hale getirilmiş kolon kalıbı görüntüsü



Şekil 4.8. Kolon numune kalıbı detayı

Betonun kalıba yapışmasını önlemek için kalıp, her beton dökümünden önce özenle yağlanmış ve özellikle numunenin başlık kısımlarının kalıptan kolayca

çıkmasını sağlamak amacıyla da başlıklardaki kenar kısımlara yağlanmış ince plaka levhalar yerleştirilmiştir. Her numune için ayrı ayrı hazırlanan beton karışımları kalıba uygun şekilde dökülmüş ve vibratör vasıtasıyla sıkıştırılarak ilk prizini alması için bırakılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Dökülen kolon numune betonu

4.3.3. Donatı

Hazırlanan numunelerde Adana Yeni Sasaş Demir San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilen akma dayanımı 550 MPa olan 8 mm çapında normal nervürlü donatı ile akma dayanımı 630 MPa olan 6 mm çapında soğukta çekilmiş nervürlü donatı kullanılmıştır.

Kesiti kare şeklinde olan tüm kolon numuneleri için kolonun her bir köşesinde birer adet olacak şekilde 8 mm çapında toplamda dört adet boyuna donatı kullanılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Kolon numunelerinin hazırlanmasında kullanılan boyuna donatılar

Ayrıca, kullanılan boyuna donatıların kuşatılması ve aynı zamanda kolon numunelerinde yeterli sargı etkisinin sağlanması amacıyla, uçları 135° kancalı olarak tasarlanan belli aralıklarla düzenlenmiş 6 mm çapındaki etriyeler kullanılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kolon numunelerinin hazırlanmasında kullanılan etriyeler ve U demirleri

Numunelere ait özel olarak güçlendirilerek hazırlanan başlık kısımlarında ise, yük etkisi altında oluşacak olan kırılmanın, gerilmelerin en fazla olduğu bu uç kısımlarda meydana gelmesini önlemek amacıyla, 6 mm çapındaki U demirler ve

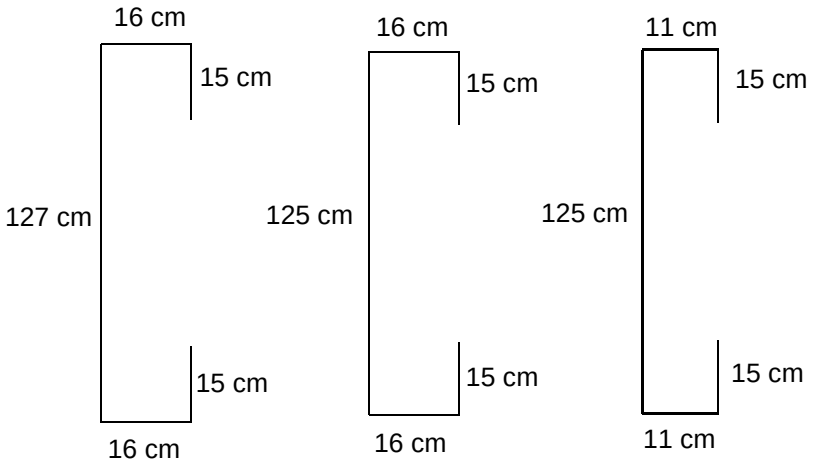
atölyede uçları 90° bükülerek hazırlanan firketeler ile uygun aralıklarla düzenlenen etriyeler kullanılmıştır (Şekil 4.12).



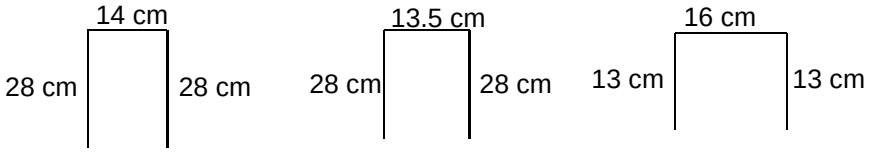
Şekil 4.12. U demirlerin bükülerek firkete yapılması

Başlıklarda her iki yönde bulunacak şekilde tasarlanan firketeler, yükün uygulama noktasının ötesine geçecek şekilde düzenlenmiş ve oluşacak olan kesme kuvveti etkisini karşılamak üzere de başlık uzunluğu boyunca sık etriye uygulanmıştır.

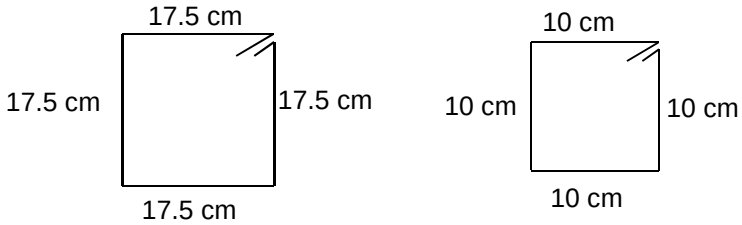
Kolon numunelerinde kullanılan donatı, etriye ve U demirlerine ait detaylar Şekil 4.13’ te yer almaktadır.



a) ϕ8- Nervürlü Boyuna Donatı



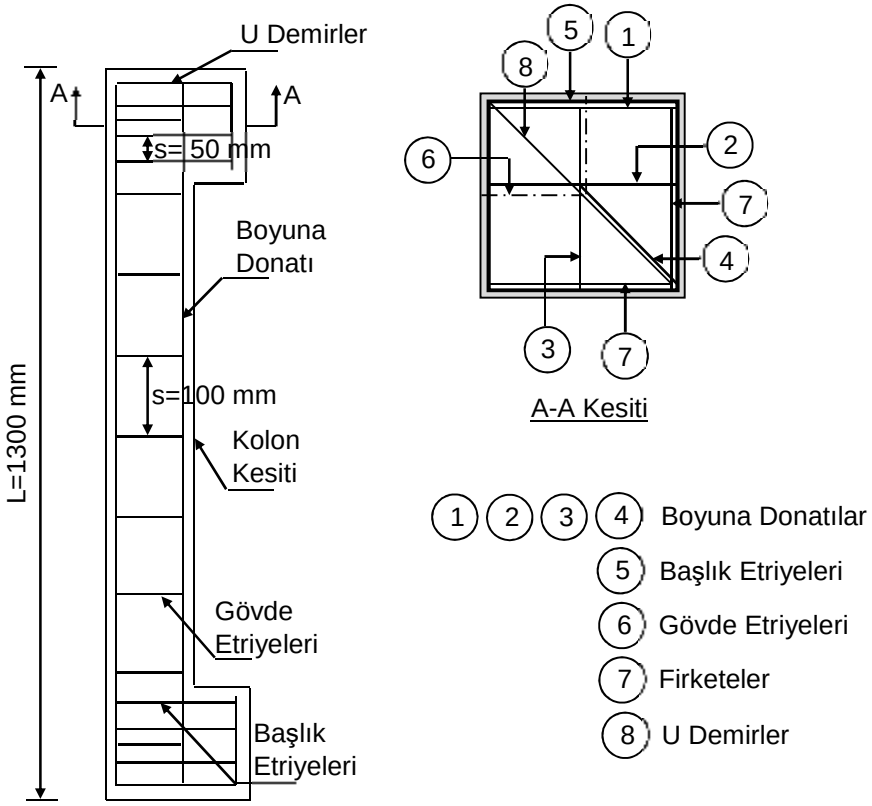
b) ϕ6- Firketeler ve U Demirler



c) ϕ6- Etriyeler

Şekil 4.13. Kolon numunelerinde kullanılan donatılar ve boyutları

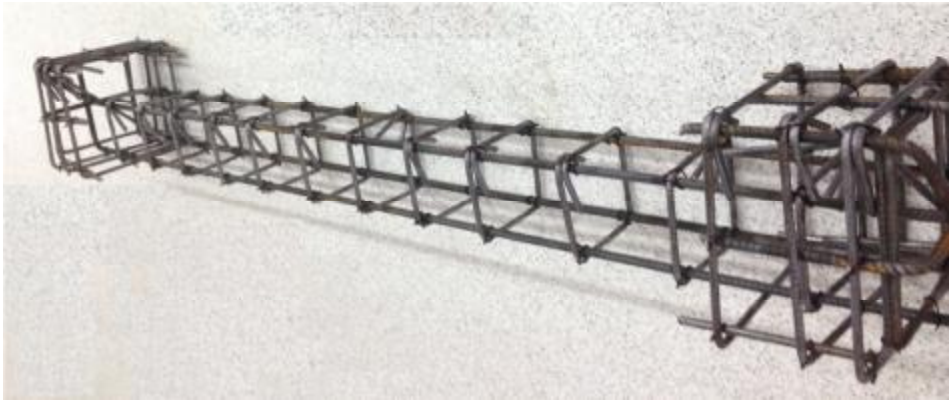
Kolon numunelerine ait donatı yerleşim planı ve başlık kesiti donatı yerleşim detayı Şekil 4.14-4.17' de görülmektedir.



Şekil 4.14. Kolon numunelerinde uygulanan donatı yerleşimi ve başlık kesiti donatı düzeni



Şekil 4.15. Başlık donatısı yerleşimi



Şekil 4.16. Hazırlanan kolon numune donatı düzeni



Şekil 4.17. Beton dökümü için hazırlanan kolon numunelerine ait donatı düzeni

4.3.4. Karbon Lifli Polimer (CFRP) Malzeme

Son yıllarda lifli polimer malzemelerin betonarme kolonlarda güçlendirme ve onarım amaçlı olarak kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle de deprem etkisi altındaki kolonlarda lifli polimer malzeme ile yapılan sargılama, kolonların yanal rijitlik ve yanal yük kapasitesinde fazla bir artışa neden olmaksızın, yer değiştirme yapmalarına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, sargılama bakımından yetersiz olan betonarme kolonların özellikle de plastik mafsal bölgelerinin güçlendirilmesinde lifli polimer malzemelerin kullanılması oldukça etkili bir yöntemdir.

Ülkemizdeki mevcut betonarme yapıların çoğu yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip değildir. Bu yüzden mevcut betonarme yapıların güçlendirilebilmesi için FRP (lifli polimer) malzemesi kolaylıkla kullanılabilmektedir. Bu malzemeler düşük ağırlıklı, yüksek mukavemetli, korozyona dayanıklı, mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından yüksek değerlere sahip olan malzemelerdir. FRP malzemeleri, tek yönlü plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilebilmekte ve karbon (CFRP), aramid (AFRP), cam (GFRP) gibi çeşitli maddelerden oluşmaktadırlar.

Bugüne kadar bilinen yapı malzemeleri içinde çekme dayanımı en yüksek malzeme karbon elyaftır (CFRP) (Özgen ve Mutlu, 2005). Çelik ile karşılaştırıldığında yoğunluğu çeliğin çok altında, elastisite modülü-yoğunluk oranı ise çeliğin çok üstündedir. Karbon elyaf genellikle çelikten yaklaşık 15 kat daha yüksek dayanıma sahip olup, 4 kat daha hafiftir. Çekme dayanımlarının yüksek olması ve hafiflikleri nedeniyle çoğu uygulamada metallerin yerini almaya başlamışlardır. Isıl genleşme açısından da çeliğe göre elverişli durumdadır (Özgen ve Mutlu, 2005).

CFRP (karbon lifli polimer) malzemeleri kolon, kiriş, döşeme ve duvarların taşıma kapasitelerini arttırmak için genellikle plakalar halinde uygulanabildiği gibi, tek yönlü veya iki yönlü kumaş ile sargılama şeklinde de uygulanabilmektedir. Kesiti düzgün olmayan yapı elemanlarının

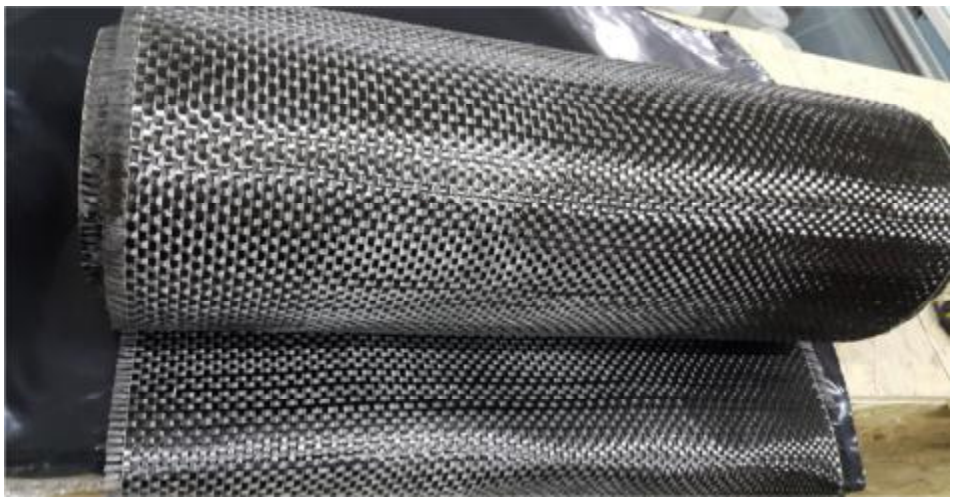
güçlendirilmesinde de CFRP kumaşların sargılama şeklinde kullanımı tercih edilmektedir.

Ayrıca özellikle yüksek katlı yapılarda, köprülerde veya bazı endüstriyel yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı betonarme kolonların, sargı ve süneklik kapasitesinin arttırılmasını sağladığı için de CFRP kumaşlarının kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Lifli polimerlerin bir türü olan karbon fiber polimer (CFRP) malzeme, betonu mükemmel bir şekilde sardığından, göbek betonun parçalanmasını önlemekte, kolonların sargı kapasitesini, deformasyon yapma özelliğini ve taşıma gücü kapasitesi arttırmakta, buna ek olarak da özellikle de narin olan kolonların burkulmasını büyük oranda engellemektedir.

Yapılan bu doktora çalışmasında, karbon lifli polimer sargılı yüksek dayanımlı betonarme kolonların hazırlanması ve eksantrik yük etkisi altında test edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, yüksek dayanımlı beton kullanılarak toplam da 16 adet kolon numune hazırlanmış ve hazırlanan numunelerden 12 adedi, uygun bir epoksi reçine karışımı yardımıyla tek veya çift kat karbon lifli polimer malzeme ile sarılmıştır. Kolon numunelerinin sarılmasında kullanılan bu malzeme, çift yönde lif içerdiğinden her iki doğrultuda da kolonların sargı kapasitesinin artması sağlanmıştır. Sargılamada kullanılan CFRP katman sayısı değiştirilerek; tek kat CFRP sargılı, sargısız, çift kat CFRP sargılı durumlar için kolonların taşıma gücü kapasitelerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Ayrıca, karbon lifli polimer kumaş sargısının yüksek dayanımlı betonarme kolonların burkulma davranışına olan etkileri de incelenmiştir.

Hazırlanmış olan kolon numuneler karbon lifli polimer malzeme ile sarılmadan önce, numunelerin kenar ve köşe kısımları bir çekiç yardımıyla düzgünleştirilmiş ve fazlalıklardan arındırılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri de zımparalanarak giderilmiştir. Ayrıca kolonun keskin kenarları törpülenerek yumuşatılmış ve sargı malzemesinin yapıştırılması için uygun bir kenar yarıçapı oluşması sağlanmıştır.

Numunelerin sarılmasında çift yönde lif içeren Sika Wrap Hex 300C 0/90 olarak adlandırılan karbon lifli polimer malzeme ile Sikadur-330 isimli epoksi yapıştırıcısı kullanılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Numunelerin sarılmasında kullanılan karbon lifli polimer malzeme

Betonarme, tuğla ve ahşap gibi çeşitli yapı elemanlarının eğilmede ve kesmede yük taşıma kapasitelerini arttırmak için kullanılan bu çift doğrultulu karbon lifli elyaf sayesinde;

- Sismik yükler altında oluşabilecek hasarların engellenmesi,
- Kaza veya terör etkisiyle çarpma ve patlama gibi etkilerin azaltılması,
- Yığma duvarların sismik performanslarının ve genel olarak kullanıldıkları yapı elemanlarının mevcut yükler altında servis kapasitelerinin arttırılması amaçlanmaktadır.

Dokuma uzunluğu 50 m, dokuma genişliği 600 mm olan, karton kutu ambalajında rulo halinde temin edilen Sika Wrap Hex 300C 0/90 isimli çift yönlü karbon elyaf malzemesi, uygulandığı elemanların hem eğilme hem de kesme

dayanımlarını arttırmaktadır. Ürünün birim ağırlığı 300 g/m^2, lif yoğunluğu 1.79 g/cm^3 ve lif kalınlığı 0.166 mm olup çekme dayanımı 3900 N/mm^2, çekme elastisite modülü 230000 N/mm^2 ve kopma uzaması %1.5 değerindedir.

Ürünün beton yüzeye uygulanmasında Sikadur 330 isimli epoksi yapıştırıcısının kullanımı önerilmektedir. Yapıştırıcının ürüne ilk kat uygulanmasında (1-1.4 kg/m^2), ikinci kat uygulanmasında ise (0.5-0.8 kg/m^2) değerinde hazırlanması standartlarca belirtilmektedir. Ayrıca ürün yüzeye uygulanmadan önce, yüzeyin pürüzlülüğünün giderilmesi, gerekiyorsa zımparalama işleminin yapılması ve sivri kenar köşelerin çapı 20 mm'den büyük olacak şekilde yuvarlatılması, herhangi bir boşluk oluşması durumunda ise bu kısımların da Sikadur yapıştırıcı malzemesi ile doldurulması önerilmektedir.

Özelliklerinden bahsedilen, söz konusu karbon lifli polimer malzeme, hazırlanan kolon numunelerinin bir bütün halinde kolaylıkla sarılabilmesi için numune boyutlarına uygun olacak şekilde, numunenin gövde ve başlık kısımları için ayrı ayrı parçalar halinde kesilerek sargılamaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. CFRP malzemesinin kolon numunelerin sarılması için hazırlanışı

Önce, hazırlanan kolon numunelerin yüksekliklerinde kesilen, 130 cm uzunluğunda ve 60 cm eninde olan kumaş, sonra ise başlık kısımları için 90 cm

uzunluğunda ve 20'şer cm eninde iki parça halinde kesilmiş olan kumaş kolonlara sırasıyla sarılarak uygulanmıştır.

Numunelerin sarılmasında yapıştırıcı olarak kullanılan karışımın hazırlanmasında, 1 m^3'lük hacim için yaklaşık 1.1 kg'lık yapıştırıcı ve bunun ¼'ü oranında aktifleştirici madde kullanımı öngörülmüştür (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kolon numunelerinin sarılmasında kullanılan epoksi reçine karışımı

Numunelerin zımparalanıp sarılmaya hazır hale getirilmesinden sonra özellikle kolon numunelerinin köşe kısımlarında oluşan girinti ve çıkıntılar, numunenin hacmine uygun şekilde hazırlanan yapıştırıcı karışım ile doldurulmuş ve kalan karışımın tamamı, yüzeyde yaklaşık 2 mm kalınlığında bir harç oluşana kadar tüm kolon boyunca bir fırça veya rulo yardımıyla sürülmüştür. Sürme işlemi bittiğinde çok fazla beklemeden, kolona uygun boyutlarda kesilmiş olan CFRP malzemesi, kolonun basınç yüzünde birleşecek şekilde her iki taraftan 5'er cm' lik bindirme payları bırakılarak kolon etrafına tamamen sarılmıştır. Son olarak başlık kısımları içinde ayrı bir parça kesilerek sargının kolon boyunca bir bütün olması sağlanmıştır.

Çift kat CFRP uygulamasında ise ilk kat sargısı yapıldıktan hemen sonra hazırlanan yapıştırıcının yarısı oranındaki yapıştırıcı karışımı ilk katın üzerine sürülmüş ve ikinci kat uygulanmıştır. Gövde iki kat CFRP ile kaplandıktan sonra her iki başlık yine tek bir kat parça ile sarılmıştır. Bu şekilde hazırlanan numuneler bir hafta boyunca kurumaya bırakılmıştır.

Sargılı kolon numunelerinin karbon lifli polimer malzeme ile sarılma aşamaları Şekil 4.21' de görülen fotoğraflarda detaylı bir şekilde yer almaktadır.



Şekil 4.21. CFRP sargılı kolon numunelerinin hazırlanışı

4.4. Deney Düzeneği ve Deneyde Kullanılan Aletler

Hazırlanan kolon numunelerinin iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test edilmesi amacıyla daha önceden uygun şekilde takviyeler yapılarak modifiye edilmiş ve gerçekte eğilmeye maruz elemanların testi için tasarlanmış olan HI-TECH MAGNUS marka çelik çerçeve sistemi yükleme çerçevesi olarak kullanılmıştır.

Gerçekte çerçevenin kenar dikmeleri arasındaki açıklık uzun doğrultuda 4.6 m, kısa doğrultuda ise 60 cm olup çerçeve yüksekliği 2.4 m'dir. Mevcut

çerçevenin kenarından 1 m uzaklığa düşey iki profil yerleştirilmiş ve kolon numunelerinin testi için uygun bir alan oluşması sağlanmıştır. Ardından çerçevenin 60 cm'lik kısa kenarında yer alan düşey profillerine ve kenara 1 m uzaklıkta yeni oluşturulan düşey profillere karşılıklı olarak iki adet U-300 profili yine düşey yönde takviye edilmiştir. Ayrıca çerçevenin narinliğini önlemek ve yükleme sırasında kendi düzlemi içinde meydana gelebilecek olan yanal deformasyonları engellemek amacıyla 100x16 mm kesitli çelik diyagonal elemanlar, düşey profillerin tümüne karşılıklı bağlantı elemanı olarak ilave edilmiştir. Bu şekilde mevcut çerçeve içerisinde 1 m açıklığında, 60 cm genişliğinde ve 2.4 m yüksekliğinde bir eksenel basınç testi yükleme çerçevesi oluşturulmuştur (Tokgöz, 2006).

130 cm yüksekliğindeki kolon numunelerinin testi ve numunelerden kirişlere yük aktarımının sağlanması için, oluşturulan 1 m açıklığındaki çerçeve sisteminin alt tarafına, çelik plaka sistemi; üst tarafına ise hidrolik silindir sistemi ilave edilmiştir (Tokgöz, 2006).

Deney aleti daha önce Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri tarafından SAP2000 paket programı kullanılarak test edilmiş ve deney aletinin maksimum 400 kN değerindeki eksenel yüke kadar güvenli olduğu sonucuna varılmıştır (Tokgöz, 2006).

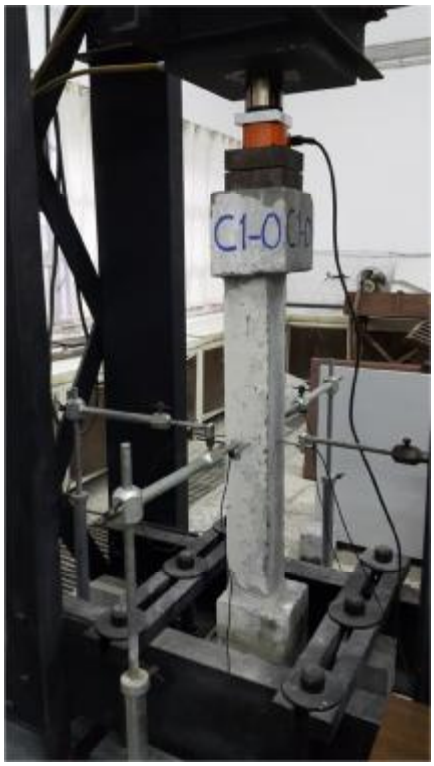
Deneysel çalışma kapsamında, deney yapım aşamasında kullanılan başlıca aletler ise aşağıda verilmektedir.

- Load cell (Yük ölçer)
- LVDT (Deplasman ölçer)
- Çelik ayaklar
- Yükleme plakası ve bilye
- Hidrolik silindir, pompa ve motor
- ADU aleti, ADU yazılımı ve bilgisayar

- Portable Data Logger
- Kamera

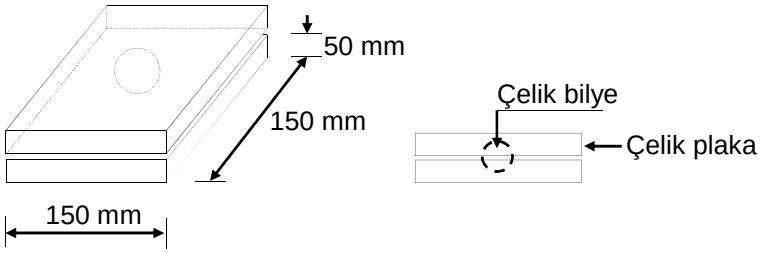
İki eksenli eğilme ve eksenel yük altında test edilecek olan kolon numunelerine yükün istenilen eksantrisite uygulanarak noktasal şekilde etki etmesini sağlamak amacıyla kolon alt ve üst başlık kısımlarına bilyeli çelik yük plakaları yerleştirilmiştir.

Yükleme çerçevesine yerleştirilmiş olan bir kolon numunesine ait Şekil 4.22' de verilen fotoğrafta, numunenin başlık kısmındaki yükleme plakaları net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.22. Yükleme çerçevesine yerleştirilmiş deney numunesi

Bu şekilde kolon numunelerin alt ve üst başlık kısımlarına yerleştirilen çelik plakalar, 150x150x50 mm boyutlarında olup plakaların merkezlerine yerleştirilen ve yükün numuneye noktasal biçimde uygulanmasını sağlayan bilyelerin çapı 30 mm'dir. Söz konusu plaka ve bilyelerin detayı ise Şekil 4.23' te verilmektedir.



Şekil 4.23. Yükleme plakası detay ve kesiti

Deney sırasında elemana uygulanan yükün belirlenmesi için 50 tf kapasiteli CLE-50-A tipinde, LU2028 seri numaralı Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd firması tarafından üretilmiş olan Load Cell (yük ölçer) kullanılmıştır.

Şekil 4.24' te verilen fotoğrafta kolon numunesinin başlık kısmında yükleme plakalarının üzerinde yer alan ve yükleme çerçevesinden numuneye etkitilecek olan yükün değerini ölçmekte kullanılacak olan yük ölçer net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.24. Kolon numunesi başlık detayı

İki eksenli eğilme ve eksenel yük etkisi altında teste tabi tutulan kolon numunelerinin orta bölgelerinde iki yönde eğrilik ve dolayısıyla her iki yönde de yanal deplasman oluşmaktadır. Oluşacak olan bu deplasmanların belirlenmesi için transducer adı verilen mekanik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada ELE firması tarafından üretilmiş olan, toplamda dört adet 10 mm kapasiteli deplasman ölçer kullanılmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. 10 mm kapasiteli deplasman ölçer

Yük etkisi altında numunenin orta bölgesinde oluşacak olan yanal deplasmanları ölçen söz konusu deplasman ölçerler, numune için özel olarak hazırlatılan ayaklı ve yükseklik ayarlı çelik sehpaların uçlarına monte edilerek numunenin dört bir tarafına, orta kısımlara denk gelecek şekilde, uygulanmışlardır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Deplasman ölçerlerin (LVDT) deney numunesine yerleşimi

Deney sırasında, numuneye uygulanan eksenel yüke karşılık gelen deplasmanları okumak ve yük-deplasman datalarını elde edebilmek için ELE firması tarafından üretilen ADU Data Logger aleti, ADU yazılımı ve bilgisayardan faydalanılmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Deney düzeneği, ADU aleti, bilgisayar ve data logger

Sekiz kanallı olarak tasarlanan ADU aletinin bir mikro bilgisayara bağlanarak geliştirilmiş olan yazılımı sayesinde, deney sırasında Load Cell ve Transducer tarafından okunan yük ve deplasmanların zamana bağlı olarak bilgisayara aktarımı sağlanmaktadır. Böylece kolon testi sırasında yüklemenin başlangıcından numunenin göçme anına kadar tüm yük ve deplasman değerleri elde edilmiş olmaktadır (Tokgöz, 2006).

Deney sırasında uygulanan yük değerlerinin ölçümünde ve kolon taşıma gücü kapasitesi değerinin belirlenmesinde kullanılan 50 tf kapasiteli yük ölçer, Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. firması tarafından üretilen Portable Data Logger (Şekil 4.28) aletine bağlanarak, deneyin her aşamasında oluşan yük değerlerinin kamera ile kaydedilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 4.28.Portable data logger

Kolon numunelerine yükün uygulanabilmesi için Enerpac marka bir hidrolik silindir kullanılmıştır. Hidrolik silindir, yükü, kollu yük pompası sistemi ile elemana aktarabildiği gibi motorla çalışan bir sistemle de aktarabilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada numunelere yük aktarımı kollu yük pompası ile Şekil 4.29' da görülen hidrolik silindir kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.29. Kollu ve motorlu hidrolik silindir

4.5. Deneyin Yapılışı

Çelik lifli ve lifsiz şekilde hazırlanan kare kesitli sargısız ve CFRP sargılı betonarme kolon numuneleri Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda bulunan HI-TECH MAGNUS marka yükleme çerçevesi kullanılarak eksenel basınç ve iki eksenli eğilme altında test edilmiştir.

Hazırlanan tüm kolon numuneleri bir vinç vasıtasıyla deney aletine düşey konumda olacak şekilde yerleştirilmiş ve belirli bir yükleme hızında eksenel yönde yüklemeye tabi tutulmuştur.

Test edilen kolon numuneleri eksantrik olarak yüklendiğinden, numuneler deney aletine yerleştirilirken, numuneye uygulanacak olan yükün eksantrisite değerinin numunenin alt ve üst başlık kısımlarında aynı değerde olabilmesi ve yükün numuneye aynı düşey doğrultuda düzgün bir şekilde iletilebilmesi için numunenin her iki başlık kısmına, uygulanacak olan eksantrisite değerine uygun olacak şekilde yükleme plakaları ve bilyeler yerleştirilmektedir.

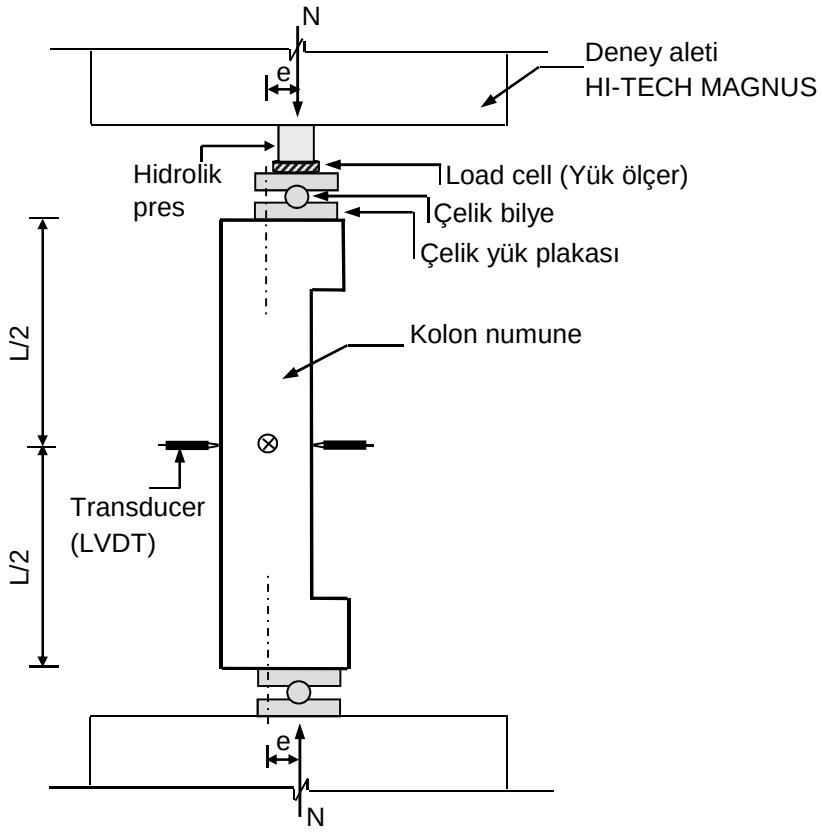
Öncelikle kolona uygulanacak olan eksantrisite değeri göz önüne alınarak numunenin alt başlık kısmına plakanın üst parçası uygun bir epoksi yapıştırıcısı ile yapıştırılmaktadır. Yapıştırılan parça tamamen sağlam şekilde numuneye birleştiğinde, numune deney aletine, plakanın alt parçasının ve tam plakanın ortasında bulunan bilyenin üzerine gelecek şekilde yerleştirilmektedir.

Daha sonra numunenin düşey dengesi sağlanmakta ve numunenin üst başlık kısmına da alt kısımla aynı eksantrisite değerini sağlayacak şekilde, önce plakanın alt parçası sonra bilye ve plakanın üst parçası konulmakta ve üzerine de Portable Data Logger aletine bağlı olan Load Cell (yük ölçer) yerleştirilerek hidrolik presle bir miktar yük uygulanarak; numunenin sıkıştırılarak sabitlenmesi sağlanmaktadır.

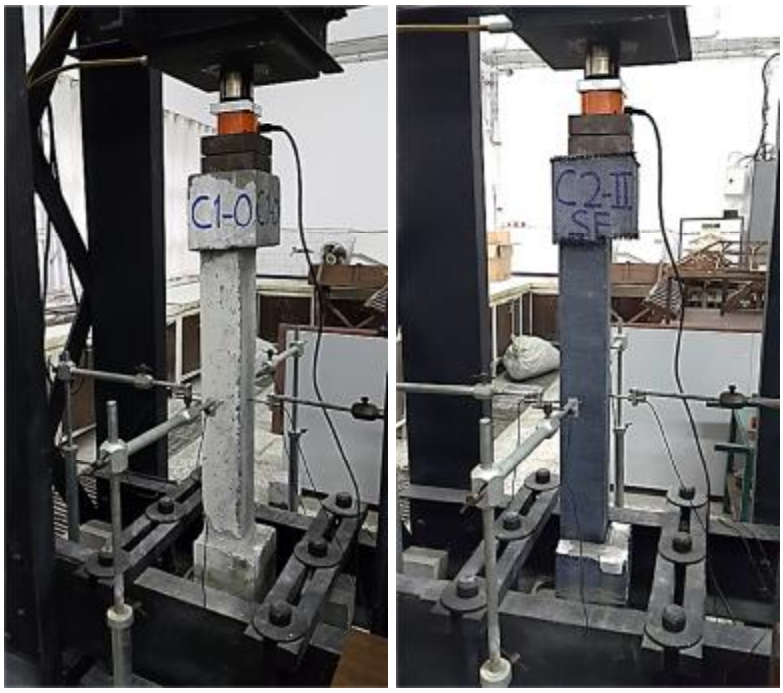
Bu şekilde her iki ucunda da aynı eksantrisite değerinin oluşması sağlanan kolon numuneleri, eksenel basınç ve iki eksenli eğilme altında kontrollü bir biçimde teste tabi tutulmaktadır.

Test sırasında numunelere uygulanan yüke karşılık gelen yanal deplasmanları okumak için numune ortasına denk gelecek şekilde, dört yüzeyinde tam ortasına dört farklı yönde deplasman ölçerler (LVDT) konumlandırılmaktadır. Her uçta 10 mm' lik deplasman okunmasını sağlayan dört adet LVDT, özel olarak hazırlanan çelik sehpaların uçlarına bağlanarak numunenin her bir yüzüne (+x), (+y), (-x), (-y) yönündeki deplasmanları belirlemek amacıyla yerleştirilmektedir.

Bu şekilde teste hazır hale getirilen deney numunelerine ait deney düzeneği ve numune yerleşimi detayları Şekil 4.30 ve 4.31' de verilmektedir.



Şekil 4.30. Deney düzeneği ve numune yerleşimi detayı



Şekil 4.31. Sargısız ve CFRP sargılı kolon numune deney düzeneği

Hazırlanan kolon numuneler elemanların yük taşıma gücü kapasitelerinin, yük-deplasman eğrilerinin ve karbon lifli polimer malzeme sargısının kolon davranışı üzerine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla seçilen eksantrisite değerlerinde yüklemeye tabi tutulmuştur.

Yüklemeler 1 kN/sn artımlarla numunelere verilerek ortaya çıkacak olan yük-yanal deplasman eğrilerinin gerçek davranışı daha uygun ve daha düzgün bir şekilde yansıtması sağlanmıştır. Deney boyunca gerek yüklemedeki artım gerekse her iki eksen (x ve y) yönünde oluşan yanal deplasmanlar zamana bağlı olarak ADU data logger aleti ve yazılımı sayesinde bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.

4.6. Numunelerin Göçme Biçimleri

Çalışmanın bu kısmında, yapılan doktora tezi kapsamında ele alınan, eksenel yük ve iki eksenli eğilme altında test edilen kolon numunelerine ait deney sırasında elde edilen gözlemlere ve artan yük etkisinde taşıma gücüne ulaşan numunelerin göçme anlarına ait detaylara ayrıntılı bir şekilde yer verilecektir.

4.6.1. C1-0 Numunesi

C1-0 adı verilen yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlanan kolon numune, maksimum yüke ulaşıldıktan kısa bir süre sonra aniden kırılmıştır. Kırılma, başlık ve gövde ortası arasında bir yerde gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Ayrıca kırılma anında betonun basınç bölgesinde ezilmeler ve çekme bölgesinde düzgün yayılı çatlakların oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 4.32).

Numunenin hazırlanmasında kullanılan beton yüksek dayanımlı olduğu için yük maksimum seviyeye ulaştığı anda, elemanın daha fazla deplasman yapmasına izin vermeyerek basınç bölgesindeki betonun ezilip parçalanması sonucu numunenin ani bir şekilde kırılmasına neden olmuştur.

Deney sonucunda numuneden elde edilen sonuçlar ve yapılan gözlemler doğrultusunda, davranışın iyileştirilebilmesi adına bir yorumda bulunacak olunursa;

- Numunenin bu şekilde gevrek kırılmasını önlemek ve maksimum yükten sonra bir süre daha deplasman yapmasını sağlamak, başka bir deyişle söz konusu elemanın sünekliğini arttırmak amacıyla, betona belli oranda çelik lif ilave edilebilir.
- Numunenin burkulmasını önlemek ve oluşacak olan eğriliği azaltmak için numune karbon lifli polimer malzeme ile sarılabilir.



Şekil 4.32. C1-0 numunesi göçme anı

4.6.2. C1-I Numunesi

C1-0 numunesi ile aynı karışımdan oluşturulan, tek kat CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilen C1-I adlı numunenin, sadece gövde kısmı sarılmış, başlık kısımları ise sarılmamıştır.

Yapılan deney sırasında numune maksimum yüke ulaştıktan sonra, beton da maksimum birim kısalma değerine ulaşmış ve bu noktadan sonra CFRP malzemesinin devreye girmesi ile tek kat CFRP sargılı gövde kısmı oldukça rijit davranarak numunenin yük taşımaya devam etmesini sağlamıştır. Önce numune gövdesi boyunca çatlamalar oluşmaya başlamış sonra ise çekme bölgesindeki liflerde kopmalar meydana gelmiştir. Bu kopmalar maksimum yükten sonra daha da artmış ve duyulan çıtırtı sesleri daha da yükselmeye başlamıştır. Bu esnada gövde ortasında betonun ezilmesine bağlı olarak dışarıdan bakıldığında

görülebilecek şekilde girinti ve çıkıntılar meydana gelmiştir. Maksimum yüke ulaşıldıktan sonra yine yüklemeye devam edilmiş ve bunun sonucu olarak da zayıf olan kolon başlık bölgesi ile CFRP sarılarak güçlendirilen gövde bölgesinin birleşim yerine çok yakın bir yerde kırılmanın oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 4.33).

Başlık ve gövde arasındaki bu rijitlik farkının giderilebilmesi için başlık kısımlarının da CFRP malzemesi ile sarılmasına karar verilmiştir. Yapılan gözlemler doğrultusunda CFRP katkısının numunenin yük taşıma kapasitesini arttırdığı ve oluşacak olan burkulmayı azalttığı sonucuna varılmıştır.

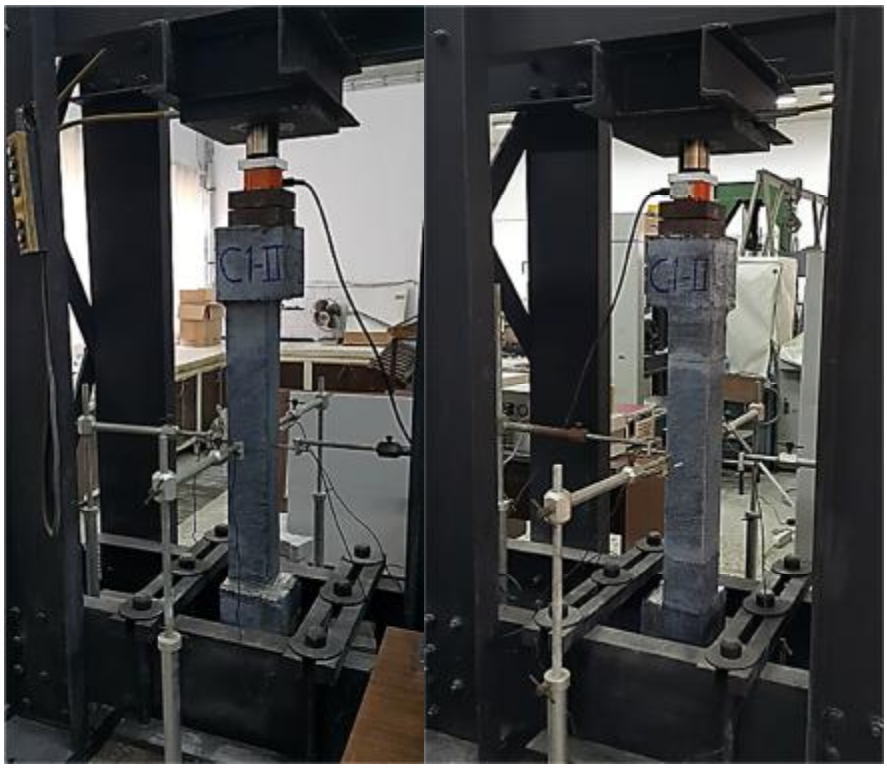


Şekil 4.33. C1-I numunesi göçme anı

4.6.3. C1-II Numunesi

C1-0 numunesi ile aynı karışımdan oluşturulan, çift kat CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmiş olan C1-II adlı numunede, artan yük etkisinde çatlamaların oluşumu gözlenmiş ve başlık ile gövde arasında ki bir yerde betonun çekme bölgesindeki liflerin kopması ile numune taşıma gücüne ulaşıldığı saptanmıştır (Şekil 4.34).

Yapılan deney sonucunda çift kat CFRP sargısının tek kat CFRP sargılı duruma kıyasla numunenin eksenel yük taşıma kapasitesini, dolayısıyla da yük etkisi altındaki dayanımını çok daha fazla arttırdığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.34. C1-II numunesi göçme anı

4.6.4. C1-III Numunesi

C1-0 numunesi ile aynı karışımdan oluşturulan, C1-II numunesi gibi çift kat CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilen C1-III adlı numune, yükün uygulandığı eksantrisite değeri 1 cm kadar arttırılarak test edilmiştir.

Artan yük etkisi ile birlikte ortaya çıkan çıtırtı seslerinden, numunede çatlakların oluştuğu ve CFRP liflerinin kopmaya başladığı anlaşılmıştır. Maksimum yüke ulaşıldığında ise çekme bölgesindeki liflerin yüksek bir sesle aniden koparak yırtıldığı gözlenmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. C1-III numunesi göçme anı

Yapılan deney sonucunda maksimum yüke ulaşıldıktan sonra CFRP' nin, elemanın deformasyonuna az da olsa katkı sağladığı ancak; eleman yüksek dayanımlı betondan imal edildiği için kırılmanın yine ani bir şekilde olduğu

belirlenmiştir. Buradan CFRP sargısının elemanın deformasyonuna katkısının fazla olmadığı, sadece elemanın eksenel yük taşıma kapasitesinin bir miktar daha artmasına olanak sağladığı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca C1-II numunesi ile kıyaslandığında, artan eksantrisitenin elemanın taşıyabileceği maksimum eksenel yükün değerini azalttığı saptanmıştır.

4.6.5. C1-0-SF Numunesi

İlk karışıma belli oranda çelik lif ilavesi ile oluşturulan ikinci karışımdan imal edilen C1-0-SF adlı numune sargısız olarak test edilmiştir.

Numunede artan yük etkisi ile çekme bölgesinde çatlaklar oluşmuştur. Maksimum yüke ulaşıldığı anda ise numune kolon orta bölgesinde basınç yüzeyinde meydana gelen ezilmeler sonucunda kırılmıştır. Oluşan maksimum deplasman kolon ortasında gözlenmiştir (Şekil 4.36).

Yapılan deney sonucunda, kolonun üretimi sırasında betona ilave edilen çelik liflerin elemanın taşıma gücüne katkı sağlamadığı, sadece elemanın sünekliğini arttırdığı, yani daha az bir yük değerinde bile olsa bir süre daha deplasman yapmaya devam etmesini sağladığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.36. C1-0-SF numunesi göçme anı

4.6.6. C1-I-SF Numunesi

C1-0-SF numunesinin tek kat CFRP sarılarak güçlendirilmiş hali olan C1-I-SF numunesinde, yük etkisi altında betonun çekme bölgesinde üniform olarak yayılan çatlakların oluşturduğu çıkıntılar, basınç bölgesinde ise ezilmelerden kaynaklanan girintiler gözlenmiştir. Yük arttıkça çekme bölgesindeki liflerin daha fazla zorlanması ile bu bölgede ufak çapta kopmalar meydana gelmiş ve maksimum yüke ulaşıldıktan sonra da bu kopmalar bir süre daha devam ederek kolonun tam orta bölgesinde yüksek bir sesle oluşan CFRP malzemesinin aniden kopmasıyla numune taşıma gücüne ulaşmıştır. Numunenin içeriğinde bulunan çelik liflerin etkisi ile maksimum yüke ulaşıldıktan sonrada numunede oluşan deformasyonlar kaydedilebilmiş ve eğilmenin beklenen şekilde tam olarak kesitin ortasında meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. C1-I-SF numunesi göçme anı

Yapılan deney sonucunda betona ilave edilen çelik liflerin, elemanın sünekliğine katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

4.6.7. C1-II-SF Numunesi

C1-0-SF numunesinin çift kat CFRP sarılarak güçlendirilmiş hali olan C1-II-SF numunesinde de C1-I-SF numunesine benzer şekilde çekme bölgesinde çatlamalar nedeniyle çıkıntılar, basınç bölgesinde ezilmeler nedeniyle girintiler gözlenmiştir. Maksimum yüke ulaşıldığında ise CFRP kopmaları duyulmuştur. Numunenin taşıyabildiği yükün değeri azaldıkça bu kopmaların sesi de yükselmeye başlamıştır. Yine numunenin içeriğinde bulunan çelik liflerin katkısı ile numune deplasman yapmaya devam etmiş ve ani lif kopması sonucunda tam orta kısmında kırılma meydana gelmiştir (Şekil 4.38).

Deney sırasında yük kaldırıldığında numunenin eski haline dönmeye çalışması dikkat çekmiştir. Bunun nedeni, CFRP malzemesinin yük etkisi altında sergilediği davranışın kopma anına kadar lineer elastik bir özelliğe sahip olmasıdır.

Yapılan deney sonucunda çift kat CFRP sargısının kolonun taşıyabileceği maksimum yükü, tek kat CFRP sargısına kıyasla daha fazla arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.38. C1-II-SF numunesi göçme anı

4.6.8. C1-III-SF Numunesi

C1-II-SF numunesi gibi çift kat CFRP ile sarılı olan C1-III-SF adı verilen numune, eksantrisite değeri 1 cm kadar arttırılarak teste tabi tutulmuştur.

Kırılma C1-II-SF numunesine benzer şekilde gerçekleşmiş, sadece artan eksantrisite nedeniyle, elemanın taşıma gücü C1-II-SF numunesine kıyasla azalma göstermiştir. Ancak gerek içerisinde bulunan çelik lifler etkisi ile gerekse CFRP' nin sağladığı yanal sargı nedeniyle, numune yük etkisinde oldukça sünek bir davranış sergilemiştir. Yine yükleme kaldırıldığında numunenin eski haline dönmeye çalıştığı ve bunun neticesinde numunede oluşan deplasmanın bir miktarının geriye döndüğü belirgin bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. C1-III-SF numunesi göçme anı

4.6.9. C2-0 Numunesi

C2-0 adı verilen, su-çimento oranı azaltılarak hazırlanan ikinci karışımdan imal edilen numune, C1-0 numunesine kıyasla çok daha gevrek bir şekilde kırılmıştır. Kırılma yine başlık ile gövde ortası arasında oluşmuştur. Bu bölgede beton sıyrılmış, donatıda ise bir miktar burkulma gözlenmiştir. Bununla birlikte beton basınç bölgesinde ezilmeler, çekme bölgesinde ise kolon ortasından başlıklara doğru yayılan çatlaklar görülmüştür (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. C2-0 numunesi göçme anı

4.6.10.C2-I Numunesi

C2-0 numunesinin tek kat CFRP sargılı hali olan C2-I numunesinde FRP liflerinin etkisi ile maksimum yüke ulaşıldıktan sonra bir süre daha deplasman okuması alınabilmiştir. Ancak yine de kırılma gevrek bir şekilde CFRP lifinin aniden kopması ile gerçekleşmiştir (Şekil 4.41).

C2 kodu ile isimlendirilen numunelerde kullanılan eksantrisite değeri C1 ile isimlendirilen numunelerden 1 cm daha fazla olduğundan artan eksantrisiteye bağlı olarak bu numunelerin eksenel yük taşıma kapasiteleri bir miktar azalmıştır.



Şekil 4.41. C2-I numunesi göçme anı

4.6.11.C2-II Numunesi

C2-0 numunesinin çift kat CFRP sargılı hali olan C2-II numunesinde numunenin taşıyabileceği eksenel yükün maksimum değeri tek kat sargılı C2-I numunesine kıyasla artış göstermiştir.

Kırılma, diğer numunelere benzer şekilde başlık ile gövde ortası arasında, beton basınç bölgesindeki ezilmelere ve çekme bölgesindeki FRP liflerinin kopmasına bağlı olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.42).



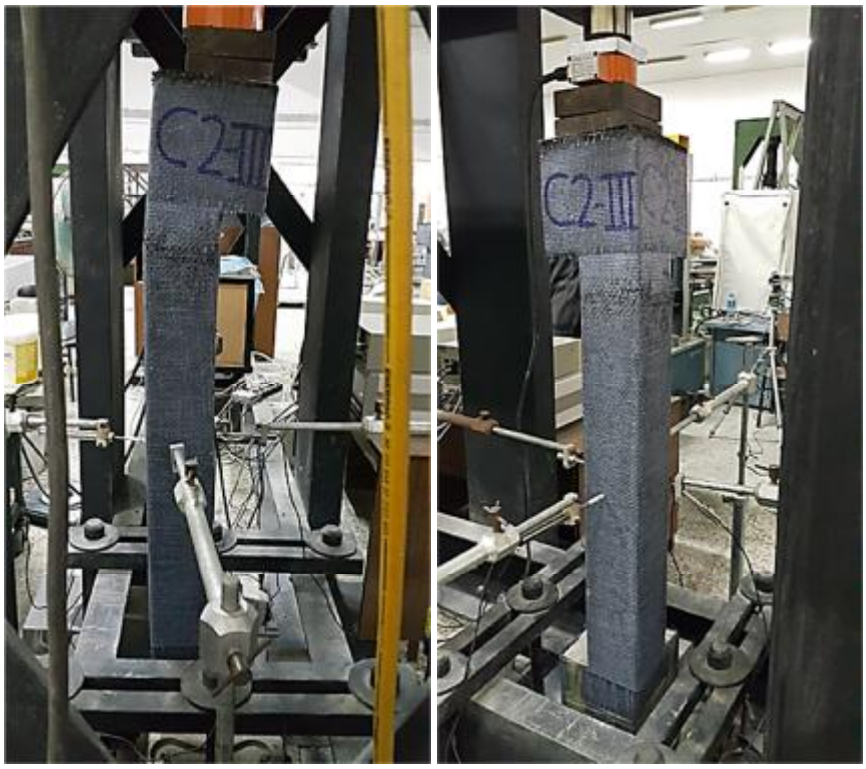
Şekil 4.42. C2-II numunesi göçme anı

4.6.12.C2-III Numunesi

C2-II numunesi gibi çift kat CFRP sargılı olan C2-III numunesi, eksantrisite değeri 1 cm kadar arttırılarak test edilmiştir.

Eksantrisitenin arttırılması ile numune tarafından taşınabilecek eksenel yükün maksimum değeri C2-II numunesine kıyasla azalmıştır.

Çift kat CRFP sargısının numunenin burkulmasını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Kırılma, C2-II numunesine benzer şekilde, başlık ile gövde ortası arasındaki çekme bölgesinde yer alan liflerde kopmaların oluşmasıyla ani bir şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 4.43). Ancak burada eksantrisite daha fazla olduğu için kolon daha çok eğrilmiştir.



Şekil 4.43. C2-III numunesi göçme anı

Yükün numuneye uygulandığı eksantrisitenin değeri arttırıldıkça dayanım azalmakta, kolonun burkulması ve eğriliği ise artmaktadır. Bu etkileri azaltmak amacıyla numunenin dışarıdan FRP ile sarılması önerilmektedir.

4.6.13.C2-0-SF Numunesi

C2-0 numunesine belirli oranda çelik lif ilave edilerek oluşturulan karışımdan imal edilen C2-0-SF adlı numune, beton basınç bölgesinde ezilmeler, çekme bölgesinde ise kolon boyunca üniform şekilde yayılan çatlakların oluşumu ile taşıma gücüne ulaşmıştır (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. C2-0-SF numunesi göçme anı

Maksimum yüke ulaşıldıktan sonra içeriğinde bulunan çelik lifler sayesinde numune deformasyon yapmaya devam etmiş ve yük etkisi altında sünek bir davranış sergilemiştir.

4.6.14.C2-I-SF Numunesi

C2-0-SF numunesinin tek kat CFRP ile sarılı hali olan C2-I-SF isimli numune, başlık ile gövde ortasındaki bir bölgede basınç bölgesinde şişmeler, çekme bölgesinde ise lif kopmaları oluşumu sonucunda taşıma gücüne ulaşmıştır (Şekil 4.45).



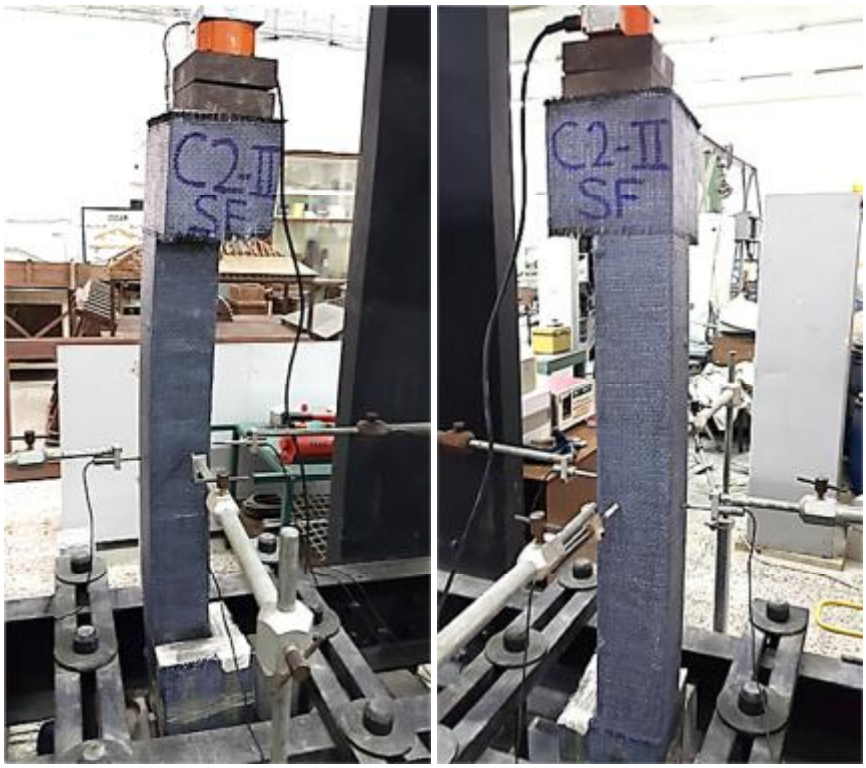
Şekil 4.45. C2-I-SF numunesi göçme anı

Maksimum eğrilik kolon orta bölgesinde gerçekleşirken, dikkat çeken en önemli nokta; numunenin içeriğinde bulunan çelik liflerin elemanın sünekliğini

arttırması ve güçlendirmede kullanılan CFRP sargısının da burkulmayı büyük oranda azaltıyor olmasıdır.

4.6.15.C2-II-SF Numunesi

C2-0-SF numunesinin çift kat CFRP sargılı hali olan C2-II-SF numunesi, hem içerdiği çelik liflerin etkisi ile hem de çift kat CFRP sargısının sağladığı rijitlikle yük etkisi altında oldukça sünek davranmıştır (Şekil 4.46).



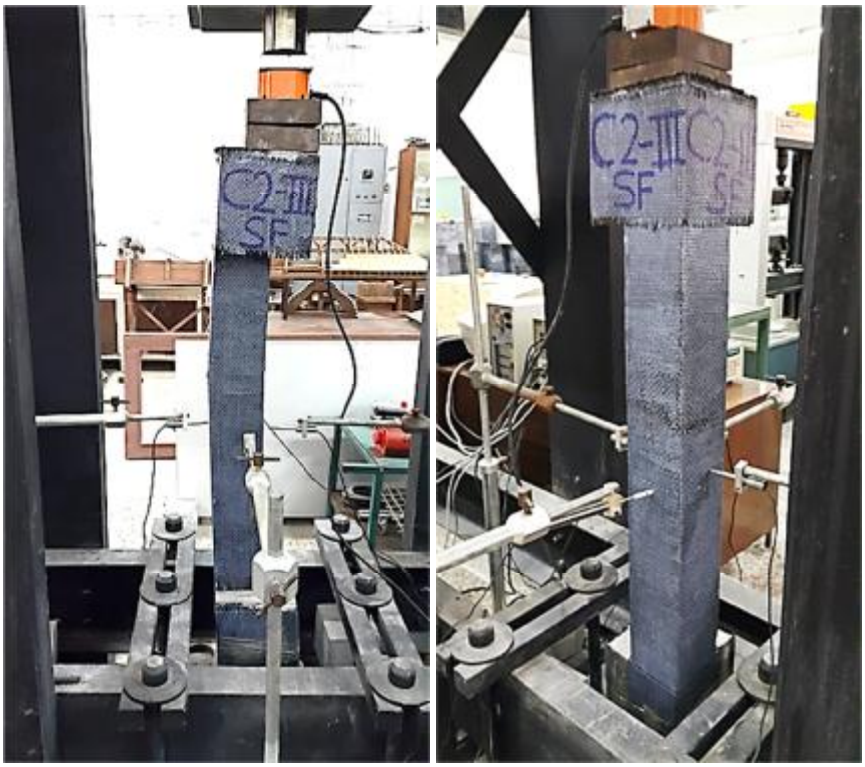
Şekil 4.46. C2-II-SF numunesi göçme anı

Ezilmeler, basınç bölgesinde bile oldukça üniform şekilde oluşmuş ve CFRP tabakasının altında bir şişlik olarak girintili çıkıntılı şekilde kendini göstermiştir (Şekil 4.46).

Yapılan deney sonucunda, çift kat CFRP sargısının, numunenin eksenel yük taşıma kapasitesini tek kat CFRP sargısına kıyasla daha fazla arttırdığı ve eğriliğin kolonun tam ortasında meydana geldiği görülmüştür.

4.6.16.C2-III-SF Numunesi

C2-II-SF numunesi ile benzer şekilde çift kat CFRP sargılı olarak tasarlanan C2-III-SF numunesi, yükün uygulandığı eksantrisite değeri 1 cm arttırılarak test edilmiştir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. C2-III-SF numunesi göçme anı

Yine burada eksantrisitenin artması ile numunenin eksenel yük taşıma kapasitesi C2-II-SF numunesine kıyasla azalma göstermiştir. Eleman en çok

zorlanan noktada CFRP liflerinin kopması ile taşıma gücüne ulaşmıştır (Şekil 4.47).

Yapılan deney sonucunda, çelik lif katkısının elemanın taşıma gücüne herhangi bir katkısı olmadığı, sadece elemanın yük etkisi altında deformasyon yapmaya devam etmesine olanak sağladığı bir kez daha görülmüştür.

4.7. Deneysel Gözlemler ve Çıkarılan Sonuçlar

Bahsedilen numunelere ait deneyler sırasında yapılan gözlemlerden elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

- Lifsiz karışıma sahip olan C1-0 ve C2-0 olarak adlandırılan sargısız numuneler, yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlandıkları için yük altında oldukça gevrek bir davranış sergilemişlerdir. Söz konusu numuneler taşıma gücü değerlerine ulaştıkları anda, orta bölgeye yakın bir yerde beton basınç bölgesinde ezilmeler, çekme bölgesinde ise çatlamaların oluşumu gözlenmiştir. Yüklemeye devam edilen numuneler taşıma gücüne ulaşmış olduğundan, numuneler tarafından taşınabilecek yükün düşmüş olmasına rağmen, numunelerde oluşan deplasmanlar hızla artmaya devam etmekte ve belli bir deformasyon değerine gelindiğinde ise söz konusu numunelerde ani bir göçme meydana gelmektedir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Sargısız, lifsiz C1-0 numunesi göçme anı

- C1-0-SF ve C2-0-SF olarak adlandırılan sargısız, çelik lif içeren numuneler ise yük etkisinde, lif içermeyen numunelere kıyasla çok daha fazla deformasyon yapma özelliği göstermişlerdir. Bu da yüksek dayanımlı betona ilave edilen çelik lifin, betonun sünekliğini önemli ölçüde arttırdığı sonucunu doğrulamaktadır. Bu numunelerde de taşıma gücüne yine, beton çekme bölgesinde çatlamaların ve basınç bölgesinde ezilmelerin oluşması sonucu ulaşılmış ancak; bu numunelerde meydana gelen kırılma lifsiz numunelere kıyasla çok daha sünek bir şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 4.49).

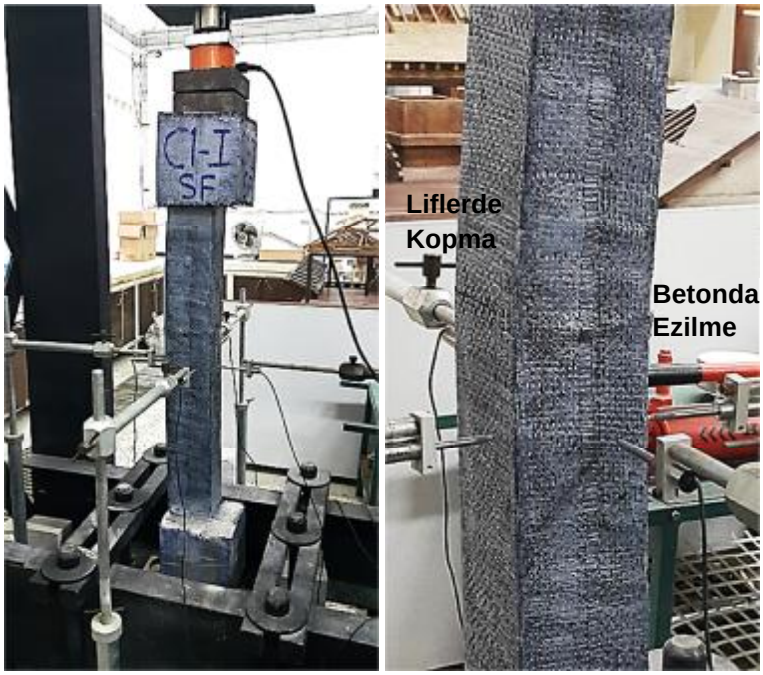


Şekil 4.49. Sargısız, çelik lif katkılı C1-0-SF numunesi göçme anı

- Eksenel yük ve iki eksenli eğilme altında test edilen çift yönde lif içeren CFRP malzemesi ile sarılı, gerek lifsiz, gerekse çelik lifli tasarlanan tüm kolon numunelerinde, sargı malzemesinde enine yönde bulunan liflerin numunelerin yanal rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Ayrıca çift yönlü lif içeren CFRP sargısının, malzemede boyuna yönde bulunan lifler sayesinde, numunelerde oluşabilecek eğriliği azalttığı ve böylelikle numunelerdeki eğilme çatlağı oluşumunu ertelediği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.50 ve 4.51).



Şekil 4.50. Çift kat CFRP sargılı, lifsiz C1-III numunesi göçme anı



Şekil 4.51. Tek kat CFRP sargılı, çelik lifli C1-I-SF numunesi göçme anı

- Deneysel çalışma kapsamında teste tabi tutulan sargısız ve CFRP sargılı tüm kolon numunelerinde verilen eksenel yüklemeler sonucunda, önce çekme bölgesinde çekme çatlaklarının oluşumu gözlenmiş sonra ise basınç bölgesinde betonun kırılması ile bahsedilen numunelerin taşıma gücüne eriştiği belirlenmiştir. Meydana gelen göçme ve çatlamaların ise genelde numunelerin orta kısımlarında oluştuğu görülmüştür.

4.8. Deney Sonuçları

Deneysel çalışma kapsamında, iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz olarak test edilen tüm numuneler taşıma gücü kapasitesine ulaşıldıktan sonra beton basınç bölgesinde ezilme ve çekme bölgesinde çekme çatlaklarının oluşması ile kırılmıştır. Deney sırasında her bir numune için okunan yük ve deplasman dataları ile numunelere ait yük-deplasman ilişkileri grafiksel olarak elde edilmiştir.

Kolon ortasında, uygulanan yüke karşılık gelen yanal deplasman (4.1) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta = \Delta_i - \Delta_0 \tag{4.1}$$

Burada, Δ_i her bir yüke karşılık gelen yanal yöndeki transducer okumaları; Δ_0 ise sıfır yüklemesine ait ADU tarafından okunan deplasmanı göstermektedir.

Deneysel çalışmada numunelere uygulanan yükün eksantrisite değerleri ve deney sonucunda numunelere ait elde edilen taşıma gücü kapasiteleri Çizelge 4.3' te sunulmaktadır.

Burada yer alan her bir grup numune kendi arasında karşılaştırılacak olursa; CFRP sargısının numunelerin eksenel yük taşıma kapasitelerini arttırdığı görülmektedir. Bununla birlikte; çift kat CFRP sargısının, numunelerin eksenel yük taşıma kapasitelerini tek kat sargılı hale göre çok daha fazla arttırdığı gözlenmektedir.

Ayrıca çelik lifli numunelere bakıldığında; numunelerin içeriğinde bulunan çelik liflerin numunenin taşıyabileceği maksimum eksenel yükün değerini pek fazla değiştirmediği de anlaşılmaktadır. Deneylerde yapılan gözlemlere göre çelik liflerin sadece, numunelerin yük etkisi altında çelik lif kullanılmayan numunelere kıyasla, çok daha sünek bir davranış sergilemelerine katkı sağladıkları sonucuna ulaşılmıştır.

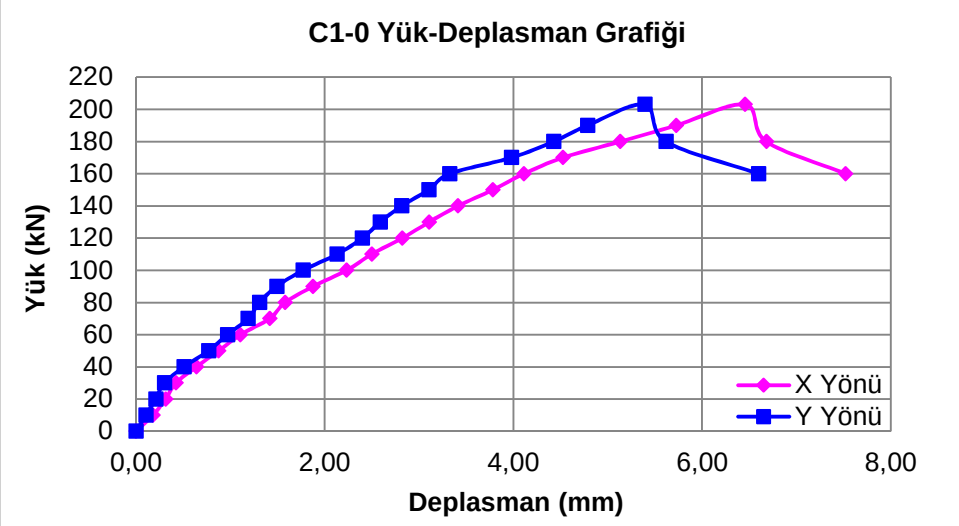
Bunlara ek olarak, daha katı kıvamdaki beton karışımı kullanılarak imal edilmiş olan C2 ve C2-SF gruplarında yer alan numunelerin eksenel yük taşıma gücü değerlerinin, C1 ve C1-SF grubundaki numunelere kıyasla azalma gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 4.3. Numunelere uygulanan yükün eksantrisite değerleri ve elde edilen deneysel sonuçlar

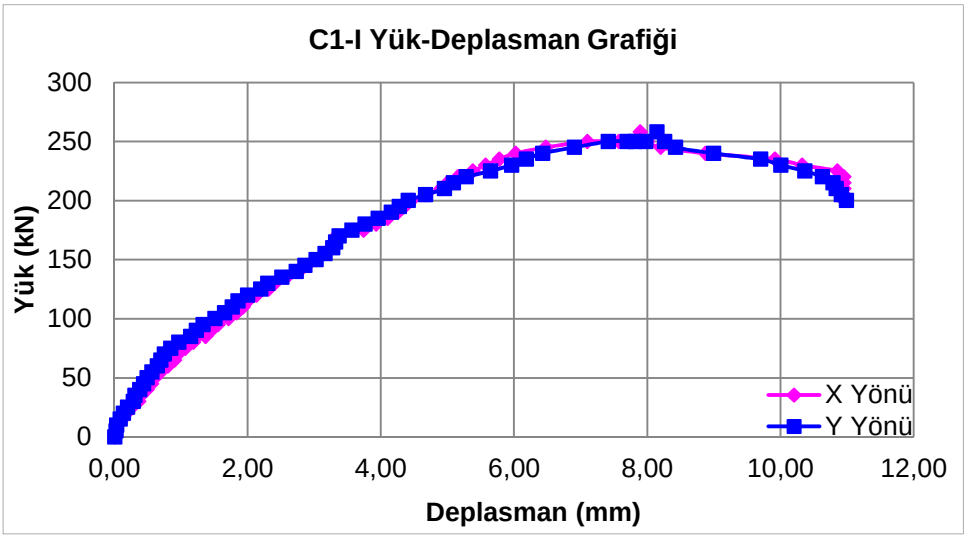
Numune Adı	Uygulanan Yükün Eksantrisite Değeri		Taşıma Gücü N_{test} (kN)
	e_x (cm)	e_y (cm)	
C1-0	4	4	203
C1-I	4	4	258
C1-II	4	4	350
C1-III	5	5	254
C1-0-SF	4	4	220
C1-I-SF	4	4	299
C1-II-SF	4	4	365
C1-III-SF	5	5	273
C2-0	5	5	155
C2-I	5	5	255
C2-II	5	5	283
C2-III	6	6	222
C2-0-SF	5	5	162
C2-I-SF	5	5	234
C2-II-SF	5	5	267
C2-III-SF	6	6	225

Numunelere ait yük-deplasman ilişkileri Şekil 4.52-4.67’ de sunulmaktadır. Ayrıca analizlerde kullanılacak olan kolon numunelerine ait silindir numunelerin

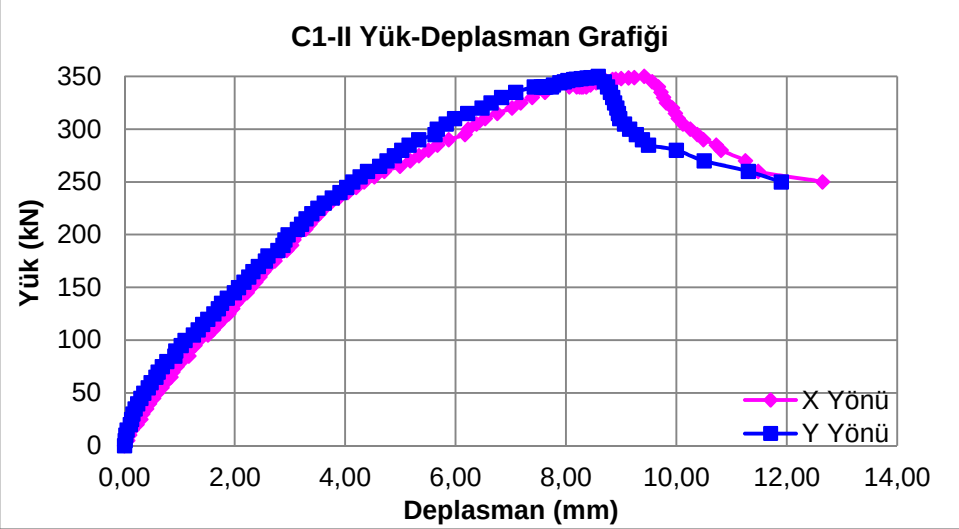
eksenel basınç testinden elde edilen gerilme-birim deformasyon ilişkileri de grafik olarak Ek-4' te sunulmaktadır.



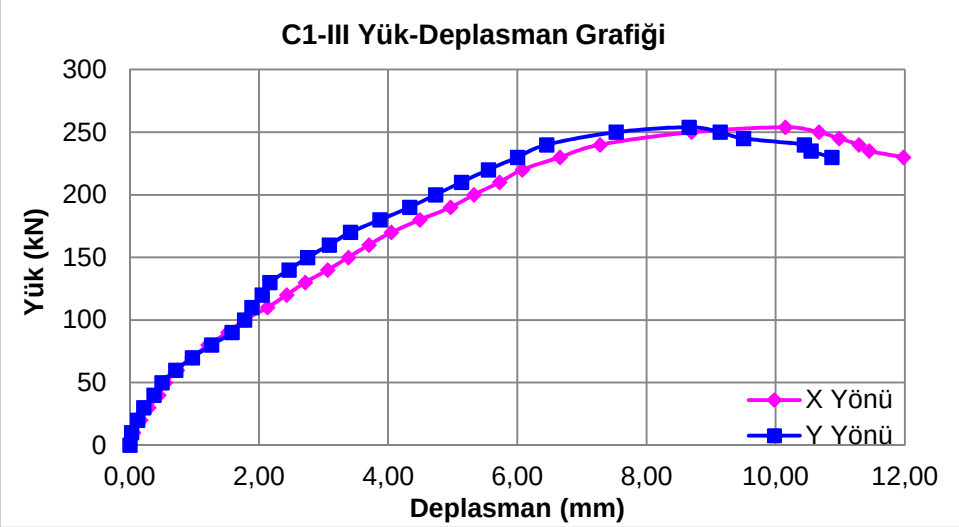
Şekil 4.52. C1-0 numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.53. C1-I numunesi yük-deplasman grafiği



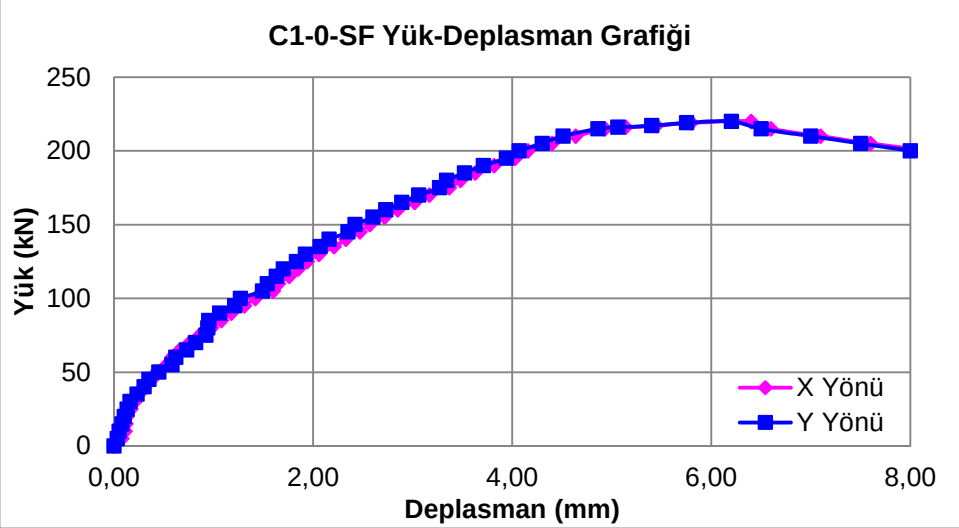
Şekil 4.54. C1-II numunesi yük-deplasman grafiği



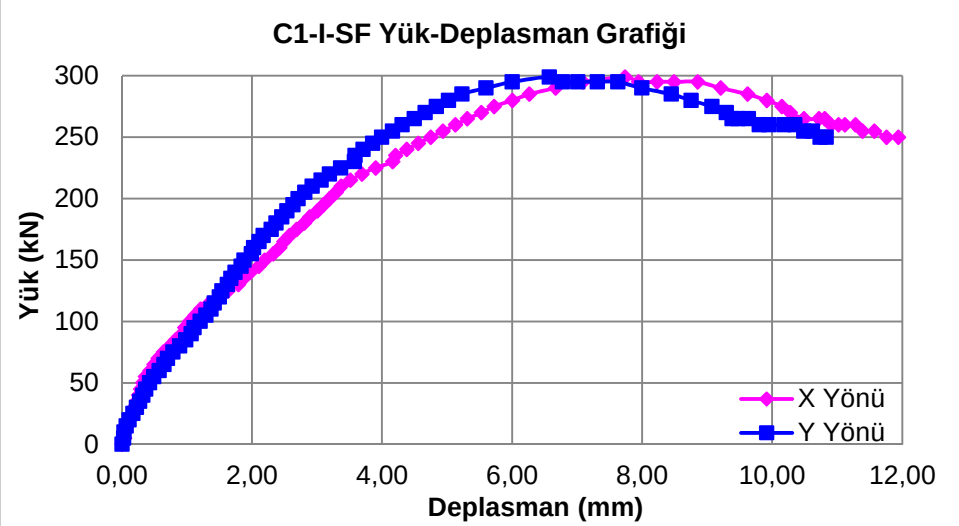
Şekil 4.55. C1-III numunesi yük-deplasman grafiği

C1 grubunda yer alan numunelere ait Şekil 4.52-4.55' te verilen yük-deplasman grafikleri incelendiğinde; karbon lifli polimer sargının kolon numunelerinin eksenel yük taşıma kapasitelerini arttırdığı açık bir şekilde görülmektedir. Yükün numuneye uygulandığı eksantrisite değerinin arttırıldığı çift

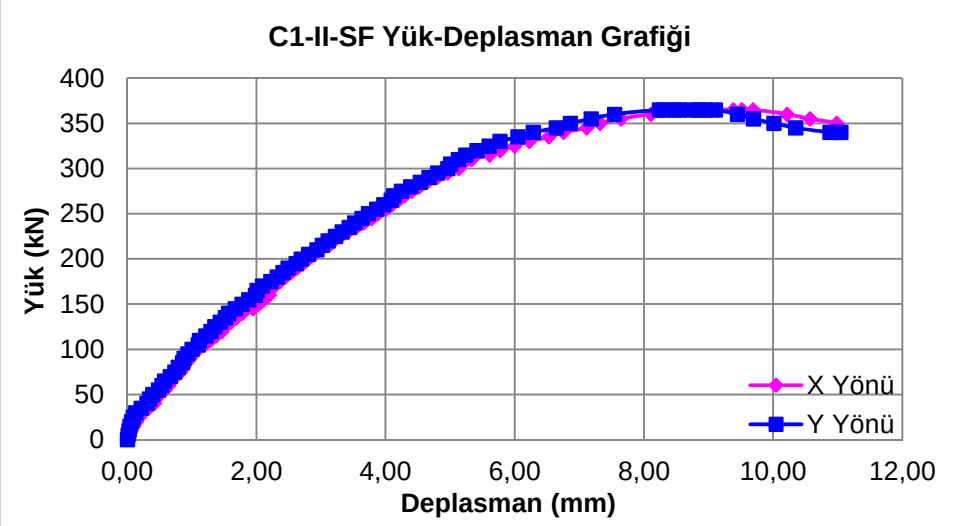
kat CFRP sargılı C1-III numunesinde ise artan eksantrisiteye bağlı olarak numunenin taşıyabileceği yükün değerinde azalma olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte, CFRP sargısının sargılı kolonların maksimum yükten sonrada deplasman yapmalarına olanak sağladığı görülmektedir.



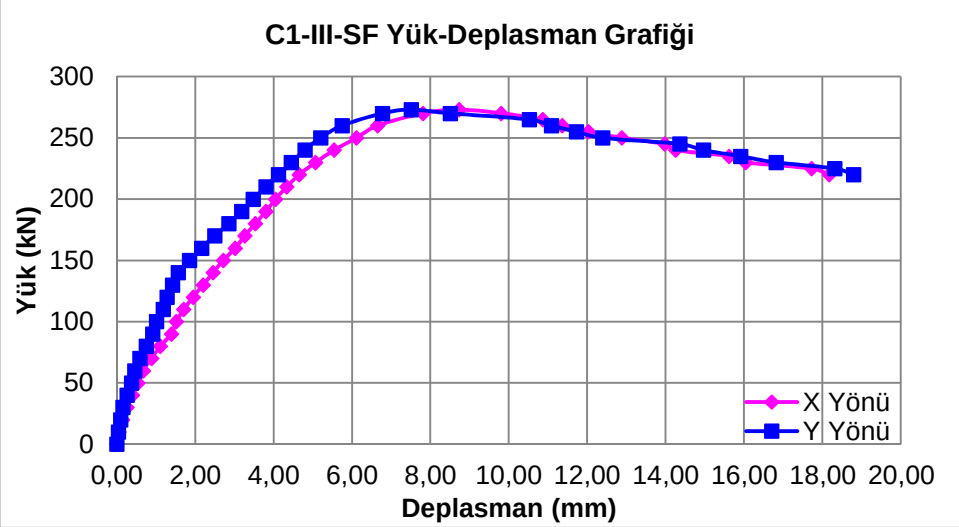
Şekil 4.56. C1-0-SF numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.57. C1-I-SF numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.58. C1-II-SF numunesi yük-deplasman grafiği

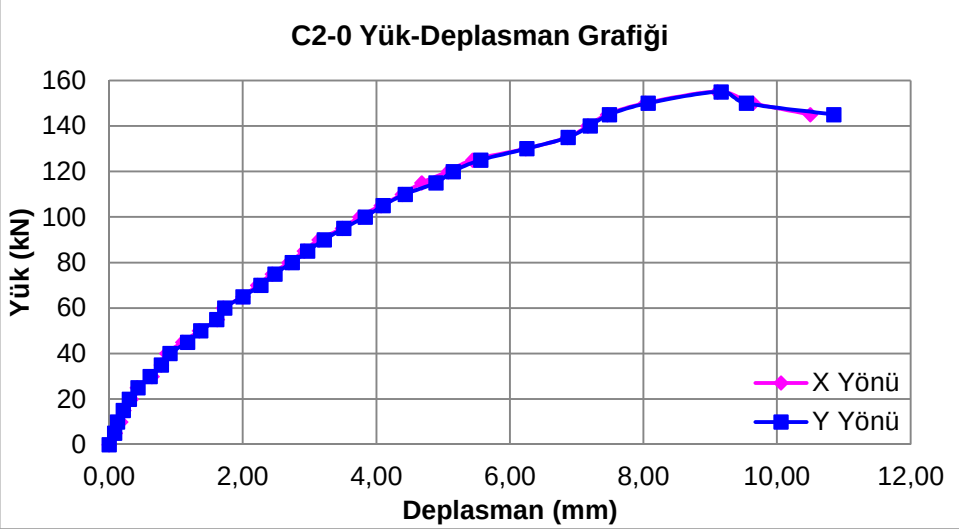


Şekil 4.59. C1-III-SF numunesi yük-deplasman grafiği

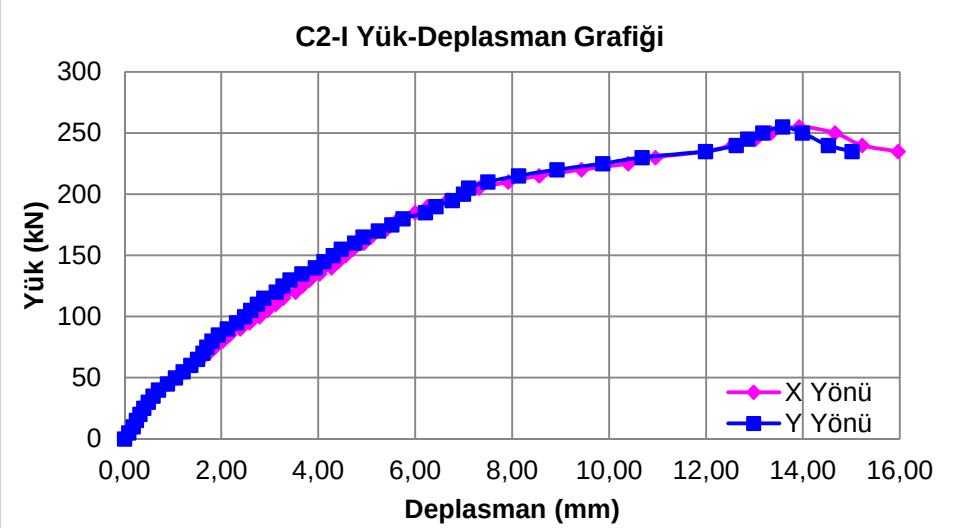
C1-SF grubunda yer alan çelik lifli numunelere ait Şekil 4.56-4.59' da verilen deneysel yük deplasman eğrilerine bakıldığında; karbon lifli polimer sargının burada da kolon numunelerinin eksenel yük taşıma kapasitelerini arttırdığı görülmektedir.

Yükün numuneye uygulandığı eksantrisite değerinin arttırıldığı çift kat CFRP sargılı C1-III-SF numunesinde yine, artan eksantrisiteye bağlı olarak numunenin taşıyabileceği maksimum yükün değerinde azalma olduğu gözlenmektedir.

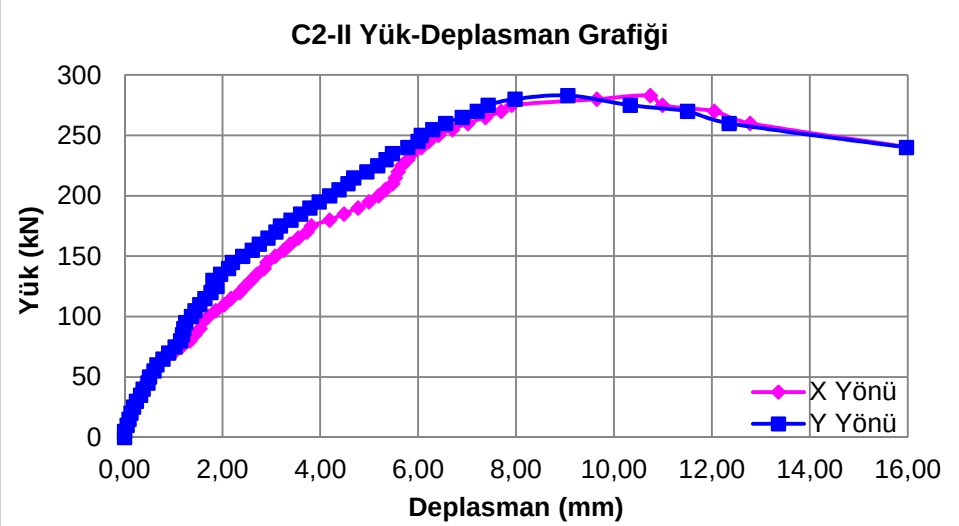
Bununla birlikte verilen eğriler incelendiğinde; hem kolon numunelerin içeriğinde bulunan çelik liflerin hem de CFRP sargısının ortak etkisiyle, kolonların maksimum yükten sonrada deplasman yapmaya devam ettikleri ve eksantrik yük etkisi altında çelik lifsiz numunelere kıyasla oldukça sünek bir davranış sergiledikleri anlaşılmaktadır. Deplasman artışının en belirgin şekilde gözlendiği numunenin ise çift kat CFRP sargılı C1-III-SF numunesi olduğu görülmektedir.



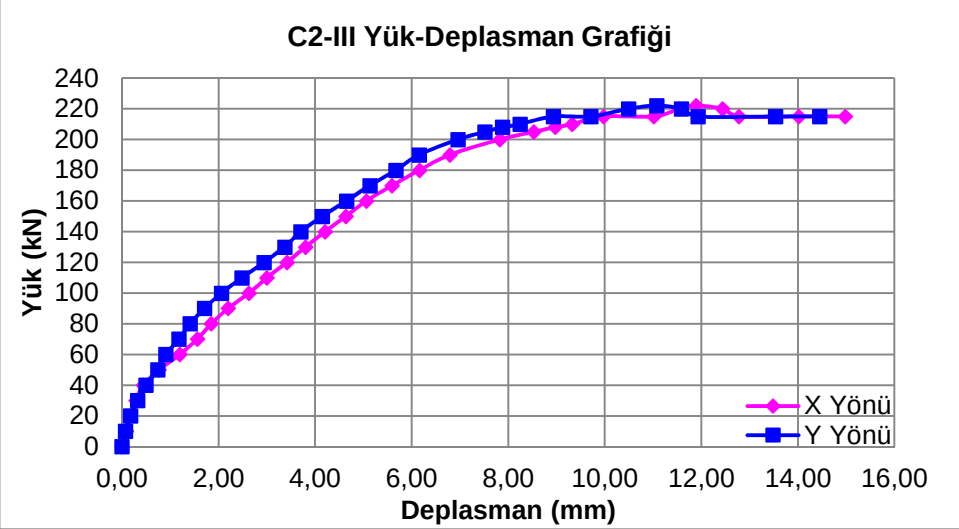
Şekil 4.60. C2-0 numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.61. C2-I numunesi yük-deplasman grafiği



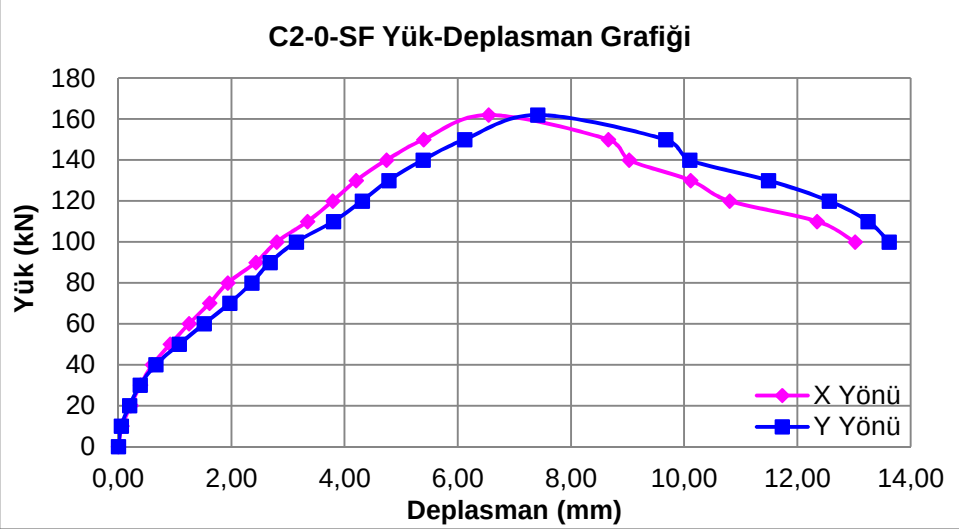
Şekil 4.62. C2-II numunesi yük-deplasman grafiği



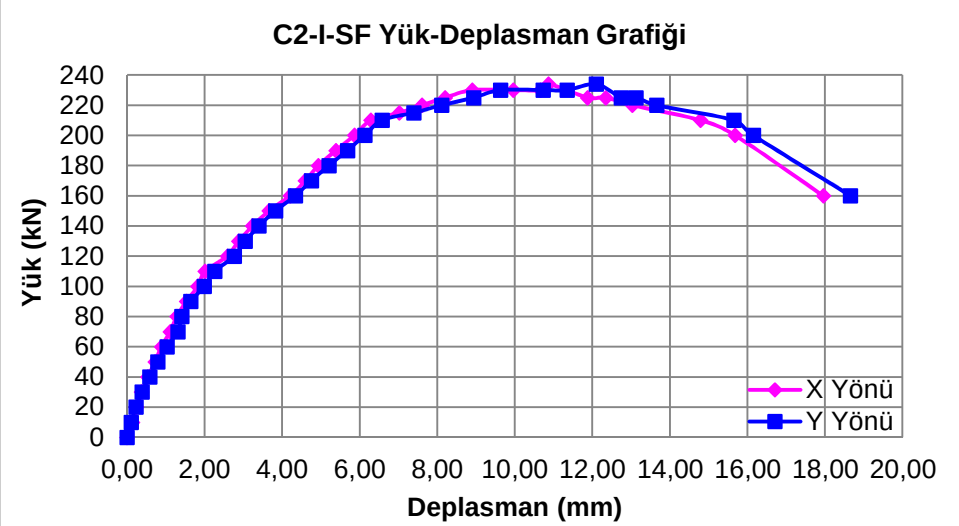
Şekil 4.63. C2-III numunesi yük-deplasman grafiği

C2 grubunda yer alan numunelere ait Şekil 4.60-4.63' te verilen deneysel yük deplasman eğrileri incelendiğinde, diğer numunelere benzer şekilde karbon lifli polimer sargının numunelerin eksenel yük taşıma ve deplasman yapma kapasitelerini arttırdığı görülmektedir. Yükün numuneye uygulandığı eksantrisite değerinin arttırıldığı C2-III numunesinde, numunenin taşıyabileceği yükün değerinin azaldığı gözlenmektedir.

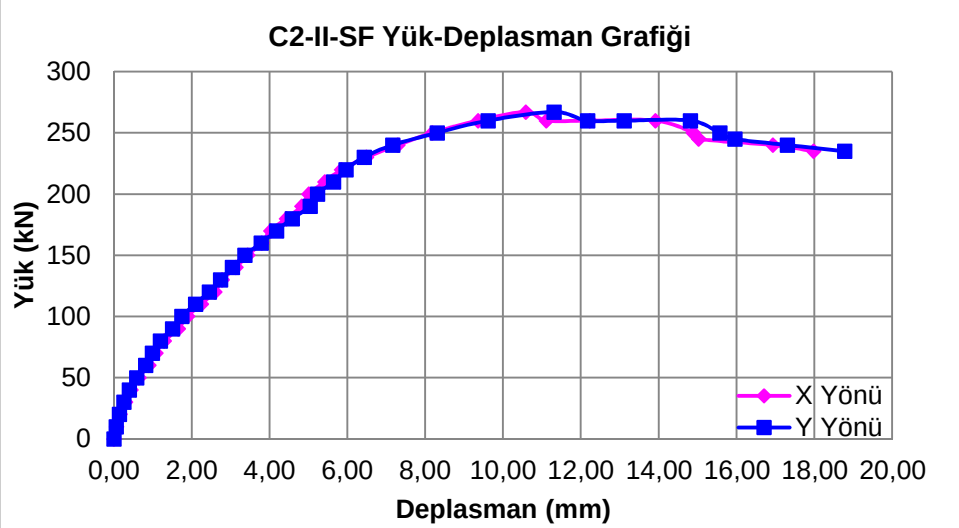
Bununla birlikte daha katı kıvamlı beton karışımı ile imal edilen C2 grubu numunelerinin, eksantrik yük etkisinde diğer grupta yer alan numunelere kıyasla çok daha gevrek davrandığı, numunelerin taşıyabileceği eksenel yük değerlerinin azalmasından anlaşılmaktadır.



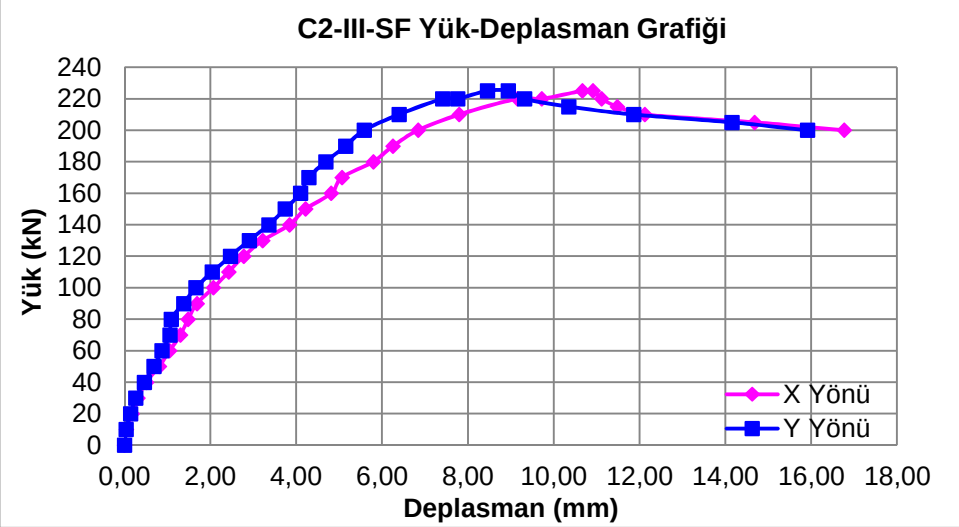
Şekil 4.64. C2-0-SF numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.65. C2-I-SF numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.66. C2-II-SF numunesi yük-deplasman grafiği



Şekil 4.67. C2-III-SF numunesi yük-deplasman grafiği

C2-SF grubunda yer alan çelik lifli numunelere ait Şekil 4.64-4.67' de verilen deneysel yük deplasman eğrilerine bakıldığında, diğer numunelere benzer şekilde, karbon lifli polimer sargının numunelerin eksenel yük taşıma ve deplasman yapma kapasitelerini arttırdığı görülmektedir. Yükün numuneye

uygulandığı eksantrisite değerinin arttırıldığı C2-III-SF numunesinde numunenin taşıyabileceği yükün değerinin azaldığı gözlenmektedir. Bununla birlikte, numunelerin içeriğinde bulunan çelik liflerin ve CFRP sargısının ortak etkisiyle, sargılı kolonların maksimum yükten sonrada deplasman yapmaya devam ettikleri görülmektedir.

4.9. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde, çalışma kapsamında ele alınan, 4 farklı beton karışımından imal edilmiş olan ve bu nedenle de 4 ayrı gruba ayrılarak isimlendirilen, toplamda 16 adet kolon numunesine ait iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında deneysel olarak elde edilen yük-deplasman eğrileri her bir numune için ayrı ayrı verilmiştir. Bu bölümde ise; bahsedilen her bir grupta yer alan kolon numuneleri için elde edilen deneysel yük-deplasman eğrileri; numunenin sargısız, tek kat CFRP sargılı ve çift kat CFRP sargılı halleri için karşılaştırmalı olarak, grafiksel ortamda sunulmuştur.

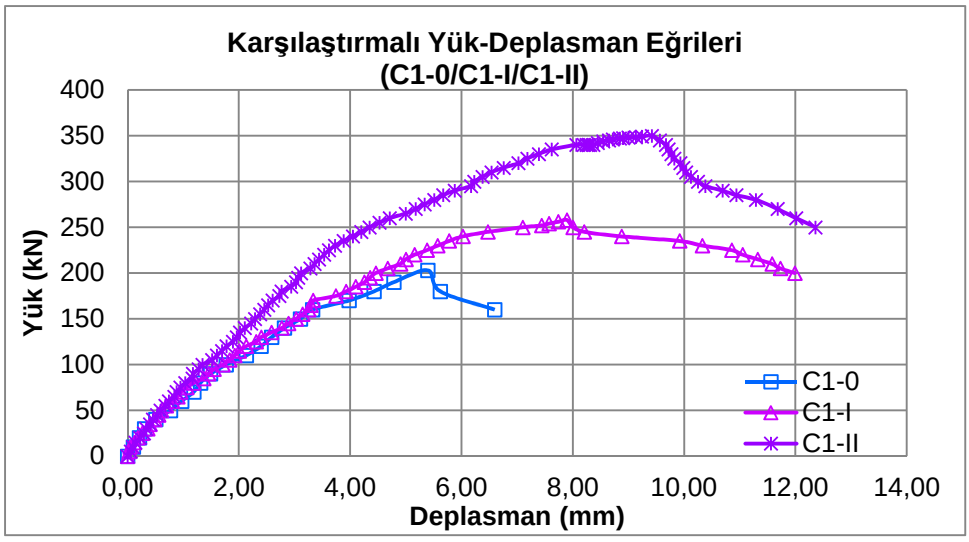
Örneğin; C1 grubunda yer alan, numunenin sargısız halini temsil eden C1-0 numunesine ait sonuçlarla, sırasıyla numunenin tek kat CFRP sargılı halini temsil eden C1-I numunesine ve çift kat CFRP sargılı halini temsil eden C1-II numunesine ait sonuçlar, sargı etkisinin numunenin yük taşıma ve deplasman yapma kapasitesine olan etkilerinin izlenebilmesi için aynı grafik ortamında eğrisel olarak verilmiştir. Benzer şekilde C2 grubunda yer alan C2-0, C2-I ve C2-II numuneleri için de elde edilen sonuçlar aynı şekilde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Ayrıca çift kat CFRP sargılı olan, ancak farklı eksantrisite uygulanarak teste tabi tutulan kolon numunelerine ait elde edilen sonuçlar da kendi aralarında grafiksel olarak karşılaştırılarak; farklı eksantrisite durumunun numunenin taşıma gücü kapasitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir.

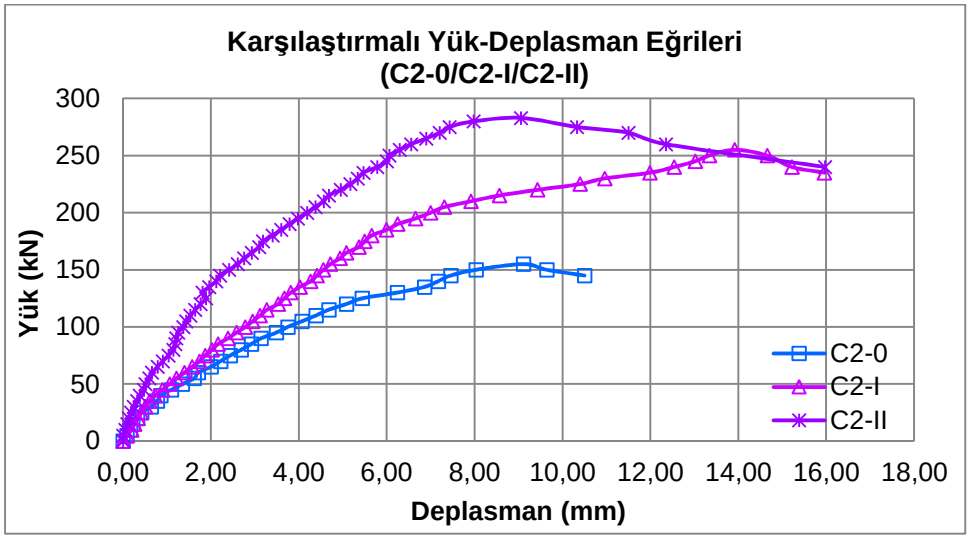
Örneğin; yükün numuneye uygulandığı eksantrisite değeri 4 cm olan çift kat CFRP sargılı C1-II numunesine ait sonuçlar, 5 cm olan çift kat sargılı C1-III

numunesine ait sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak grafiksel ortamda verilmiştir. Benzer şekilde eksantrisite değeri 5 cm olan çift kat CFRP sargılı C2-II numunesine ait sonuçlar, 6 cm olan çift kat sargılı C2-III numunesine ait sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak grafiksel ortamda verilmiştir.

Diğer numune grupları (çelik lif içeren C1-SF ve C2-SF grupları) içinde benzer kıyaslamalar yapılarak oluşturulan karşılaştırmalı tüm eğriler, grafiksel olarak verilen şekillerde sunulmuş ve sonuçlara ilişkin çeşitli yorumlarda bulunulmuştur.



Şekil 4.68. C1-0, C1-I, C1-II numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri

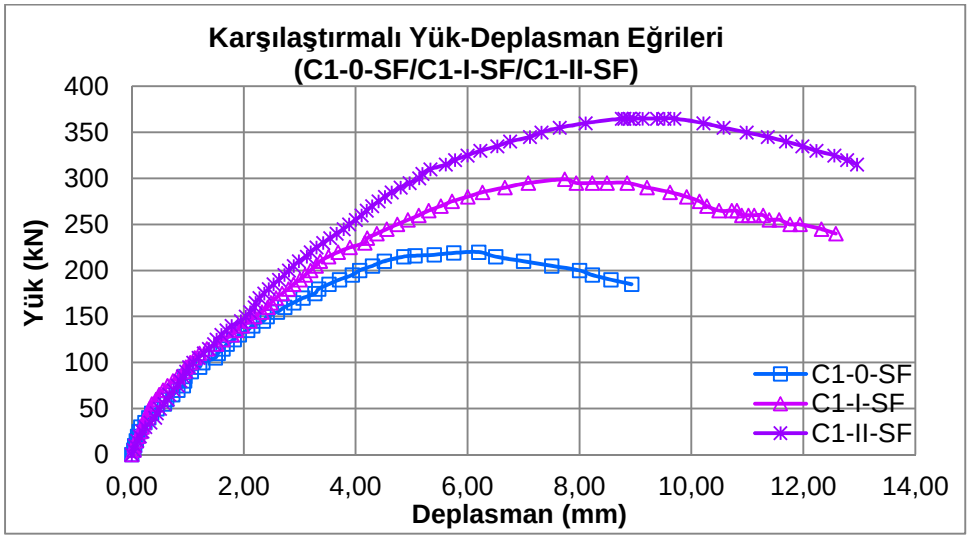


Şekil 4.69. C2-0, C2-I, C2-II numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri

Şekil 4.68 ve Şekil 4.69' da görüldüğü gibi, her iki grup içinde yer alan tüm kolon numuneleri için, CFRP sargısının kolonların eksenel yük taşıma kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte, kolonların sarılmasında kullanılan CFRP sargı adedinin artması ile de kolonların taşıyabileceği maksimum eksenel yükün değerinin arttığı gözlenmektedir.

C2 grubunda yer alan numunelerin hazırlanmasında kullanılan beton karışımı, C1 grubunda yer alan numunelerin hazırlanmasında kullanılan beton karışımından daha az su içermekte olduğundan, bu gruptaki numuneler yük etkisi altında çok daha gevrek bir davranış sergilemiş ve eksenel yük taşıma kapasiteleri de diğer gruptaki numunelere göre çok daha düşük çıkmıştır.

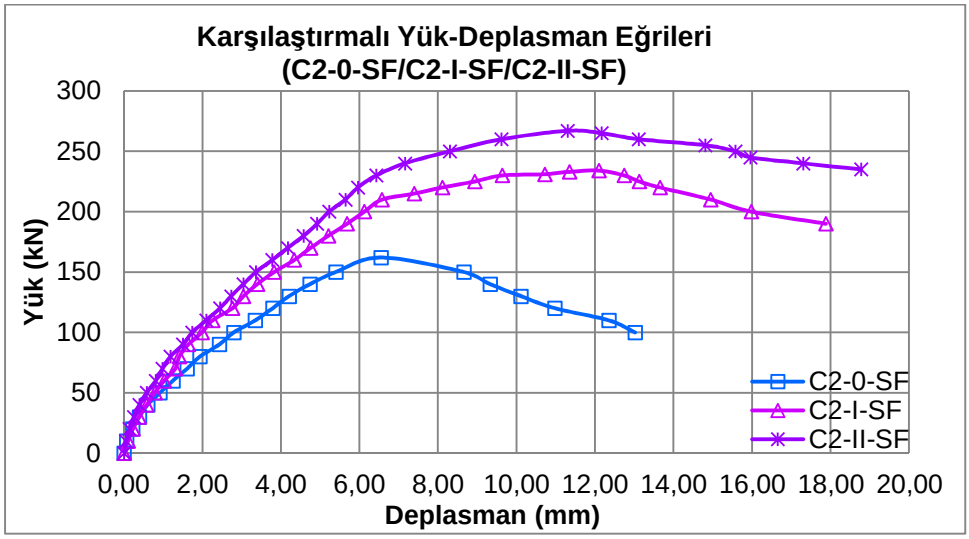
Grafiklere bakıldığında dikkati çeken bir diğer önemli nokta ise numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan CFRP sargısı ile numunelerin deplasman yapma kapasitelerinin de sargısız hale göre artış gösteriyor olmasıdır.



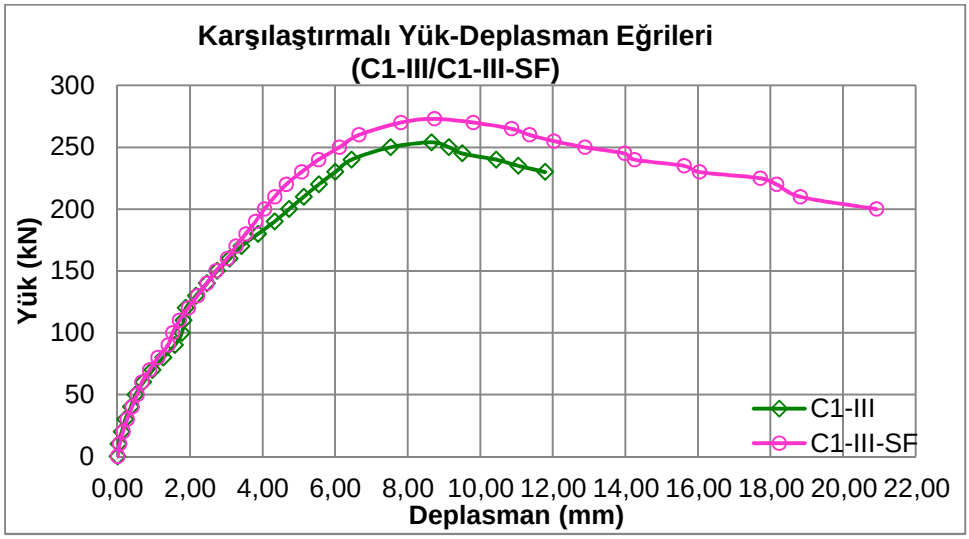
Şekil 4.70. C1-0-SF, C1-I-SF, C1-II-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri

Çelik lif içeren C1-SF grubunda yer alan, numunenin sargısız, tek kat ve çift kat CFRP sargılı halleri için Şekil 4.70' de verilen eğriler incelendiğinde; numunelerin sarılmasında kullanılan CFRP sargı adedinin artması ile numunelerin eksenel yük taşıma ve deplasman yapma kapasitelerinin arttığı gözlenmektedir.

C2-SF grubunda yer alan sargısız, tek kat ve çift kat CFRP sargılı çelik lif içeren numunelere ait Şekil 4.71' de verilen eğriler incelendiğinde; yine numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan CFRP sargı adedinin artması ile numunelerin deplasman yapma ve eksenel yük taşıma kapasitelerinin arttığı gözlenmektedir. Özellikle deplasmandaki artışın C1-SF grubundaki numunelere kıyasla çok daha fazla olduğu görülmektedir.



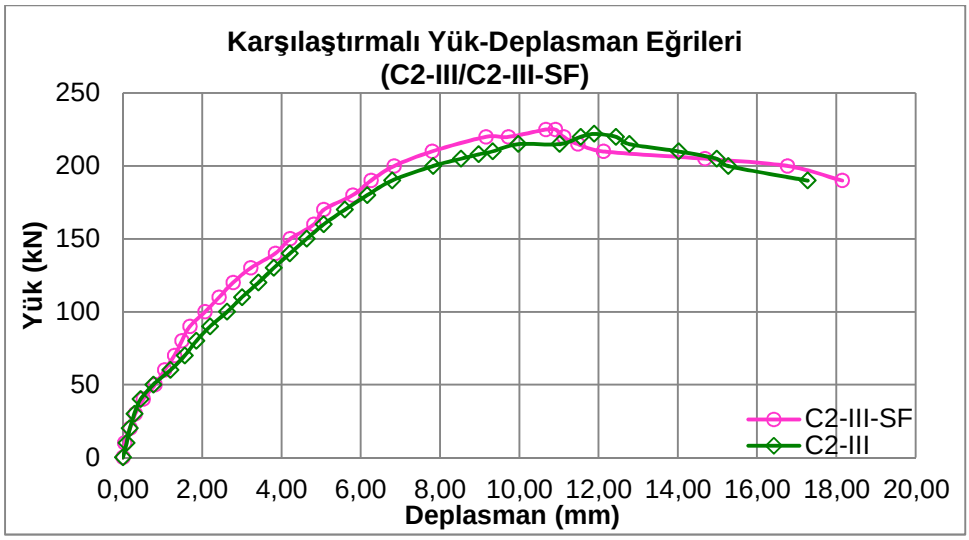
Şekil 4.71. C2-0-SF, C2-I-SF, C2-II-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



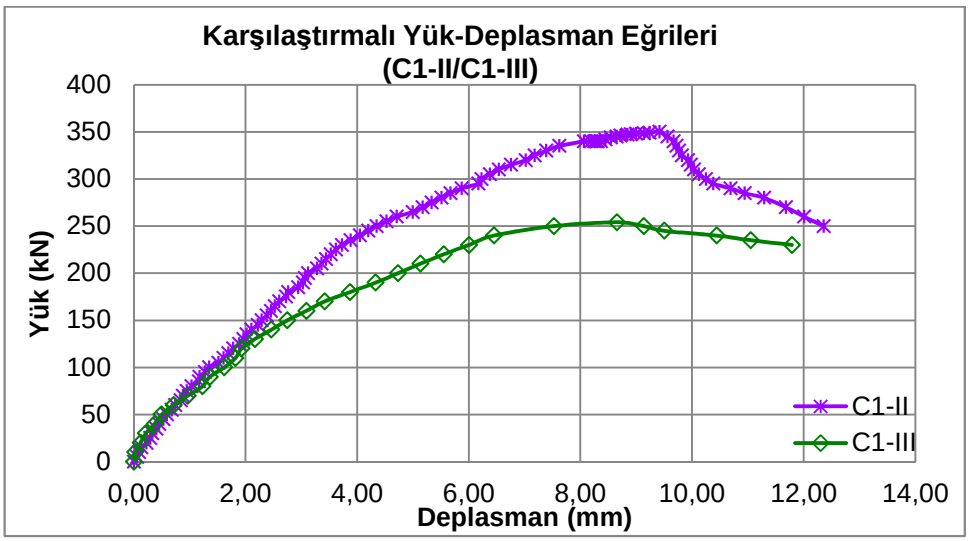
Şekil 4.72. C1-III, C1-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri

Şekil 4.72 ve 4.73' te yer alan, çift kat CFRP sargılı, lifsiz ve çelik lifli numunelere ait verilen grafikler incelendiğinde; numunelerin içeriğinde bulunan çelik liflerin, numunelerin eksenel yük taşıma kapasitelerine fazla katkı

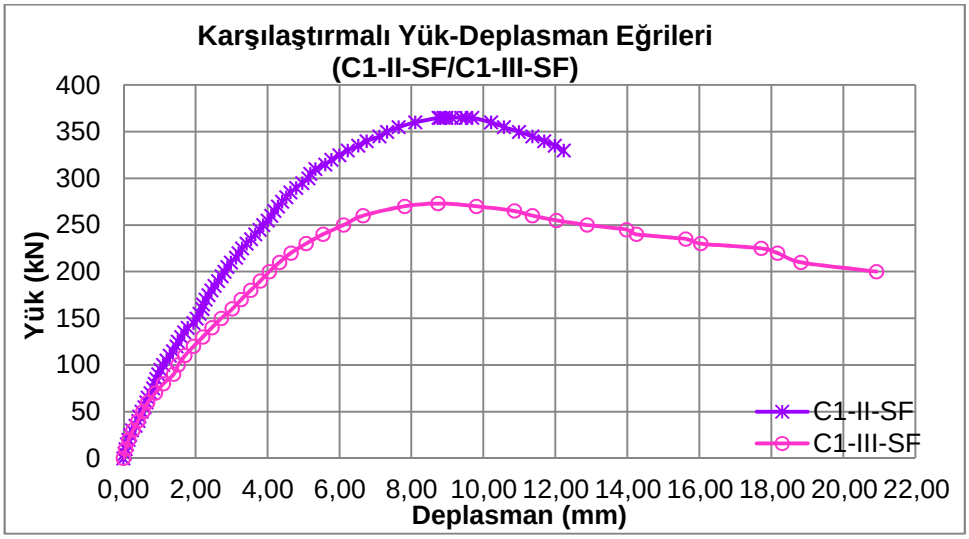
sağlamadığı ancak; elemanların yük etkisi altında daha sünek davranmalarını sağlayarak deplasman yapmalarına olanak sağladığı görülmektedir.



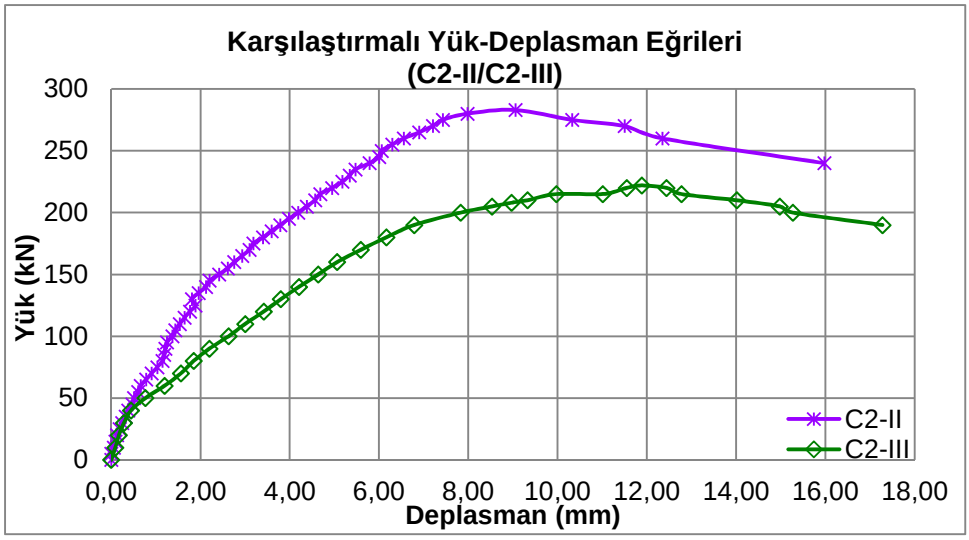
Şekil 4.73. C2-III, C2-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



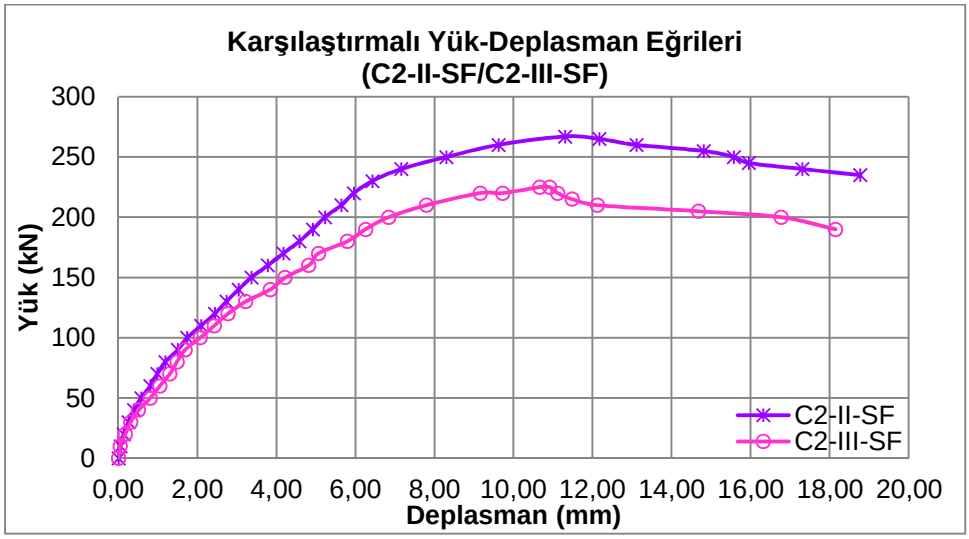
Şekil 4.74. C1-II, C1-III numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



Şekil 4.75. C1-II-SF, C1-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



Şekil 4.76. C2-II, C2-III numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



Şekil 4.77. C2-II-SF, C2-III-SF numuneleri karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri

Şekil 4.74-4.77' de görülen çift kat CFRP sargılı, lifsiz ve çelik lifli numunelere ait verilen karşılaştırmalı grafikler incelendiğinde; yükün numuneye uygulandığı eksantrisite değerinin arttığı numunelerde (C1-III, C1-III-SF, C2-III, C2-III-SF) numunenin taşıyabileceği maksimum eksenel yükün, artan eksantrisiteye bağlı olarak azaldığı gözlenmektedir.

5. ANALİZ BULGULARI VE KARŞILAŞTIRMALAR

5.1. Giriş

Bir önceki bölümde, doktora tezi kapsamında iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında, sargısız ve CFRP sargılı olarak test edilmiş olan; çelik lifli ve lifsiz sade beton kullanılarak imal edilmiş kare kesitli, toplamda 16 adet betonarme kolon numunesine ait deneysel olarak elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde ele alınmıştı.

Çalışmanın bu bölümünde ise sözü edilen kolon numunelerine ait, daha önce Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından betonarme kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki analizi için, narinlik etkisi de göz önüne alınarak geliştirilmiş olan Fortran dilindeki bir programın, CFRP sargılı betonarme kolon numuneler için yeniden düzenlenmesi sonucu elde edilen hali kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden edinilen analitik sonuçlar ve karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri ele alınacaktır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde beton basınç bölgesi için; CFRP sargısının ve çelik lifin bulunmadığı numunelerde (C1-0, C2-0) Hognestad ve ark. (1955) tarafından önerilen Hognestad modeli, CFRP sargısının bulunmadığı çelik lif içeren numunelerde (C1-0-SF, C2-0-SF) Hsu ve Hsu (1994) tarafından önerilen model kullanılmıştır. Bununla birlikte CFRP sargılı, çelik lifli ve lifsiz olarak üretilen diğer tüm modellerde ise beton basınç bölgesi için Punurai ve ark. (2013) tarafından CFRP sargılı beton için önerilen model kullanılmıştır.

Analizlerde kullanılan genel parametreler ise numune beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı, donatı düzeni ve eksantrisite değerleridir.

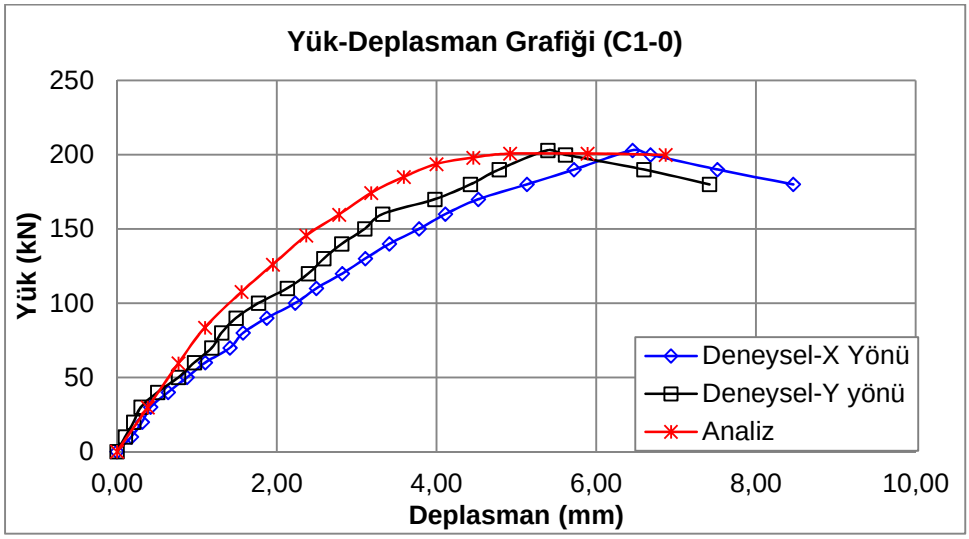
5.2. Numunelere ait Karşılaştırmalı Yük-Deplasman Eğrileri

Geliştirilen program ile yapılan analizler sonucunda söz konusu numunelere ait elde edilen moment ve eksenel yük taşıma gücü kapasitesi değerleri, deneysel olarak elde edilen değerler ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.1' de verilmektedir.

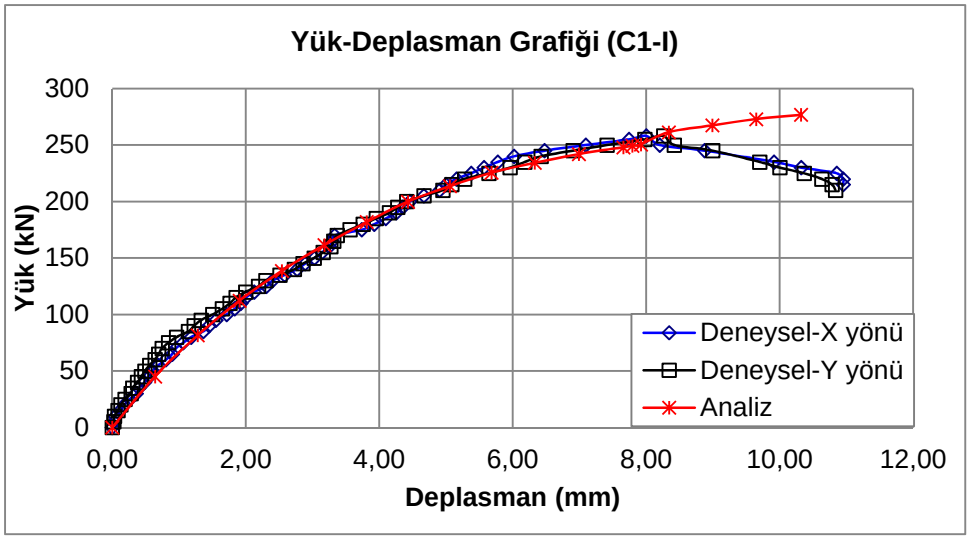
Numunelere ait karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri ise Şekil 5.1-5.16' da sunulmaktadır.

Çizelge 5.1. Numunelere ait deneysel ve analitik taşıma gücü değerleri

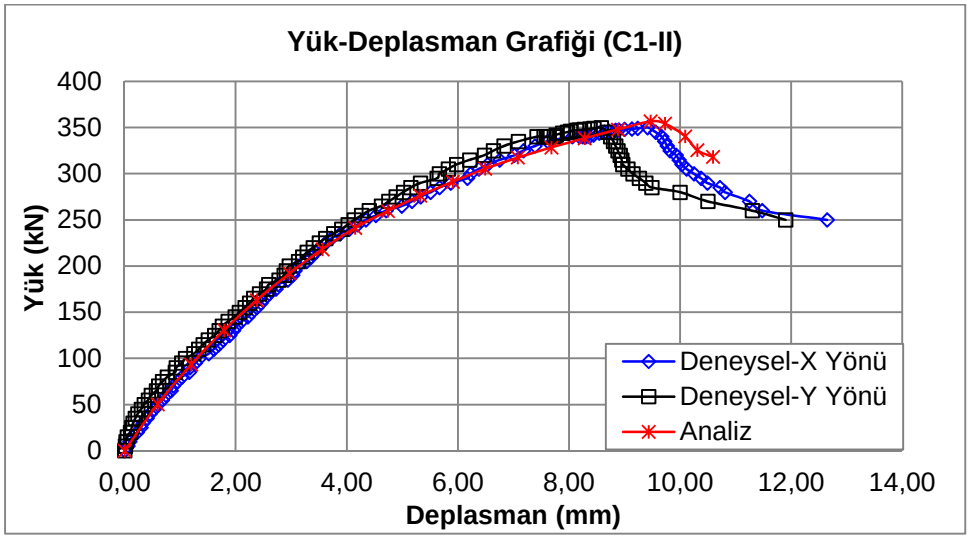
Numune Adı	$e_x=e_y$ (cm)	N_{test} (kN)	N_u (kN)	M_{ux}&M_{uy} (kNcm)	Oran (N_u/ N_{test})
C1-0	4	203	199.66	935.68	0.984
C1-I	4	258	276.74	1418.56	1.072
C1-II	4	350	356.62	1545.15	1.018
C1-III	5	254	276.57	1607.75	1.089
C1-0-SF	4	220	205.26	960.35	0.933
C1-I-SF	4	299	298.95	1604.09	1.000
C1-II-SF	4	365	351.18	1698.42	0.962
C1-III-SF	5	273	285.54	1668.53	1.046
C2-0	5	155	157.87	885.68	1.019
C2-I	5	255	273.55	1790.12	1.073
C2-II	5	283	284.72	1660.54	1.006
C2-III	6	222	243.51	1675.19	1.097
C2-0-SF	5	162	150.64	846.78	0.930
C2-I-SF	5	234	231.20	1588.93	0.988
C2-II-SF	5	267	262.52	1512.96	0.983
C2-III-SF	6	225	231.19	1574.41	1.028
				Ort. Oran:	**1.014**



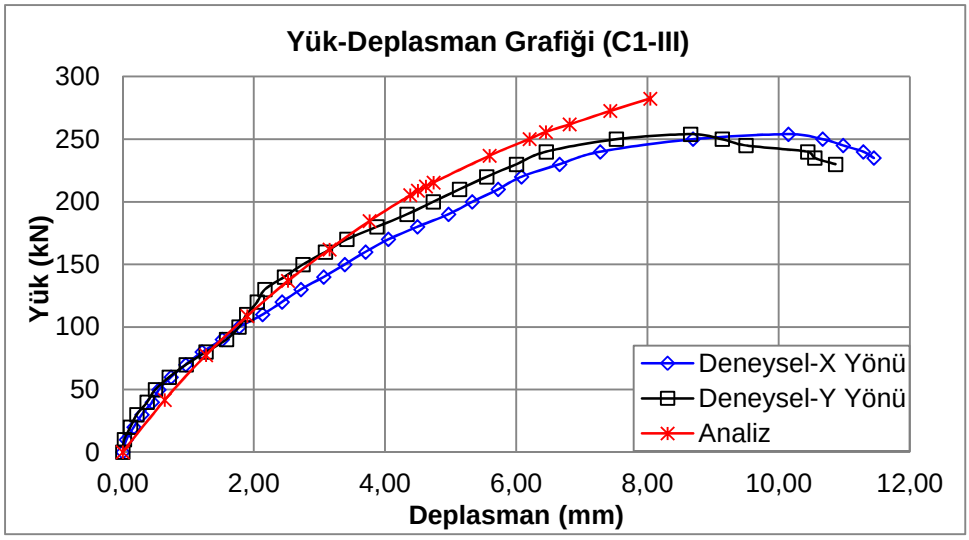
Şekil 5.1. C1-0 numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



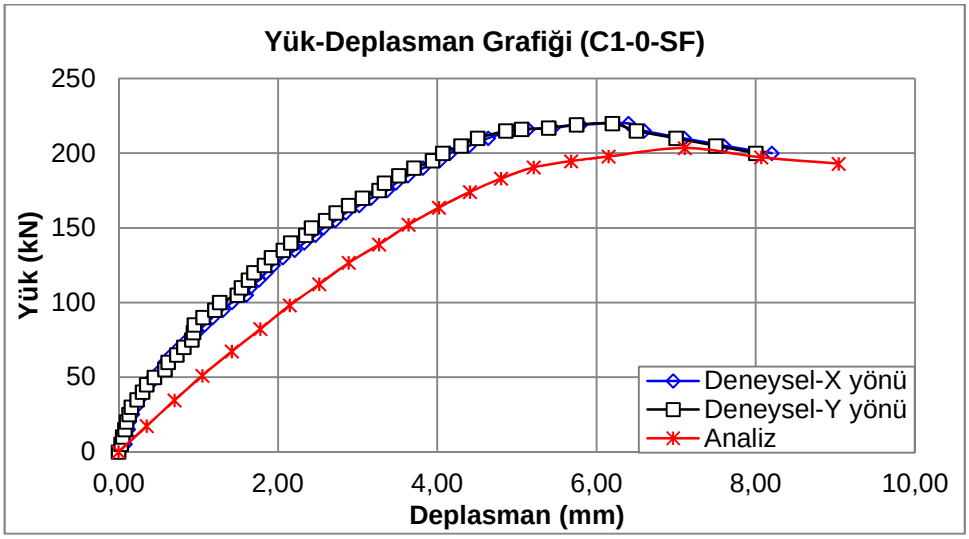
Şekil 5.2. C1-I numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



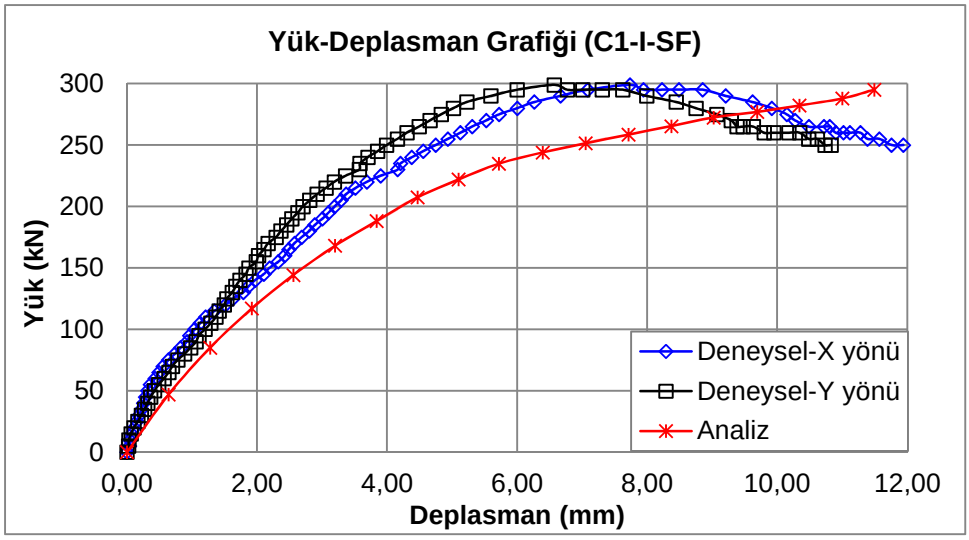
Şekil 5.3. C1-II numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



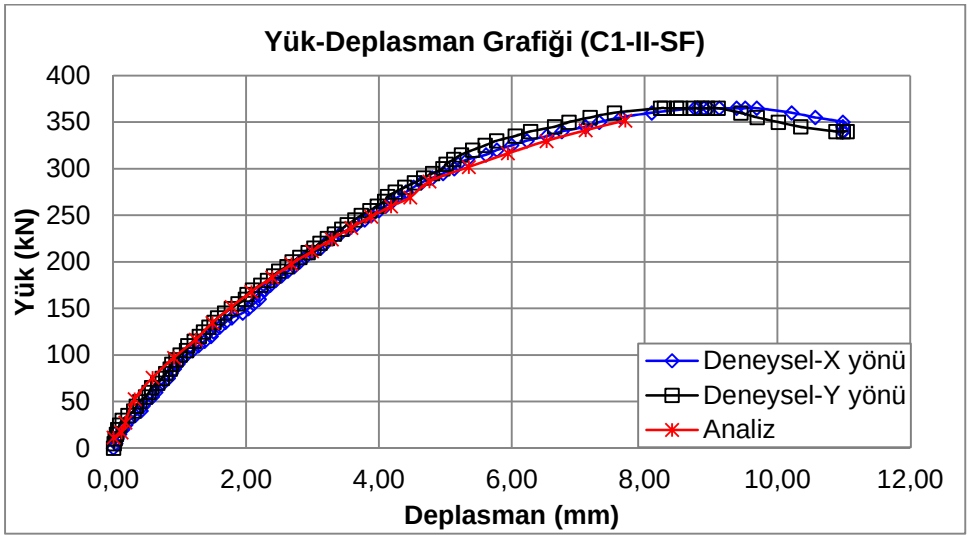
Şekil 5.4. C1-III numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



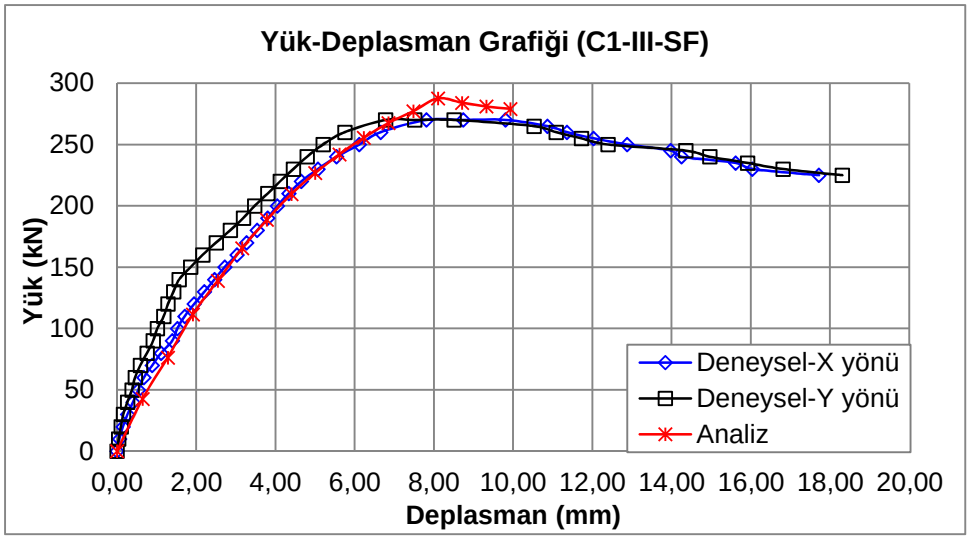
Şekil 5.5. C1-0-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



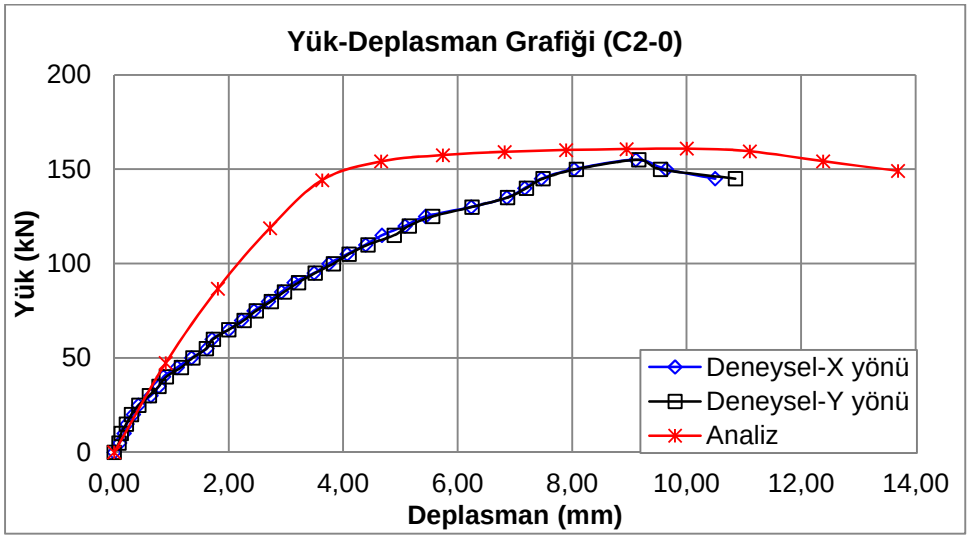
Şekil 5.6. C1-I-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



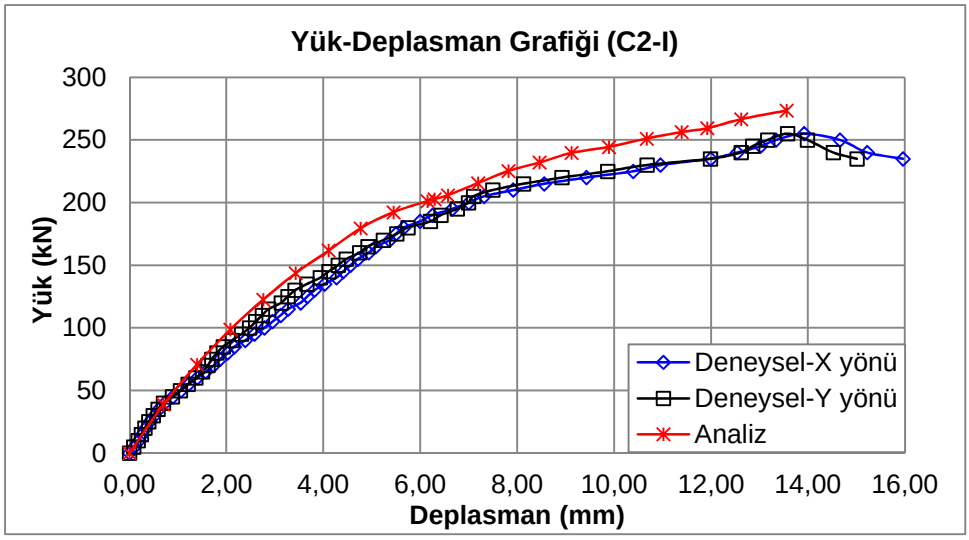
Şekil 5.7. C1-II-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



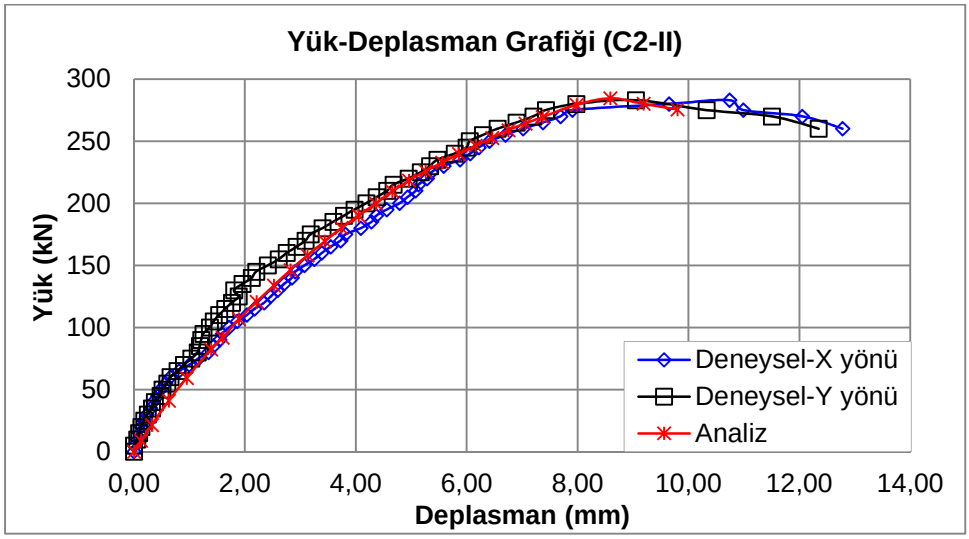
Şekil 5.8. C1-III-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



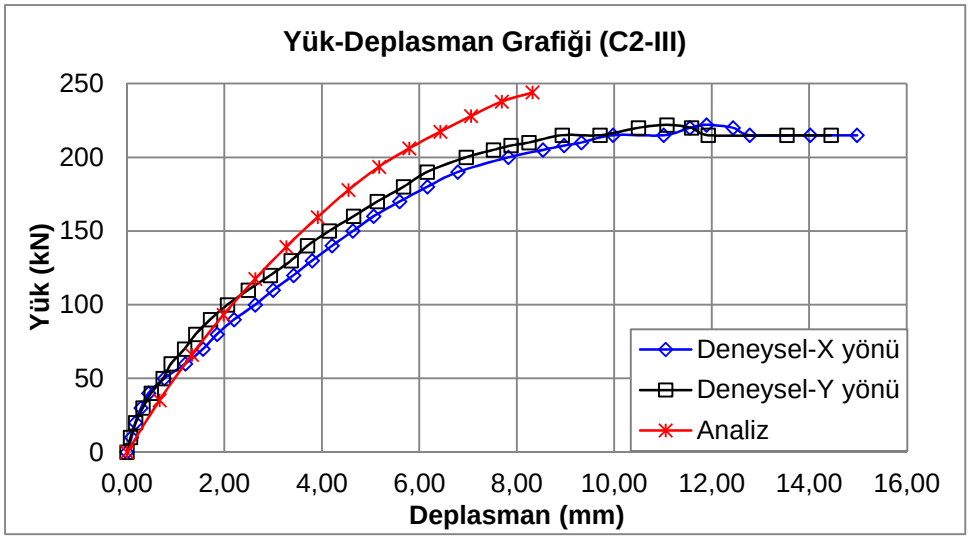
Şekil 5.9. C2-0 numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



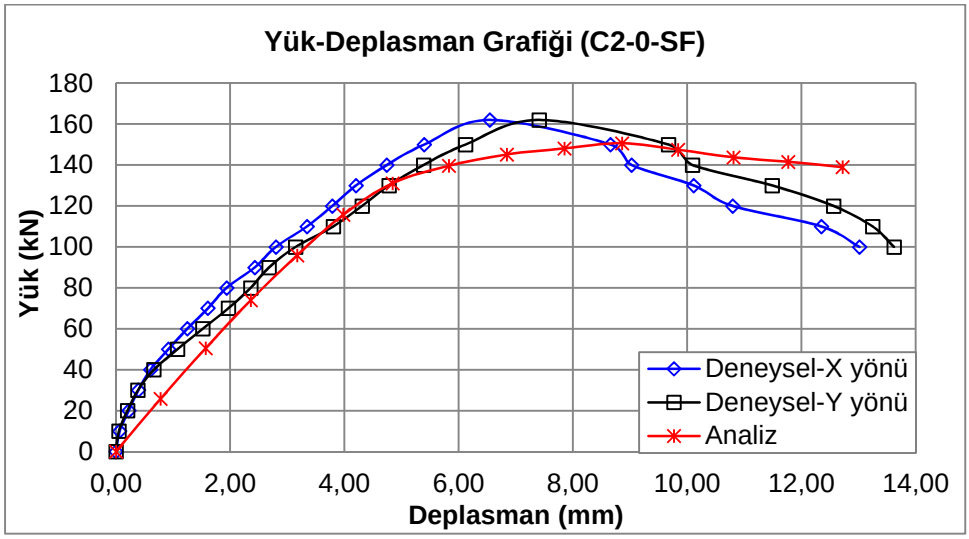
Şekil 5.10. C2-I numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



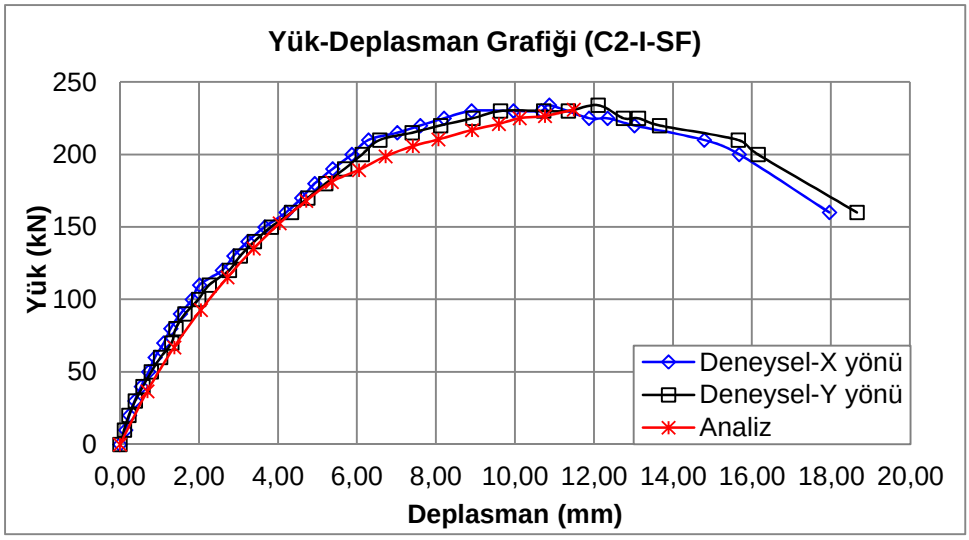
Şekil 5.11. C2-II numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



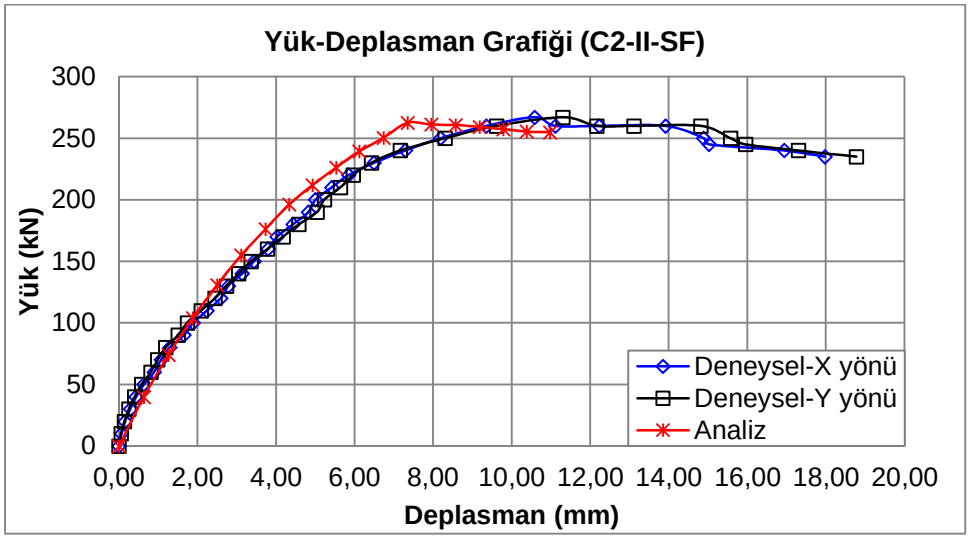
Şekil 5.12. C2-III numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



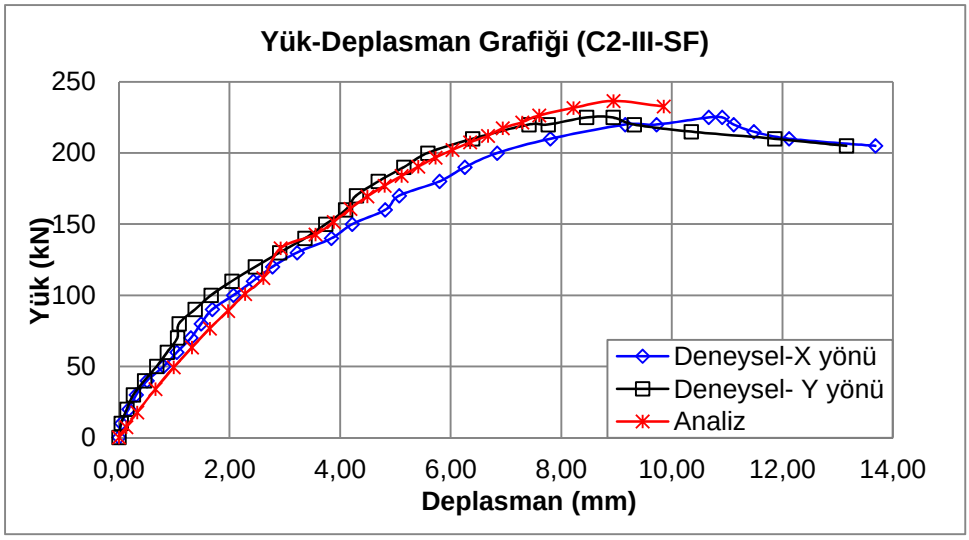
Şekil 5.13. C2-0-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



Şekil 5.14. C2-I-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



Şekil 5.15. C2-II-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği



Şekil 5.16. C2-III-SF numunesi karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği

Şekil 5.1-5.16' da verilen karşılaştırmalı yük-deplasman grafikleri incelendiğinde; C1-0-SF, C1-I-SF, C2-0 ve C2-III numuneleri haricinde, genel olarak numunelere ait yapılan analizlerden elde edilen yük-deplasman eğrilerinin deneysel olarak elde edilen eğrilerle uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Bununla birlikte analizler sonucunda elde edilen eksenel yük taşıma gücü değerlerinin deneysel olarak elde edilen taşıma gücü değerlerine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizlerde tahmini eksenel yük değerleri ile deneysel eksenel yük değerleri arasındaki ortalama oran 1.014 olarak bulunmuştur. Sonucun 1'e oldukça yakın bir değerde olması, çalışma kapsamında elde edilen analitik sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu ve çözüm için teorik olarak önerilen programın, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki karbon lifli polimer sargılı kolonlar için kullanılabileceğini göstermiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan doktora tezi kapsamında karbon lifli polimer (CFRP) kumaş ile dışarıdan sarılarak güçlendirilen, çelik lifli ve lifsiz narin betonarme kolonların yapısal davranışları araştırılmıştır.

Bu amaçla, CFRP sargılı ve sargısız, çelik lifli ve lifsiz toplam 16 adet narin betonarme kolon hazırlanarak iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında deneysel olarak test edilmiştir.

Deneylerde, numuneye ait betonun basınç dayanımı, numunenin çelik lif içerip içermediği, yükün numuneye uygulandığı eksantrisite değeri, narinlik etkisi ve karbon lifli polimer kumaşın mekanik özellikleri, başlıca deneysel parametreler olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Deneysel sonuçlara göre;

- Çelik lif içermeyen, yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlanmış ve CFRP kumaş ile sarılarak güçlendirilmemiş olan kolon numunelerinin uygulanan eksantrik yük etkisinde oldukça gevrek bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Söz konusu numuneler, ani bir şekilde patlayarak taşıma gücüne ulaşmışlardır.
- Çelik lifli yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlanan ve CFRP kumaş ile sarılarak güçlendirilmemiş olan kolon numuneleri ise özellikle maksimum yüke ulaştıktan sonra oldukça sünek bir davranış sergilemişlerdir. Bu da bize yüksek dayanımlı betona belirli oranlarda çelik lif ilave edilmesinin, kolonun sünekliğine ve yük etkisi altında şekil değiştirebilme davranışına önemli ölçüde katkı sağladığını göstermiştir.
- Çalışma kapsamında ele alınan çelik lifli ve lifsiz, CFRP sargılı ve sargısız tüm kolon numunelerinde kırılma, kolonların orta bölgesinde meydana gelmiştir.

- CFRP sargılı olarak tasarlanan çelik lifli ve lifsiz tüm kolonlarda kırılma anında kolonların çekme bölgesinde oluşan çatlaklar nedeniyle CFRP kumaşının ilgili bölgede kolon yüzeyinden koparak ayrıldığı gözlenmiştir.
- CFRP sargılı kolonlarda kırılmanın, kolonların çekme bölgesindeki boyuna liflerin yüksek bir sesle kopması sonucu oluştuğu ve yük kaldırıldığında CFRP kumaşının elastiklik özelliğinden dolayı söz konusu kolonda meydana gelen şekil değiştirmelerin büyük bir kısmının önemli ölçüde geriye döndüğü gözlenmiştir.
- CFRP malzemesi ile sarılan gerek lifli gerek lifsiz kolon numunelerinde, sargı malzemesinde enine yönde bulunan liflerin numunelerin yanal rijitliğini arttırdığı görülmüştür.
- Test edilen kolonlarda önce kolonun çekme bölgesinde, çekme çatlaklarının oluşumu gözlenmiş sonra basınç bölgesinde betonun ezilmesi ile numunenin taşıma gücüne eriştiği belirlenmiştir.
- CFRP kumaşlarının kolonların güçlendirilmesinde kullanımının, çelik lifli ve lifsiz betonarme kolonların deplasman yapma ve eksenel yük taşıma kapasitelerini arttırdığı ve bununla birlikte kolonların eksantrik yük etkisi altında şekil değiştirebilme davranışını iyileştirerek sünekliğine büyük ölçüde katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.
- Kolonların dışarıdan sarılarak güçlendirilmesinde kullanılan CFRP kumaşının tabaka sayısı arttıkça kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerinin arttığı görülmüştür.
- Çift yönlü lif içeren CFRP sargısının, kolonlarda eğilme çatlağı oluşumunu ertelediği sonucuna varılmıştır.
- Ayrıca yapılan deneyler sonucunda, kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerinin uygulanan yükün eksantrisite değeri, ilgili kolona ait betonunun basınç dayanımı ve narinlik etkisi ile bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test edilen tüm kolon numuneleri malzemenin nonlineer davranışını temel alan teorik bir yöntemle analiz edilmiştir. Bu yöntem iki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz kolonlar için Tokgöz ve Dündar (2008) tarafından geliştirilen programın, karbon lifli polimer sargılı betonarme kolonlara uygun olarak yeniden düzenlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Önerilen yöntemde; beton basınç bölgesi, bu bölgede oluşan gerilmelerin hesaplanabilmesi için küçük elemanlara ayrılmıştır. Karbon lifli polimer malzemenin herhangi bir basınç kuvvetini karşılamadığı ve sadece boyuna doğrultuda oluşacak çekme kuvvetinin taşınmasına katkı sağladığı kabul edilmiştir. Bu nedenle karbon lifli malzeme, çekme bölgesinde de küçük elemanlara ayrılarak malzemede oluşan çekme gerilmeleri belirlenmiştir.

Analizde CFRP malzemesi için malzeme davranışının kopma anına kadar lineer elastik olduğunu varsayan, donatı çeliği için elasto-plastik davranışı esas alan gerilme-birim deformasyon modelleri kullanılmıştır. Sargısız çelik lifsiz beton için Hognestad ve ark (1955) tarafından önerilen ve literatürde Hognestad Modeli olarak bilinen beton modeli dikkate alınırken; sargısız çelik lifli beton için Hsu ve Hsu (1994) tarafından, sargılı beton için ise Punurai ve ark (2013) tarafından önerilen gerilme-birim deformasyon modelleri kullanılmıştır.

Sargısız ve sargılı kolon numunelerinin analizinde, oluşacak olan eksenel yük ve moment taşıma kapasitesi değerlerinin hesabı için narinlik etkisini göz önüne alan Rangan (1990) tarafından önerilen Basitleştirilmiş Stabilite Analizi Yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre;

- Çift yönde lif içeren CFRP kumaşının kolonların dışarıdan sarılarak güçlendirilmesinde kullanımının, söz konusu kolonların yapısal dayanımını arttırdığı görülmüştür.

- Analizlerde beton, çelik, CFRP malzemesi ve CFRP sargılı beton davranışı için temel alınan gerilme-deformasyon modellerinin numunelerin gerçek davranışlarına iyi şekilde uyum gösterdiği ve elde edilen analiz sonuçlarının deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmüştür.
- Analizler sonucunda numuneler için hesaplanan tahmini eksenel yük değerleri ile deneysel olarak ölçülen eksenel yük değerleri arasındaki ortalama oran 1'e oldukça yakın çıktığından; çözüm için önerilen yöntemin iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki CFRP sargılı narin betonarme kolonların analizi için kullanılabileceği anlaşılmıştır.
- CFRP sargılı beton için kabul edilen ve analizlerde kullanılan gerilme-deformasyon modelinin, CFRP sargılı narin betonarme kolonların taşıma gücü kapasitesinin ve eksenel yük-yanal deplasman davranışının tahmini için oldukça doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

CFRP sargılı beton davranışının incelendiği bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda tek veya çift kat CFRP sargılamanın betonun dayanım ve deformasyon yapma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı ve özellikle içerisinde çelik lif bulunan betonun sünekliğinin, bulunmayanlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneylerden ve analizlerden elde edilen sonuçlara göre, eksantrik yüklemeye maruz kalan yüksek dayanımlı betonarme kolonların gevrek kırılmasını önlemek ve sünek davranmasını sağlamak için; bu kolonlara çelik lif ilave edilmesi, aynı zamanda burkulmaları azaltmak, süneklik ve dayanımı arttırmak için de CFRP ile sarılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

ACI 318, 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete. Detroit (MI): American Concrete Institute (ACI).

Benzaid, R., Chikh, N. E., and Mesbah, H., 2009. Study of the Compressive Behavior of Short Concrete Columns Confined by Fiber Reinforced Composite. The Arabian Journal for Science and Engineering, 34(1B):15-26.

Csuka, B., and Kollár, L. P., 2012. Analysis of FRP Confined Columns Under Eccentric Loading. Composite Structures, 94:1106-1116.

Doran, B., Koksal, H. O., and Turgay, T., 2009. Nonlinear Finite Element Modeling of Rectangular/Square Concrete Columns Confined with FRP. Materials and Design, 30:3066-3075.

Dundar, C., and Sahin, B., 1993. Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Subjected to Biaxial Bending and Axial Load. Computers and Structures, 49:643-662.

Fraldi, M., Nunziante, L., Carannante, F., Prota, A., Manfredi, G., and Cosenza, E., 2008. On the Prediction of the Collapse Load of Circular Concrete Columns Confined by FRP. Engineering Structures, 30:3247-3264.

Hadi, M. N. S., 2006. Comparative Study of Eccentrically Loaded FRP Wrapped Columns. Composite Structures, 74:127-135.

Hadi, M. N. S., 2007. The Behaviour of FRP Wrapped HSC Columns under Different Eccentric Loads. Composite Structures, 78:560-566.

Hadi, M. N. S., 2009. Behaviour of Eccentric Loading of FRP Confined Fibre Steel Reinforced Concrete Columns. Construction and Building Materials, 23:1102-1108.

Hognestad, E., Hanson, N. W., and McHenry, D., 1955. Concrete Stress Distribution in Ultimate Stress Design. ACI Journal, 27(4):455-479.

Hsu, L. S. M., and Hsu, C. T. T., 1994. Stress-Strain Behavior of Steel Fiber High Strength Concrete under Compression. ACI Structural Journal, 91(4):448-457.

Jiang, T., and Teng, J. G., 2012. Theoretical Model for Slender FRP-Confined Circular RC Columns. Construction and Building Materials, 32:66-76.

Karam, G., and Tabbara, M., 2005. Confinement Effectiveness in Rectangular Concrete Columns with Fiber Reinforced Polymer Wraps. Journal of Composites for Construction, 9(5):388-396.

Karimi, K., Tait, M. J., and El-Dakhakhni, W. W., 2011. Testing and Modeling of a Novel FRP-Encased Steel-Concrete Composite Column. Composite Structures, 93:1463-1473.

Karimi, K., Tait, M. J., and El-Dakhakhni, W. W., 2013. Analytical Modeling and Axial Load Design of a Novel FRP-Encased Steel-Concrete Composite Column for Various Slenderness Ratios. Engineering Structures, 46:526-534.

Maaddawy, T. E., 2009. Strengthening of Eccentrically Loaded Reinforced Concrete Columns with Fiber-Reinforced Polymer Wrapping System: Experimental Investigation and Analytical Modeling. Journal of Composites for Construction, 13(1):13-24.

Maalej, M., Tanwongsval, S., and Paramasivam, P., 2003. Modelling of Rectangular RC Columns Strengthened with FRP. Cement & Concrete Composites, 25:263-276.

Malvar, L. J., Morrill, K. B., and Crawford, J. E., 2004. Numerical Modeling of Concrete Confined by Fiber-Reinforced Composites. Journal of Composites for Construction, 8(4):315-322.

Marques, S. P. C., Marques, D. C. S. C., Silva, J. L., and Cavalcante, M. A. A., 2004. Model for Analysis of Short Columns of Concrete Confined by Fiber-Reinforced Polymer. Journal of Composites for Construction, 8(4):332-340.

Matthys, S., Toutanji, H., Audenaert, K., and Taerwe, L., 2005. Axial Load Behavior of Large-Scale Columns Confined with Fiber-Reinforced Polymer Composites. ACI Structural Journal, 102(2):258-267.

Mirmiran, A., and Shahawy, M., 1997. Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites. Journal of Structural Engineering, 123(5):583-590.

Montoya, E., Vecchio, F. J., and Sheikh, S. A., 2004. Numerical Evaluation of the Behaviour of Steel-and FRP-Confined Concrete Columns using Compression Field Modelling. Engineering Structures, 26:1535-1545.

Özgen, K., Mutlu, Ü., 2005. Karbon Elyaf Üretimi ve Özellikleri. Yapı Dergisi, 92-95.

Pham, T. M., Doan, L. V., and Hadi, M. N. S., 2013. Strengthening Square Reinforced Concrete Columns by Shape Modification and CFRP. Structures Congress, ASCE, 2602-2613.

Punurai, W., Hsu, C. T. T., Punurai, S., and Chen, J., 2013. Biaxially Loaded RC Slender Columns Strengthened by CFRP Composite Fabrics. Engineering Structures, 46:311-321.

Rangan, B. V., 1990. Strength of Reinforced Concrete Slender Columns. ACI Structural Journal, 87(1):32-38.

Rocca, S., Galati, N., and Nanni, A., 2009. Interaction Diagram Methodology for Design of FRP-Confined Reinforced Concrete Columns. Construction and Building Materials, 23:1508-1520.

Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R., and Li, M. W., 1994. Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps. ACI Structural Journal, 91(4):434-447.

Samaan, M., Mirmiran, A., and Shahawy, M., 1998. Model of Concrete Confined by Fiber Composites. Journal of Structural Engineering, 124(9):1025-1031.

SAP2000, 1999. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

Sharma, S. S., Dave, U. V., and Solanki, H., 2013. FRP Wrapping for RC Columns with Varying Corner Radii. Procedia Engineering, 51:220-229.

Sheikh, S. A., and Li, Y., 2007. Design of FRP Confinement for Square Concrete Columns. Engineering Structures, 29:1074-1083.

Silva, M. A. G., 2011. Behavior of Square and Circular Columns Strengthened with Aramidic or Carbon Fibers. Construction and Building Materials, 25:3222-3228.

Song, X., Gu, X., Li, Y., Chen, T., and Zhang, W., 2012. Mechanical Behavior of FRP-Strengthened Concrete Columns Subjected to Concentric and Eccentric Compression Loading. Journal of Composites for Construction, 17:336-346.

Tan, K. H., 2002. Strength Enhancement of Rectangular Reinforced Concrete Columns using Fiber-Reinforced Polymer. Journal of Composites for Construction, 6(3):175-183.

Teng, J. G., Yu, T., Wong, Y. L., and Dong, S. L., 2007. Hybrid FRP-Concrete-Steel Tubular Columns: Concept and Behavior. Construction and Building Materials, 21:846-854.

Teng, J. G., Hu, Y. M., and Yu, T., 2013. Stress-Strain Model for Concrete in FRP-Confined Steel Tubular Columns. Engineering Structures, 49:156-167.

Tokgöz, S., 2006. Öngerilmeli ve Betonarme Elemanların İki Eksenli Eğilme ve Eksenel Yük Etkisi Altında Davranışı. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 259s.

Tokgoz, S., and Dundar, C., 2008. Experimental Tests on Biaxially Loaded Concrete-Encased Composite Columns. Steel and Composite Structures, 8(5):423-438.

Val, D. V., 2003. Reliability of Fiber-Reinforced Polymer-Confined Reinforced Concrete Columns. Journal of Structural Engineering, 129(8):1122-1130.

Zaki, M. K., 2013. Optimal Performance of FRP Strengthened Concrete Columns Under Combined Axial-Flexural Loading. Engineering Structures, 46:14-27.

ÖZGEÇMİŞ

03/12/1985 yılında Adana'da doğdu. İlköğrenimini Adana'da, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında başladığı Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında yatay geçiş ile Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne geldi. 2008 yılında mezun oldu ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılında ilgili anabilim dalında Araştırma Görevliliği'ne ve 2011 yılında aynı anabilim dalında doktora eğitimine başladı. 2016 yılı başında ÖYP atamaları ile Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne araştırma görevlisi olarak atandı ve geçici görevlendirme ile tekrar Çukurova Üniversitesi'ne döndü. Evli ve bir çocuk annesi.

EKLER

EK-1

FOTOĞRAFLAR

- **Kolon Numunelerinin Hazırlanışı**



Resim 1. Numunelere ait donatıların bağlanması



Resim 2. Hazırlanan numune donatıları



Resim 3. Kalıba yerleştirilen kolon donatısı ve kalıp detayı



Resim 4. Kolon donatısı ve numune kalıbına ait plan görüntüsü

· **Numune Betonu Hazırlanışı**



Resim 5. Kum, çakıl malzemelerinin hazırlanışı



Resim 6. Beton karışımı için belirli miktarlarda tartılarak hazırlanan agrega (kum, çakıl) ve çimento



Resim 7. Beton mikseri ve hazırlanan beton karışımı



Resim 8. Hazırlanan betonun numune kalıbına dökülmesi ve vibratör yardımıyla sıkıştırılması



Resim 9. Vibratör ile sıkıştırılıp yüzeyi mala ile düzeltilmiş numune betonu



Resim 10. Hazırlanan numune betonu ve numune betonundan alınan standart silindir numune örnekleri

· **Hazırlanan Sargısız Kolon Numuneleri ve Numunelere ait Deney Görüntüleri**



Resim 11. C1-0 numunesi deney düzeneği görüntüsü



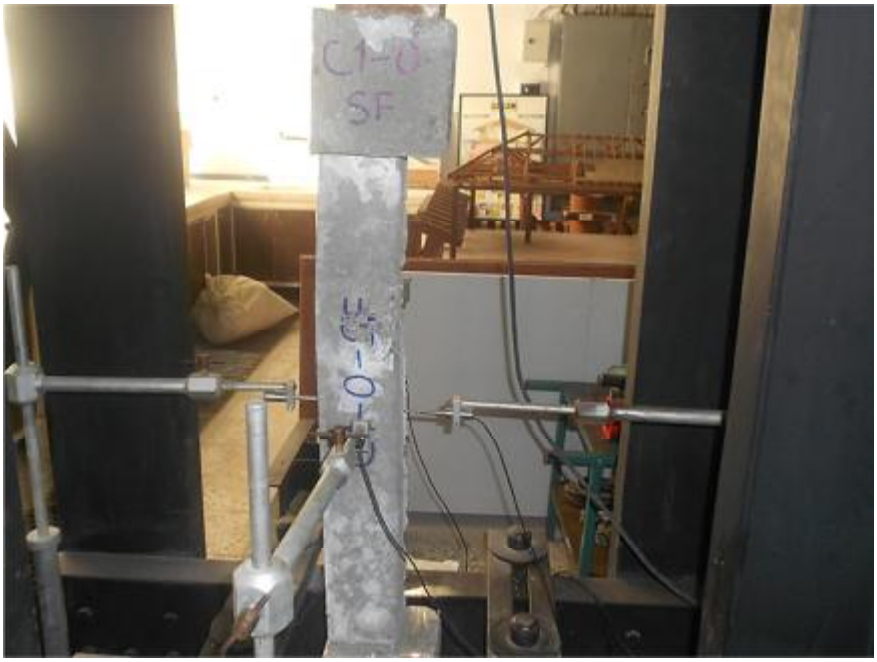
Resim 12. C1-0 numunesi göçme anı



Resim 13. C1-0 numunesinin çekme bölgesinde göçme anında gözlenen çatlaklar



Resim 14. C1-0-SF numunesi deney düzeneği



Resim 15. C1-0-SF numunesi göçme anı



Resim 16. C1-0-SF numunesi deney sonrası kırılma görüntüsü

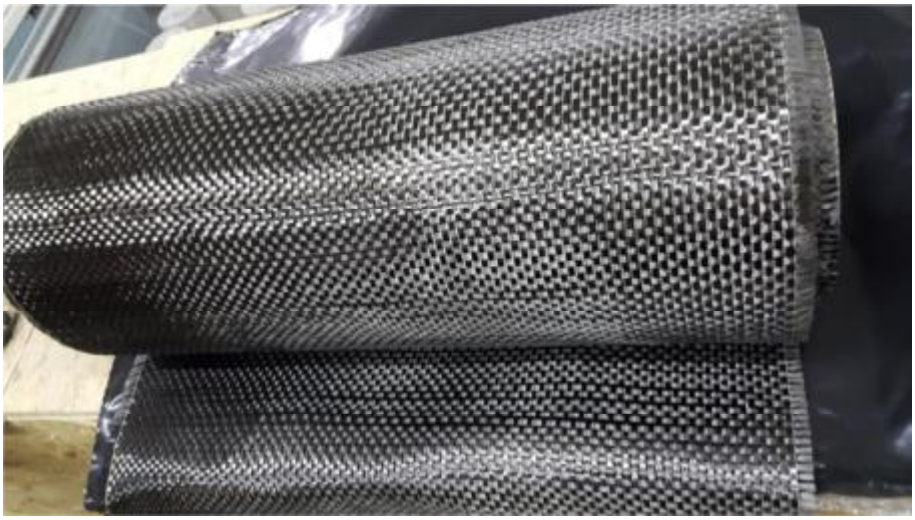


Resim 17. C1-0-SF numunesinin göçme anında numunenin çekme bölgesinde gözlenen kırılma

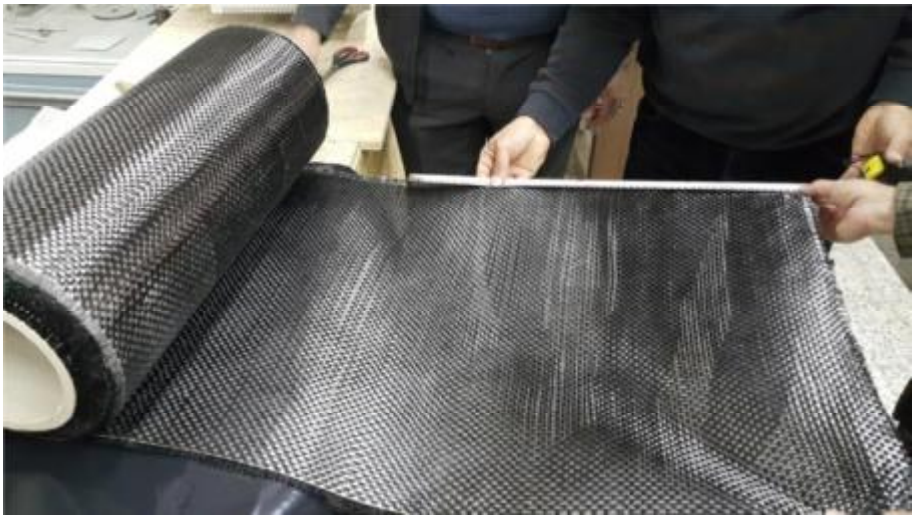


Resim 18. Test edilecek kolon numuneleri ve numunelere ait silindir numune örnekleri

· **Karbon Lifli Polimer (CFRP) Sargılı Kolon Numunelerinin Hazırlanışı**



Resim 19. Rulo halinde bulunan karbon lifli polimer malzeme (CFRP)



Resim 20. Kolonların sarılmasında kullanılan CFRP kumaşının belirlenen ölçülerde kesilerek hazırlanması



Resim 21. Numunelerin sarılması için belli oranlarda hazırlanan epoksi reçine karışımı ve karışımın kolon yüzeyine uygulanışı

- **Hazırlanan CFRP Sargılı Kolon Numuneleri ve Numunelere ait Deney Görüntüleri**



Resim 22. Tek kat CFRP sargılı C1-I numunesi hazırlanışı



Resim 23. C1-I numunesi deney öncesi ve sonrası deney düzeneği görüntüsü



Resim 24. C1-I numunesi göçme anı


Resim 25. Tek kat CFRP sargılı C1-I-SF numunesi hazırlanışı



Resim 26. C1-I-SF numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmesi



Resim 27. C1-I-SF numunesi göçme anı



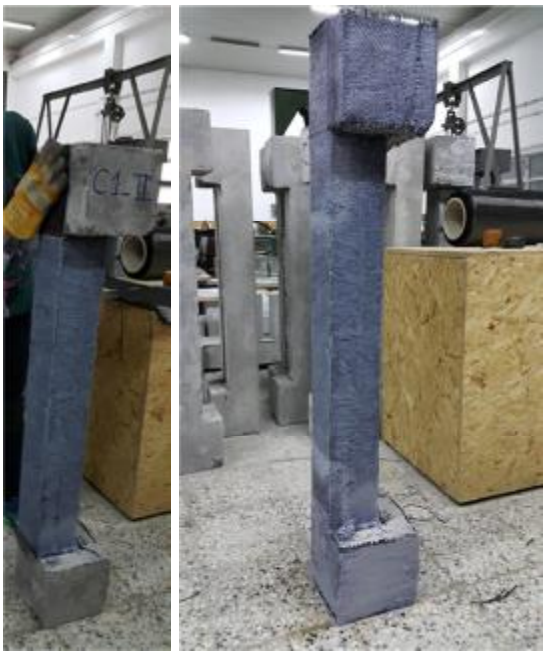
Resim 28. C1-I-SF numunesinin basınç bölgesinde göçme anında betondaki ezilmelerden dolayı ortaya çıkan görüntü



Resim 29. C1-I-SF numunesinin çekme bölgesinde göçme anında ortaya çıkan çatlakların neden olduğu görüntü



Resim 30. Deney sonrası C1-I-SF numunesinin çekme ve basınç bölgesinde ortaya çıkan deformasyon görüntüleri



Resim 31. Çift kat CFRP sargılı C1-II numunesi hazırlanışı



Resim 32. C1-II numunesi deney düzeneği görüntüleri



Resim 33. Deney düzeneği genel görünüşü



Resim 34. Çift kat CFRP sargılı C1-III numunesi deney öncesi görüntüleri



Resim 35. Deney sonrası C1-III numunesinin çekme ve basınç bölgesinde ortaya çıkan deformasyon görüntüleri



Resim 36. C1-III numunesi göçme anı



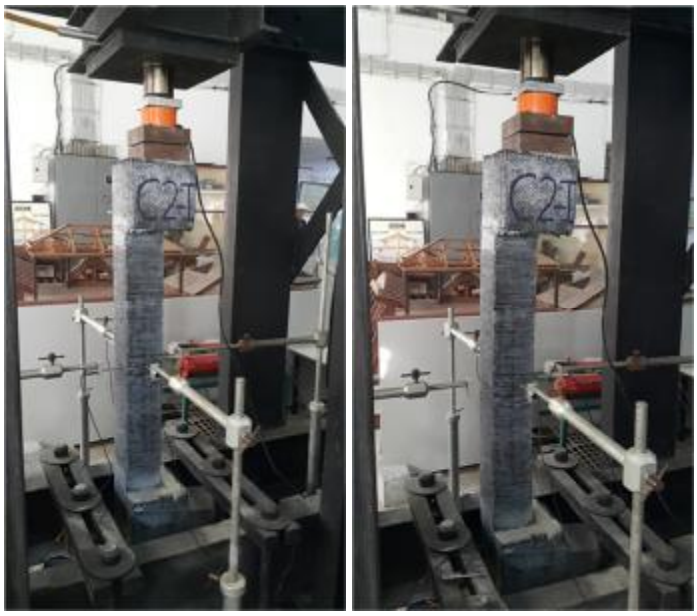
Resim 37. Çift kat CFRP sargılı C1-III-SF numunesi deney öncesi ve sonrası görüntüleri



Resim 38. Deney sonrası C1-III-SF numunesinin çekme bölgesinde ortaya çıkan deformasyon görüntüleri



Resim 39. C2-0 numunesi göçme anı



Resim 40. Tek kat CFRP sargılı C2-I numunesi deney öncesi ve sonrası görüntüleri



Resim 41. Tek kat CFRP sargılı C2-I-SF numunesi göçme anı

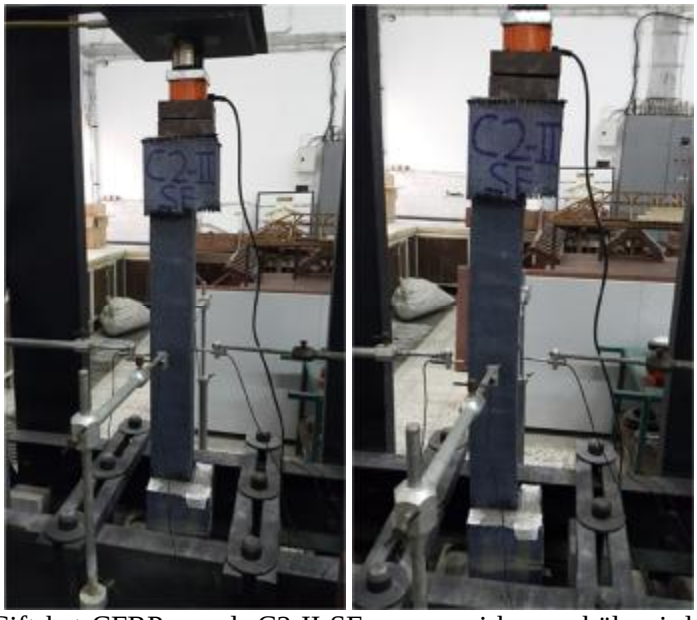


Resim 42. C2-I-SF numunesi deney düzeneği görüntüsü

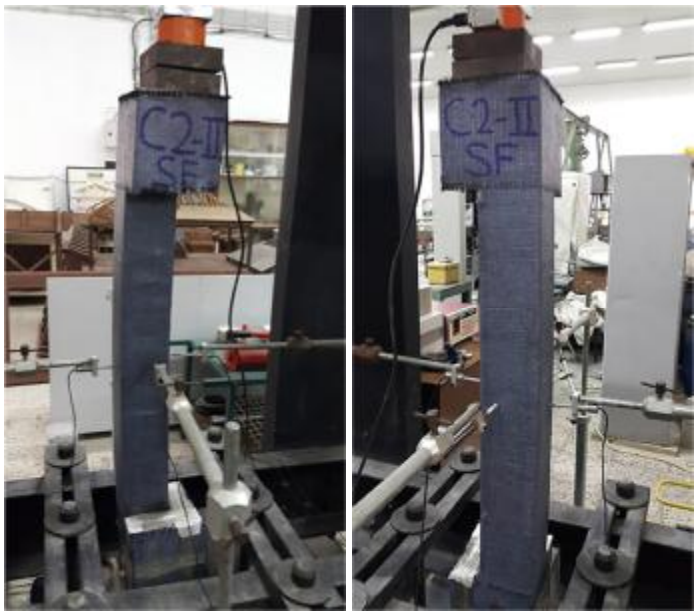

Resim 43. Çift kat CFRP sargılı C2-II numunesi deney düzeneği görüntüsü



Resim 44. Çift kat CFRP sargılı C2-II numunesi göçme anı



Resim 45. Çift kat CFRP sargılı C2-II-SF numunesi basınç bölgesi deney sonrası görüntüleri



Resim 46. Çift kat CFRP sargılı C2-II-SF numunesi göçme anı



Resim 47. Çift kat CFRP sargılı C2-III numunesi deney öncesi görüntüleri



Resim 48. C2-III numunesi göçme anı



Resim 49. C2-III numunesinin çekme bölgesinde göçme anında ortaya çıkan deformasyon görüntüleri



Resim 50. Çift kat CFRP sargılı C2-III-SF numunesi göçme anı



Resim 51. Test edilen deney numunelerinin deney sonrası görüntüleri

· **Kolon Numunelerine ait Standart Silindir Numune Örnekleri**



Resim 52. C1-0 numunesi standart basınç deney düzeneği ve numune kırılma biçimi



Resim 53. Sargısız ve tek kat CFRP sargılı olarak test edilen C1-I numunesi standart basınç deneyi deney düzenekleri ve deney sonrası numune kırılma biçimleri



Resim 54. Sargısız ve çift kat CFRP sargılı olarak test edilen C1-II ve C1-III numunesi standart basınç deneyi deney düzenekleri ve deney sonrası numune kırılma biçimleri



Resim 55. C1-0-SF ve tek kat CFRP sargılı C1-I-SF numunesi standart basınç deneyi deney düzenekleri ve deney sonrası numune kırılma biçimleri



Resim 56. Sargısız ve çift kat CFRP sargılı C1-II-SF, C2-0 ve C2-I numunelerine ait deney sonrası numune kırılma görüntüleri



Resim 57. Sargısız ve çift kat CFRP sargılı C2-II, C2-III ve C2-0-SF numunelerine ait deney sonrası numune kırılma görüntüleri



Resim 58. Sargısız ve tek kat CFRP sargılı C2-I-SF ve sargısız ve çift kat CFRP sargılı C2-III-SF numunelerine ait deney sonrası numune kırılma görüntüleri



Resim 59. Sargısız silindir numunelerin deney sonrası görüntüleri



Resim 60. Tek veya çift kat CFRP sargılı silindir numunelerin deney sonrası görüntüleri

EK-2

DENEYSEL YÜK-DEPLASMAN DATALARI

C1-0 Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.18	0.10
20	0.32	0.21
30	0.42	0.30
40	0.64	0.51
50	0.88	0.77
60	1.11	0.97
70	1.42	1.19
80	1.58	1.31
90	1.88	1.49
100	2.23	1.77
110	2.50	2.13
120	2.82	2.40
130	3.11	2.59
140	3.41	2.82
150	3.78	3.10
160	4.11	3.33
170	4.52	3.98
180	5.13	4.43
190	5.72	4.79
203	**6.46**	**5.39**
200	6.68	5.62
190	7.52	6.60
180	8.47	7.42

C1-I Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
5	0.03	0.02
10	0.04	0.03
15	0.12	0.08
20	0.18	0.13
25	0.26	0.19
30	0.36	0.28
35	0.40	0.31
40	0.49	0.38
45	0.56	0.44
50	0.61	0.49
55	0.69	0.56
60	0.80	0.64
65	0.90	0.70
70	0.95	0.75
75	1.06	0.84
80	1.18	0.97
85	1.37	1.14
90	1.45	1.23
95	1.55	1.33
100	1.71	1.51
105	1.83	1.65
110	1.93	1.77
115	2.00	1.85
120	2.13	2.00
125	2.31	2.19
130	2.40	2.30
135	2.58	2.51
140	2.77	2.73
145	2.89	2.86
150	3.03	3.02
155	3.15	3.16
160	3.25	3.28
165	3.29	3.32
170	3.33	3.37
175	3.74	3.56
180	3.93	3.76
185	4.10	3.96
190	4.26	4.15
195	4.36	4.28
200	4.46	4.41
205	4.67	4.67
210	4.90	4.95
215	5.00	5.09
220	5.16	5.28
225	5.38	5.64
230	5.57	5.96
235	5.78	6.18
240	6.02	6.43
245	6.48	6.90
250	7.10	7.42
255	7.74	7.98
258	**8.00**	**8.26**
250	8.20	8.42
245	8.88	9.00
235	9.92	9.70
230	10.33	10.00
225	10.86	10.37
220	10.95	10.63
215	10.95	10.79
210	10.95	10.84

C1-II Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)	Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00	185	2.94	2.78
5	0.06	0.01	190	3.03	2.87
10	0.10	0.02	195	3.07	2.91
15	0.14	0.05	200	3.12	2.97
20	0.22	0.10	205	3.28	3.13
25	0.29	0.13	210	3.36	3.20
30	0.33	0.15	215	3.44	3.29
35	0.40	0.19	220	3.53	3.40
40	0.45	0.24	225	3.62	3.50
45	0.53	0.30	230	3.73	3.62
50	0.59	0.35	235	3.88	3.76
55	0.68	0.43	240	4.05	3.91
60	0.74	0.48	245	4.20	4.02
65	0.84	0.57	250	4.35	4.14
70	0.88	0.61	255	4.53	4.27
75	0.95	0.68	260	4.71	4.40
80	1.03	0.77	265	4.99	4.62
85	1.16	0.91	270	5.18	4.76
90	1.17	0.93	275	5.33	4.89
95	1.27	1.03	280	5.51	5.02
100	1.35	1.10	285	5.67	5.15
105	1.52	1.25	290	5.87	5.33
110	1.61	1.33	295	6.17	5.63
115	1.69	1.42	300	6.23	5.67
120	1.78	1.51	305	6.38	5.83
125	1.89	1.62	310	6.54	5.98
130	1.96	1.70	315	6.76	6.22
135	2.02	1.76	320	7.02	6.48
140	2.11	1.86	325	7.18	6.64
145	2.22	1.99	330	7.39	6.83
150	2.29	2.07	335	7.62	7.09
155	2.38	2.17	340	8.06	7.42
160	2.45	2.25	340	8.31	7.64
165	2.52	2.32	342	8.45	7.77
170	2.61	2.43	344	8.55	7.89
175	2.72	2.55	345	8.65	7.97
180	2.77	2.60	346	8.72	8.03

C1-II Deney Dataları Devamı

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
347	8.84	8.14
347.5	8.90	8.19
348	9.00	8.28
348.5	9.13	8.38
349	9.24	8.45
350	**9.42**	**8.58**
345	9.56	8.69
340	9.67	8.75
335	9.72	8.80
330	9.77	8.84
325	9.82	8.88
320	9.93	8.92
315	9.98	8.95
310	10.03	8.97
305	10.12	9.06
300	10.25	9.15
295	10.38	9.27
290	10.49	9.38
285	10.72	9.49
280	10.81	10.00
270	11.25	10.50
260	11.48	11.30
250	12.65	11.90

C1-III Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.06	0.02
20	0.17	0.12
30	0.29	0.22
40	0.45	0.37
50	0.55	0.50
60	0.74	0.71
70	0.96	0.97
80	1.21	1.27
90	1.52	1.58
100	1.78	1.77
110	2.13	1.89
120	2.43	2.05
130	2.72	2.17
140	3.06	2.46
150	3.38	2.75
160	3.70	3.09
170	4.05	3.42
180	4.49	3.87
190	4.97	4.33
200	5.33	4.73
210	5.73	5.13
220	6.08	5.55
230	6.66	6.00
240	7.28	6.45
250	8.70	7.53
254	**10.15**	**8.66**
250	10.67	9.14
245	10.98	9.50
240	11.29	10.44
235	11.45	10.55
230	11.98	10.87

C1-0-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
5	0.08	0.03
10	0.11	0.05
15	0.12	0.08
20	0.13	0.10
25	0.17	0.13
30	0.21	0.16
35	0.25	0.23
40	0.30	0.30
45	0.38	0.35
50	0.43	0.45
55	0.53	0.58
60	0.58	0.62
65	0.66	0.73
70	0.76	0.82
75	0.86	0.92
80	0.98	0.94
85	1.08	0.95
90	1.18	1.06
95	1.31	1.21
100	1.42	1.27
105	1.60	1.49
110	1.65	1.54
115	1.76	1.63
120	1.85	1.70
125	1.94	1.83
130	2.06	1.92
135	2.21	2.07
140	2.33	2.16
145	2.47	2.35
150	2.57	2.42
155	2.72	2.60
160	2.85	2.73
165	3.02	2.89
170	3.17	3.06
175	3.37	3.27
180	2.77	2.60
185	3.63	3.52
190	3.82	3.71
195	4.03	3.94
200	4.16	4.07
205	4.40	4.30
210	4.64	4.51
215	4.93	4.86
216	5.14	5.06
217	5.45	5.40
219	5.80	5.75
220	**6.40**	**6.20**
215	6.60	6.50
210	7.10	7.00
205	7.60	7.50
200	8.20	8.00

C1-I-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)	Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00	185	2.89	2.45
5	0.04	0.02	190	3.00	2.54
10	0.04	0.03	195	3.10	2.63
15	0.07	0.06	200	3.19	2.71
20	0.11	0.11	205	3.29	2.81
25	0.15	0.17	210	3.37	2.92
30	0.18	0.22	215	3.51	3.06
35	0.22	0.27	220	3.69	3.19
40	0.26	0.32	225	3.90	3.36
45	0.28	0.36	230	4.16	3.57
50	0.32	0.42	235	4.21	3.58
55	0.36	0.49	240	4.38	3.70
60	0.43	0.57	245	4.56	3.85
65	0.49	0.64	250	4.75	3.99
70	0.56	0.70	255	4.94	4.16
75	0.64	0.78	260	5.13	4.30
80	0.74	0.89	265	5.31	4.49
85	0.82	0.98	270	5.52	4.66
90	0.92	1.06	275	5.72	4.83
95	0.96	1.11	280	6.00	5.02
100	1.04	1.20	285	6.27	5.22
105	1.13	1.29	290	6.67	5.60
110	1.21	1.37	295	7.09	6.00
115	1.34	1.42	**299**	**7.74**	**6.57**
120	1.51	1.50	295	7.94	6.77
125	1.63	1.54	295	8.49	7.31
130	1.79	1.62	290	9.21	7.99
135	1.87	1.67	285	9.62	8.45
140	1.97	1.74	290	9.21	7.99
145	2.11	1.83	285	9.62	8.45
150	2.19	1.88	280	9.92	8.75
155	2.33	1.99	275	10.15	9.07
160	2.43	2.02	270	10.28	9.29
165	2.49	2.11	265	10.81	9.63
170	2.58	2.17	260	11.02	9.95
175	2.69	2.29	255	11.39	10.48
180	2.80	2.37	250	11.94	10.83

C1-II-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)	Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00	185	2.53	2.41
5	0.03	0.01	190	2.63	2.49
10	0.06	0.03	195	2.72	2.61
15	0.10	0.04	200	2.80	2.69
20	0.14	0.07	205	2.89	2.81
25	0.19	0.09	210	2.98	2.93
30	0.24	0.13	215	3.13	3.02
35	0.33	0.22	220	3.20	3.11
40	0.42	0.31	225	3.30	3.22
45	0.44	0.34	230	3.42	3.33
50	0.50	0.40	235	3.54	3.44
55	0.58	0.48	240	3.66	3.52
60	0.64	0.54	245	3.79	3.63
65	0.67	0.58	250	3.88	3.73
70	0.75	0.67	255	4.00	3.86
75	0.82	0.73	260	4.10	3.97
80	0.87	0.79	265	4.20	4.08
85	0.92	0.86	270	4.29	4.13
90	0.97	0.88	275	4.41	4.25
95	1.02	0.94	280	4.52	4.39
100	1.10	1.00	285	4.64	4.53
105	1.19	1.10	290	4.80	4.67
110	1.28	1.12	295	4.96	4.81
115	1.38	1.22	300	5.14	4.96
120	1.47	1.29	305	5.19	5.01
125	1.51	1.36	310	5.33	5.13
130	1.60	1.44	315	5.61	5.24
135	1.69	1.52	320	5.78	5.41
140	1.78	1.57	325	6.00	5.60
145	1.95	1.67	330	6.23	5.77
150	2.04	1.78	335	6.53	6.05
155	2.11	1.88	340	6.76	6.28
160	2.20	1.99	345	7.11	6.64
165	2.21	2.01	350	7.32	6.86
170	2.28	2.10	355	7.64	7.18

C1-II-SF Deney Dataları Devamı

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
360	8.11	7.55
365	8.76	8.24
365	8.89	8.48
365	9.12	8.73
365	9.52	8.95
365	**9.69**	**9.10**
360	10.21	9.45
355	10.57	9.70
350	10.98	10.01
345	11.59	10.35

C1-III-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.06	0.04
20	0.15	0.10
30	0.26	0.16
40	0.40	0.26
50	0.54	0.38
60	0.67	0.45
70	0.89	0.59
80	1.11	0.75
90	1.39	0.91
100	1.52	1.01
110	1.71	1.18
120	1.95	1.29
130	2.20	1.42
140	2.46	1.57
150	2.72	1.86
160	3.02	2.16
170	3.27	2.50
180	3.54	2.85
190	3.80	3.19
200	4.05	3.48
210	4.33	3.80
220	4.65	4.12
230	5.07	4.45
240	5.54	4.80
250	6.12	5.20
260	6.66	5.75
270	7.81	6.78
270	8.74	7.51
273	**9.80**	**8.51**
265	10.86	10.52
260	11.36	11.09
255	12.03	11.72
250	12.88	12.39
245	13.98	14.36
240	14.25	14.96
235	15.62	15.91
230	16.04	16.81
225	17.72	18.31

C2-0 Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
5	0.09	0.08
10	0.17	0.12
15	0.22	0.21
20	0.33	0.30
25	0.42	0.43
30	0.64	0.61
35	0.78	0.78
40	0.86	0.91
45	1.10	1.17
50	1.35	1.37
55	1.62	1.61
60	1.71	1.73
65	2.00	2.00
70	2.22	2.27
75	2.44	2.48
80	2.69	2.74
85	2.92	2.97
90	3.14	3.22
95	3.49	3.51
100	3.75	3.83
105	4.07	4.10
110	4.39	4.43
115	4.68	4.89
120	5.08	5.15
125	5.44	5.56
130	6.24	6.25
135	6.86	6.87
140	7.17	7.20
145	7.46	7.49
150	8.03	8.07
155	**9.11**	**9.16**
150	9.64	9.54
145	10.50	10.85

C2-I Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
5	0.10	0.09
10	0.20	0.18
15	0.26	0.24
20	0.34	0.32
25	0.42	0.39
30	0.51	0.49
35	0.61	0.58
40	0.73	0.70
45	0.90	0.88
50	1.06	1.05
55	1.22	1.21
60	1.40	1.37
65	1.57	1.51
70	1.74	1.62
75	1.87	1.70
80	2.02	1.80
85	2.17	1.93
90	2.39	2.12
95	2.58	2.31
100	2.78	2.48
105	2.95	2.60
110	3.12	2.74
115	3.27	2.88
120	3.53	3.13
125	3.67	3.27
130	3.82	3.41
135	4.03	3.66
140	4.27	3.94
145	4.41	4.11
150	4.56	4.30
155	4.72	4.47
160	4.94	4.75
165	5.09	4.92
170	5.37	5.24
175	5.50	5.52
180	5.66	5.74
185	6.00	6.21
190	6.25	6.42
195	6.66	6.77
200	7.00	6.99
205	7.32	7.10
210	7.92	7.49
215	8.56	8.13
220	9.43	8.92
225	10.40	9.87
230	10.96	10.68
235	11.99	11.99
240	12.54	12.62
245	13.02	12.86
250	13.34	13.17
255	**13.92**	**13.58**
250	14.66	13.99
240	15.22	14.52
235	15.96	15.01

C2-II Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
5	0.01	0.00
10	0.06	0.05
15	0.10	0.09
20	0.13	0.13
25	0.18	0.19
30	0.23	0.24
35	0.30	0.32
40	0.35	0.38
45	0.43	0.48
50	0.48	0.51
55	0.57	0.60
60	0.65	0.66
65	0.81	0.78
70	1.00	0.90
75	1.16	1.03
80	1.34	1.15
85	1.44	1.19
90	1.54	1.21
95	1.59	1.25
100	1.71	1.37
105	1.86	1.44
110	2.04	1.53
115	2.17	1.64
120	2.35	1.76
125	2.47	1.89
130	2.59	1.80
135	2.70	1.96
140	2.85	2.12
145	2.91	2.20
150	3.08	2.41
155	3.25	2.61
160	3.39	2.75
165	3.55	2.93
170	3.73	3.10
175	3.82	3.18
180	4.09	3.40
185	4.28	3.60
190	4.37	3.79
195	4.56	3.98
200	4.79	4.19
205	4.93	4.38
210	5.08	4.56
215	5.13	4.68
220	5.29	4.95
225	5.36	5.17
230	5.58	5.34
235	5.88	5.47
240	6.06	5.79
245	6.22	6.00
250	6.41	6.06
255	6.70	6.29
260	7.02	6.55
265	7.38	6.90
270	7.69	7.21
275	7.91	7.43
280	9.65	7.98
283	**10.74**	**9.05**
275	10.99	10.33
270	12.05	11.50
260	12.78	12.35

C2-III Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.09	0.07
20	0.17	0.18
30	0.29	0.32
40	0.44	0.49
50	0.77	0.74
60	1.20	0.90
70	1.56	1.18
80	1.85	1.41
90	2.20	1.71
100	2.63	2.06
110	3.00	2.49
120	3.42	2.94
130	3.80	3.37
140	4.21	3.70
150	4.64	4.15
160	5.06	4.65
170	5.60	5.14
180	6.16	5.68
190	6.79	6.16
200	7.83	6.96
205	8.53	7.52
208	8.97	7.88
210	9.33	8.25
215	9.97	8.93
215	11.01	9.71
220	11.55	10.49
222	**11.89**	**11.08**
220	12.44	11.59
215	12.78	11.93
215	14.02	13.54
215	14.98	14.45
200	15.27	14.82
180	18.93	18.12
160	19.47	19.00
140	19.98	19.40
120	20.32	19.48
110	20.89	19.54

C2-0-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.06	0.05
20	0.22	0.20
30	0.39	0.38
40	0.60	0.66
50	0.92	1.08
60	1.25	1.52
70	1.61	1.97
80	1.94	2.36
90	2.43	2.68
100	2.80	3.15
110	3.35	3.80
120	3.79	4.31
130	4.21	4.78
140	4.74	5.38
150	5.40	6.12
162	**6.55**	**7.41**
150	8.66	9.67
140	9.03	10.10
130	10.11	11.49
120	10.80	12.56
110	12.35	13.25
100	13.02	13.62

C2-I-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.14	0.11
20	0.24	0.23
30	0.37	0.38
40	0.54	0.58
50	0.72	0.79
60	0.89	1.03
70	1.11	1.31
80	1.28	1.41
90	1.53	1.64
100	1.82	1.99
110	2.01	2.26
120	2.59	2.76
130	2.88	3.04
140	3.23	3.40
150	3.67	3.83
160	4.21	4.34
170	4.60	4.76
180	4.93	5.21
190	5.39	5.68
200	5.87	6.13
210	6.29	6.58
215	7.02	7.40
220	7.61	8.11
225	8.21	8.94
230	8.91	9.64
230	9.96	10.73
230	10.67	11.35
234	**10.87**	**12.10**
225	11.88	12.74
225	12.35	13.13
220	13.03	13.66
210	14.79	15.65
200	15.68	16.15
160	17.96	18.66

C2-II-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.06	0.05
20	0.16	0.14
30	0.29	0.25
40	0.43	0.39
50	0.64	0.58
60	0.89	0.81
70	1.07	0.98
80	1.29	1.19
90	1.65	1.50
100	1.89	1.74
110	2.24	2.09
120	2.59	2.45
130	2.78	2.73
140	3.13	3.04
150	3.43	3.36
160	3.80	3.78
170	4.03	4.17
180	4.43	4.58
190	4.82	5.04
200	5.01	5.23
210	5.42	5.64
220	5.85	5.96
230	6.49	6.43
240	7.29	7.16
250	8.19	8.30
260	9.36	9.62
267	**10.59**	**11.31**
260	11.11	12.17
260	12.23	13.11
260	13.92	14.81
250	14.89	15.57
245	15.03	15.96
240	16.94	17.30
235	17.98	18.78

C2-III-SF Numunesi Yük-Deplasman Dataları

Yük (kN)	Deplasman (x) (mm)	Deplasman (y) (mm)
0	0.00	0.00
10	0.04	0.04
20	0.17	0.14
30	0.31	0.26
40	0.51	0.46
50	0.81	0.68
60	1.05	0.87
70	1.30	1.06
80	1.48	1.08
90	1.69	1.37
100	2.07	1.66
110	2.43	2.04
120	2.78	2.47
130	3.22	2.90
140	3.84	3.36
150	4.22	3.74
160	4.82	4.10
170	5.07	4.29
180	5.80	4.69
190	6.26	5.15
200	6.84	5.58
210	7.80	6.39
220	9.16	7.41
220	9.72	7.76
225	10.67	8.45
225	**10.91**	**8.94**
220	11.12	9.32
215	11.48	10.35
210	12.12	11.86
205	13.68	13.15

ANALİZ DATALARI

C1-0		C1-I		C1-II	
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	0	0.00	0	0.00
29.76	0.39	45.05	0.64	50.51	0.60
59.51	0.77	81.62	1.28	93.51	1.20
83.58	1.10	112.33	1.91	130.59	1.79
107.64	1.56	138.58	2.54	163.09	2.38
125.98	1.95	161.52	3.18	192.08	2.97
145.54	2.37	181.77	3.81	218.06	3.56
159.68	2.78	199.89	4.43	241.42	4.15
174.22	3.18	213.53	5.06	259.62	4.74
185.01	3.59	225.41	5.68	276.23	5.32
193.72	4.00	234.21	6.33	291.35	5.91
198.04	4.46	241.97	6.99	305.33	6.49
200.69	4.92	248.06	7.66	317.47	7.08
200.76	5.89	249.26	7.79	328.38	7.68
199.89	6.87	250.52	7.92	338.38	8.28
198.50	7.86	261.37	8.34	347.83	8.88
		267.39	8.99	**356.62**	9.47
				354.21	9.73
				340.57	10.09
				325.44	10.31
				318.29	10.59

C1-III			
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	215.46	4.74
41.66	0.64	236.77	5.59
77.61	1.27	250.21	6.20
108.81	1.90	255.79	6.45
136.90	2.52	261.77	6.81
161.90	3.15	272.55	7.43
184.55	3.76	282.44	8.04
205.26	4.38	291.98	8.66
208.94	4.50	300.70	9.27
212.23	4.62	**308.92**	9.88

C1-0-SF		C1-I-SF		C1-II-SF	
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	0	0.00	0	0.00
17.22	0.35	46.94	0.64	11.40	0.12
34.48	0.70	85.08	1.28	16.93	0.18
51.02	1.05	116.93	1.92	27.67	0.32
67.27	1.42	144.23	2.56	52.79	0.59
82.25	1.78	167.99	3.20	75.75	0.91
98.13	2.15	188.07	3.84	97.09	1.24
112.30	2.52	207.43	4.47	116.54	1.49
126.58	2.89	221.94	5.10	134.59	1.78
138.92	3.27	234.82	5.72	151.76	2.08
152.06	3.64	243.91	6.39	167.92	2.39
163.59	4.02	251.44	7.05	183.21	2.68
174.07	4.41	258.48	7.71	197.61	2.99
182.97	4.80	265.42	8.37	211.26	3.29
190.47	5.21	272.40	9.02	224.22	3.58
193.68	5.68	276.97	9.69	236.59	3.88
195.74	6.15	282.18	10.34	248.39	4.18
197.97	7.11	**286.84**	11.00	259.63	4.47
196.19	8.07			269.19	4.76
192.96	9.04			286.27	5.35
				301.84	5.94
				316.39	6.52
				329.78	7.11
				341.23	7.71
				351.72	8.28
				361.26	8.91
				370.54	9.51
				365.48	10.57

C1-III-SF			
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	255.50	6.23
42.61	0.64	267.45	6.85
76.37	1.28	277.20	7.48
111.46	1.91	287.60	8.10
138.85	2.54	297.50	8.71
165.45	3.16	306.73	9.32
188.60	3.78	315.42	9.93
209.66	4.40	323.42	10.54
226.68	5.00	**330.96**	11.15
241.97	5.61		

C2-III			
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	206.06	5.79
35.29	0.67	217.45	6.43
66.05	1.33	227.98	7.06
93.21	1.98	237.79	7.69
117.48	2.63	247.04	8.32
139.33	3.27	255.75	8.94
159.37	3.91	263.93	9.56
177.78	4.54	271.72	10.18
193.60	5.17	**279.03**	10.80

C2-0		C2-I		C2-II	
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	0	0.00	0	0.00
47.36	0.90	38.82	0.70	8.83	0.13
86.76	1.81	70.60	1.39	21.48	0.32
118.85	2.72	98.62	2.08	41.17	0.63
144.21	3.63	122.52	2.76	59.34	0.95
154.16	4.66	143.62	3.43	82.41	1.39
157.49	5.74	161.69	4.11	91.87	1.60
159.23	6.82	179.52	4.77	106.68	1.89
160.20	7.89	192.35	5.45	120.63	2.21
160.70	8.95	201.21	6.15	133.72	2.52
160.96	10.00	202.82	6.29	146.18	2.82
159.51	11.10	205.86	6.57	158.01	3.13
154.27	12.38	215.58	7.19	169.30	3.44
149.14	13.69	225.26	7.82	180.08	3.74
		231.98	8.46	190.07	4.05
		239.65	9.12	199.74	4.36
		244.38	9.89	209.62	4.66
		251.11	10.67	218.32	4.96
		256.28	11.39	225.79	5.26
		259.31	11.92	232.88	5.56
				239.79	5.86
				246.30	6.16
				252.72	6.46
				258.92	6.75
				264.25	7.06
				269.44	7.37
				279.26	7.98
				284.46	8.59
				280.11	9.19
				275.48	9.80

C2-0-SF		C2-I-SF		C2-II-SF	
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	0	0.00	0	0.00
25.81	0.78	36.58	0.69	39.67	0.63
50.53	1.57	66.92	1.37	73.96	1.26
73.99	2.36	92.78	2.05	103.97	1.88
95.85	3.17	115.13	2.72	130.63	2.50
115.72	3.98	135.02	3.38	154.83	3.11
131.09	4.84	152.66	4.04	176.20	3.73
139.62	5.83	168.02	4.71	196.07	4.33
145.12	6.84	181.11	5.36	211.86	4.93
148.10	7.85	189.33	6.05	226.11	5.53
150.64	8.86	198.62	6.72	239.31	6.12
147.46	9.84	205.70	7.41	250.39	6.74
143.76	10.81	210.33	8.06	260.65	7.35
141.57	11.77	216.89	8.91	271.64	7.95
139.00	12.72	221.05	9.59	280.14	8.57
		224.98	10.12	287.37	9.18
		226.54	10.76	294.86	9.79
		225.29	11.49	303.20	10.38
				310.34	10.98

C2-III-SF			
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)
0	0.00	169.46	4.49
7.29	0.13	177.04	4.80
17.72	0.33	183.82	5.11
34.12	0.66	190.38	5.41
49.29	0.99	196.68	5.72
63.42	1.32	202.16	6.03
76.67	1.64	207.46	6.35
89.02	1.97	212.10	6.67
100.97	2.28	217.41	6.94
112.15	2.61	221.58	7.29
132.98	2.92	226.45	7.60
142.67	3.55	231.71	8.22
151.54	3.88	**236.57**	8.94
160.81	4.18	232.68	9.85

EK-3

GERİLME-BİRİM DEFORMASYON DATALARI

C1-0 Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	39.61	0.00121
0.57	0.00001	40.74	0.00126
1.70	0.00004	43.01	0.00132
2.83	0.00009	44.70	0.00138
3.96	0.00012	45.84	0.00141
5.09	0.00016	46.97	0.00146
6.22	0.00019	48.67	0.00150
7.36	0.00022	49.80	0.00156
8.49	0.00025	50.93	0.00159
9.62	0.00028	52.63	0.00165
10.75	0.00031	53.76	0.00171
11.88	0.00034	54.89	0.00174
13.02	0.00038	56.59	0.00182
14.15	0.00041	57.72	0.00185
15.84	0.00046	58.85	0.00188
16.98	0.00049	59.98	0.00191
18.11	0.00051	61.68	0.00200
19.24	0.00054	62.81	0.00204
20.94	0.00059	64.51	0.00212
22.64	0.00066	65.64	0.00215
23.77	0.00069	66.77	0.00221
24.90	0.00074	67.91	0.00226
25.46	0.00075	69.60	0.00232
26.60	0.00079	70.74	0.00237
27.73	0.00082	71.87	0.00244
28.86	0.00087	73.56	0.00256
30.56	0.00091	74.70	0.00262
31.69	0.00096	**75.27**	**0.00268**
32.82	0.00099	74.70	0.00279
33.95	0.00103	74.13	0.00294
35.65	0.00107	73.56	0.00324
36.78	0.00112	70.74	0.00382
37.91	0.00116	67.91	0.00412

C1-0 Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	45.84	0.00143
0.57	0.00001	46.97	0.00146
1.70	0.00004	48.67	0.00153
2.83	0.00009	49.80	0.00157
3.96	0.00012	51.50	0.00164
5.09	0.00016	52.63	0.00168
6.22	0.00019	53.76	0.00171
7.36	0.00022	54.89	0.00175
8.49	0.00025	56.59	0.00182
9.62	0.00028	57.72	0.00185
10.75	0.00031	58.85	0.00188
11.88	0.00034	59.98	0.00194
13.58	0.00040	61.68	0.00201
14.71	0.00043	62.81	0.00207
15.84	0.00046	63.94	0.00212
16.98	0.00049	65.64	0.00219
18.67	0.00053	66.77	0.00224
19.81	0.00056	67.91	0.00226
20.94	0.00059	69.60	0.00231
22.64	0.00066	70.45	0.00235
23.77	0.00069	**70.66**	**0.00244**
24.90	0.00074	69.60	0.00249
26.60	0.00079	69.04	0.00253
27.73	0.00082	66.77	0.00274
28.86	0.00087	65.08	0.00288
29.99	0.00090	62.25	0.00306
31.69	0.00091	59.42	0.00324
32.82	0.00100	57.72	0.00341
33.95	0.00104	54.89	0.00376
35.65	0.00108	53.76	0.00391
36.78	0.00112		
37.91	0.00116		
39.05	0.00120		
40.74	0.00126		
41.88	0.00128		
43.57	0.00135		
44.70	0.00138		

C1-I Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	45.84	0.00160
0.57	0.00001	46.97	0.00165
1.13	0.00003	48.10	0.00171
2.26	0.00007	49.23	0.00176
3.40	0.00010	50.93	0.00185
4.53	0.00015	52.63	0.00191
5.66	0.00019	53.76	0.00199
6.79	0.00022	54.89	0.00206
7.92	0.00026	56.59	0.00218
9.62	0.00034	57.72	0.00225
10.75	0.00037	58.85	0.00234
11.88	0.00040	**59.85**	**0.00250**
13.02	0.00043	59.70	0.00274
14.71	0.00049	58.85	0.00297
15.84	0.00053	57.72	0.00318
16.98	0.00057	55.46	0.00368
18.11	0.00060	53.12	0.00397
19.24	0.00063	50.72	0.00419
20.94	0.00068	48.65	0.00432
22.07	0.00072		
23.77	0.00078		
24.90	0.00082		
26.03	0.00087		
27.73	0.00091		
28.86	0.00094		
30.56	0.00100		
31.69	0.00106		
32.82	0.00112		
33.95	0.00115		
35.65	0.00121		
36.78	0.00126		
37.91	0.00129		
39.61	0.00135		
40.74	0.00141		
41.88	0.00146		
43.57	0.00153		
44.70	0.00157		

C1-I Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.22	0.00135
0.57	0.00001	37.35	0.00141
1.13	0.00004	38.48	0.00147
1.70	0.00007	39.61	0.00153
2.26	0.00010	40.74	0.00156
3.40	0.00015	41.88	0.00162
4.53	0.00018	42.44	0.00163
5.09	0.00021	43.57	0.00171
6.22	0.00024	44.70	0.00176
7.36	0.00029	45.84	0.00181
8.49	0.00035	46.97	0.00185
9.62	0.00040	47.53	0.00188
10.75	0.00044	48.67	0.00197
11.88	0.00047	49.23	0.00200
12.45	0.00049	50.36	0.00204
13.58	0.00053	51.50	0.00212
14.71	0.00056	52.63	0.00221
15.84	0.00060	53.76	0.00229
16.98	0.00065	54.32	0.00235
18.11	0.00068	55.46	0.00244
19.24	0.00071	56.59	0.00259
20.37	0.00075	57.15	0.00268
20.94	0.00076	57.72	0.00282
21.50	0.00079	**57.74**	**0.00309**
22.07	0.00082	57.15	0.00329
23.20	0.00088	56.59	0.00338
24.33	0.00091	55.46	0.00356
25.46	0.00094	54.89	0.00374
26.60	0.00097	53.19	0.00418
27.73	0.00103	46.40	0.00499
28.86	0.00109		
29.43	0.00112		
30.56	0.00115		
31.69	0.00118		
32.82	0.00124		
33.95	0.00128		
35.08	0.00131		

C1-II Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	35.65	0.00119
0.57	0.00001	36.78	0.00124
1.13	0.00003	37.91	0.00128
2.26	0.00006	38.48	0.00129
3.40	0.00010	39.61	0.00135
3.96	0.00012	40.74	0.00140
4.53	0.00015	41.88	0.00144
5.66	0.00018	42.44	0.00146
6.79	0.00021	43.57	0.00151
7.36	0.00024	44.70	0.00156
8.49	0.00027	45.84	0.00162
9.05	0.00029	46.97	0.00168
9.62	0.00031	47.53	0.00171
10.75	0.00035	48.67	0.00176
11.88	0.00038	49.23	0.00179
12.45	0.00040	50.36	0.00185
13.02	0.00041	51.50	0.00191
14.15	0.00046	52.63	0.00200
15.28	0.00050	53.76	0.00204
16.41	0.00054	54.32	0.00209
17.54	0.00057	54.61	0.00232
18.67	0.00062	**54.70**	**0.00244**
19.81	0.00065	54.32	0.00253
20.94	0.00069	53.76	0.00262
21.50	0.00071	50.93	0.00303
22.07	0.00074	49.13	0.00324
23.20	0.00076	48.25	0.00341
24.33	0.00081	47.12	0.00356
25.46	0.00085		
26.60	0.00088		
27.73	0.00093		
28.86	0.00096		
29.99	0.00099		
31.12	0.00103		
32.26	0.00109		
33.39	0.00112		
34.52	0.00115		

C1-II Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	38.48	0.00124
0.57	0.00001	39.61	0.00127
1.13	0.00003	40.74	0.00131
2.26	0.00007	41.88	0.00135
3.40	0.00011	42.44	0.00137
4.53	0.00014	43.57	0.00140
5.66	0.00018	44.70	0.00143
6.79	0.00020	45.84	0.00147
7.92	0.00022	46.97	0.00151
8.49	0.00023	47.53	0.00153
9.62	0.00025	48.67	0.00163
10.75	0.00027	49.80	0.00171
11.88	0.00029	50.93	0.00176
12.45	0.00030	52.63	0.00185
13.58	0.00032	53.76	0.00188
14.71	0.00035	54.89	0.00197
15.84	0.00039	55.46	0.00200
16.98	0.00044	56.59	0.00207
17.54	0.00047	57.72	0.00215
18.67	0.00055	58.85	0.00225
19.81	0.00062	59.81	0.00232
20.94	0.00066	60.55	0.00244
21.50	0.00068	**60.74**	**0.00253**
22.64	0.00071	59.42	0.00262
23.77	0.00074	56.59	0.00294
24.90	0.00077	52.00	0.00324
25.46	0.00079	49.23	0.00347
26.60	0.00083	48.10	0.00365
27.73	0.00088	46.97	0.00391
28.86	0.00091	45.84	0.00412
29.99	0.00096		
31.12	0.00099		
32.82	0.00104		
33.95	0.00109		
34.52	0.00111		
35.65	0.00115		
36.78	0.00118		
37.91	0.00121		

C1-III Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00099
0.57	0.00001	37.91	0.00103
1.70	0.00003	38.48	0.00104
2.83	0.00005	39.61	0.00109
3.96	0.00007	40.74	0.00115
4.53	0.00008	41.88	0.00122
5.66	0.00010	42.44	0.00125
6.79	0.00012	43.57	0.00129
7.92	0.00014	44.70	0.00134
8.49	0.00015	45.84	0.00137
9.62	0.00017	46.97	0.00140
10.75	0.00020	47.53	0.00141
11.88	0.00024	48.67	0.00146
12.45	0.00025	49.80	0.00150
13.58	0.00028	50.93	0.00154
14.71	0.00031	51.50	0.00156
15.84	0.00035	52.63	0.00162
16.98	0.00038	53.76	0.00166
17.54	0.00040	54.89	0.00171
18.67	0.00042	55.46	0.00172
19.81	0.00044	56.59	0.00175
20.94	0.00046	57.72	0.00179
21.50	0.00047	58.85	0.00185
22.64	0.00049	59.98	0.00190
23.77	0.00051	60.55	0.00191
24.90	0.00057	61.68	0.00196
25.46	0.00060	**62.98**	**0.00206**
26.60	0.00065	59.42	0.00224
27.73	0.00068	56.59	0.00238
28.86	0.00072	53.76	0.00262
29.99	0.00075	50.93	0.00276
30.56	0.00076	48.10	0.00294
31.69	0.00078	45.27	0.00309
32.82	0.00081	42.44	0.00324
33.95	0.00085	39.61	0.00338
34.52	0.00088		
35.65	0.00093		

C1-III Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	39.61	0.00109
0.57	0.00003	40.74	0.00113
1.70	0.00006	41.88	0.00116
2.83	0.00007	42.44	0.00118
3.96	0.00012	43.57	0.00122
4.53	0.00013	44.70	0.00126
5.66	0.00015	45.84	0.00131
6.79	0.00018	46.97	0.00134
7.92	0.00021	47.53	0.00136
8.49	0.00022	48.67	0.00140
9.62	0.00025	49.80	0.00143
10.75	0.00028	50.93	0.00146
11.88	0.00030	51.50	0.00147
12.45	0.00031	52.63	0.00150
13.58	0.00034	53.76	0.00154
14.71	0.00037	54.89	0.00159
15.84	0.00040	55.46	0.00160
16.98	0.00042	56.59	0.00165
17.54	0.00043	57.72	0.00168
18.67	0.00046	58.85	0.00172
19.81	0.00047	59.98	0.00176
20.94	0.00050	60.55	0.00179
21.50	0.00051	61.68	0.00184
22.07	0.00053	62.81	0.00189
23.20	0.00056	63.94	0.00195
24.33	0.00059	64.51	0.00197
25.46	0.00062	65.64	0.00203
26.60	0.00065	66.77	0.00216
27.73	0.00068	67.91	0.00228
28.86	0.00072	68.47	0.00231
29.43	0.00074	**69.55**	**0.00235**
30.56	0.00076	68.75	0.00241
31.69	0.00081	67.34	0.00249
32.82	0.00084	66.21	0.00254
33.95	0.00088	63.38	0.00262
34.52	0.00090	61.22	0.00278
35.65	0.00093	59.68	0.00296
36.78	0.00099	57.26	0.00308
37.91	0.00103	53.20	0.00342

C1-0-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00113	55.46	0.00353
0.57	0.00001	37.91	0.00118	52.06	0.00365
1.13	0.00003	38.48	0.00119	49.23	0.00376
1.70	0.00004	39.61	0.00122	45.27	0.00382
2.83	0.00007	40.74	0.00124	44.14	0.00394
3.40	0.00009	41.88	0.00126	42.44	0.00400
4.53	0.00012	42.44	0.00127	41.88	0.00406
5.66	0.00015	43.57	0.00129	40.74	0.00415
6.79	0.00018	44.70	0.00131	40.18	0.00418
7.92	0.00021	45.84	0.00135	39.61	0.00421
8.49	0.00024	46.97	0.00138	38.48	0.00426
9.62	0.00026	47.53	0.00140	37.91	0.00438
10.75	0.00031	48.67	0.00142	37.35	0.00441
11.88	0.00035	49.80	0.00145	36.78	0.00447
12.45	0.00037	50.93	0.00149	36.22	0.00453
13.58	0.00040	51.50	0.00152	35.65	0.00456
14.71	0.00044	52.06	0.00157	35.08	0.00462
15.84	0.00047	52.63	0.00162	33.95	0.00468
16.98	0.00050	53.76	0.00174	33.39	0.00471
17.54	0.00051	54.89	0.00179	32.82	0.00479
18.67	0.00056	55.46	0.00182		
19.81	0.00060	56.02	0.00194		
20.94	0.00063	56.59	0.00200		
21.50	0.00065	57.72	0.00203		
22.64	0.00068	58.29	0.00206		
23.77	0.00071	58.85	0.00209		
24.90	0.00075	59.42	0.00215		
25.46	0.00076	60.55	0.00224		
26.60	0.00079	61.12	0.00229		
27.73	0.00082	61.68	0.00232		
28.86	0.00086	62.81	0.00241		
29.43	0.00087	63.94	0.00250		
30.56	0.00093	64.51	0.00265		
31.69	0.00096	**64.75**	**0.00282**		
32.82	0.00100	63.94	0.00309		
33.95	0.00104	63.38	0.00321		
34.52	0.00106	61.12	0.00332		
35.65	0.00109	59.98	0.00341		

C1-0-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	38.48	0.00121
0.57	0.00001	39.61	0.00125
1.13	0.00003	40.74	0.00128
1.70	0.00006	41.88	0.00132
2.26	0.00007	42.44	0.00134
3.40	0.00012	43.57	0.00138
4.53	0.00015	44.70	0.00141
5.66	0.00018	45.84	0.00143
6.79	0.00021	46.97	0.00145
7.92	0.00024	47.53	0.00146
8.49	0.00025	48.67	0.00148
9.62	0.00029	49.80	0.00150
10.75	0.00034	50.93	0.00152
11.88	0.00037	51.50	0.00154
12.45	0.00038	52.63	0.00160
13.58	0.00043	53.76	0.00164
14.71	0.00047	54.89	0.00169
15.84	0.00050	55.46	0.00171
16.41	0.00053	56.59	0.00175
17.54	0.00056	57.72	0.00179
18.67	0.00059	58.85	0.00182
19.81	0.00062	59.98	0.00184
20.94	0.00068	61.12	0.00186
21.50	0.00069	62.25	0.00190
22.64	0.00072	63.38	0.00194
23.77	0.00075	64.51	0.00206
24.90	0.00078	65.64	0.00229
26.03	0.00082	66.77	0.00244
27.16	0.00085	67.91	0.00259
28.29	0.00088	**68.05**	**0.00279**
29.43	0.00091	67.34	0.00303
30.56	0.00094	66.21	0.00318
31.12	0.00097	65.64	0.00326
32.26	0.00101	64.51	0.00341
33.39	0.00106	63.94	0.00356
34.52	0.00109	56.59	0.00382
35.65	0.00112	50.80	0.00423
36.78	0.00116	44.58	0.00492

C1-I-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	34.52	0.00106	63.38	0.00347
0.57	0.00000	35.65	0.00107	62.81	0.00353
1.70	0.00001	36.78	0.00118	62.25	0.00374
2.83	0.00002	37.91	0.00121	57.41	0.00418
3.40	0.00003	38.48	0.00122	48.45	0.00476
3.96	0.00004	39.61	0.00122	42.44	0.00494
4.53	0.00005	40.74	0.00122	41.31	0.00500
5.09	0.00006	41.88	0.00123	39.61	0.00512
6.22	0.00008	42.44	0.00124	38.48	0.00521
7.36	0.00012	43.57	0.00130	37.91	0.00529
8.49	0.00015	44.70	0.00132	36.78	0.00532
9.05	0.00017	45.84	0.00135	36.22	0.00547
10.19	0.00021	46.97	0.00143	35.65	0.00559
10.75	0.00024	47.53	0.00149	35.08	0.00568
11.32	0.00026	48.67	0.00151	34.52	0.00576
12.45	0.00035	49.80	0.00154	33.95	0.00588
13.58	0.00038	50.93	0.00160		
14.71	0.00043	51.50	0.00162		
15.84	0.00046	52.63	0.00169		
16.98	0.00049	53.76	0.00171		
17.54	0.00050	54.89	0.00174		
18.67	0.00053	55.46	0.00176		
19.81	0.00056	56.59	0.00188		
20.94	0.00060	57.72	0.00196		
21.50	0.00062	58.85	0.00197		
22.64	0.00065	59.98	0.00206		
23.77	0.00071	61.12	0.00209		
24.90	0.00074	62.25	0.00221		
25.46	0.00075	63.38	0.00226		
26.60	0.00077	64.51	0.00232		
27.73	0.00079	65.64	0.00259		
28.86	0.00081	66.77	0.00265		
29.43	0.00082	**67.29**	**0.00268**		
30.56	0.00086	67.23	0.00297		
31.12	0.00089	66.21	0.00309		
31.69	0.00091	65.08	0.00326		
32.26	0.00094	64.51	0.00332		
33.39	0.00103	63.94	0.00338		

C1-I-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00141	50.93	0.00465
0.57	0.00003	38.48	0.00144	46.40	0.00485
1.13	0.00004	39.61	0.00150	44.14	0.00506
1.70	0.00007	40.74	0.00153	43.01	0.00521
2.26	0.00009	41.88	0.00159	42.44	0.00529
3.40	0.00012	42.44	0.00160	41.31	0.00538
4.53	0.00014	43.57	0.00163	40.18	0.00550
5.66	0.00016	44.70	0.00168	39.05	0.00571
6.79	0.00018	45.84	0.00170	38.48	0.00582
7.92	0.00020	46.97	0.00172	37.91	0.00591
8.49	0.00022	47.53	0.00173	36.22	0.00626
9.62	0.00027	48.67	0.00176	35.08	0.00662
10.75	0.00032	49.80	0.00180	34.52	0.00671
11.88	0.00044	50.93	0.00185	33.95	0.00685
12.45	0.00047	51.50	0.00186		
13.58	0.00050	52.63	0.00192		
14.71	0.00054	53.76	0.00203		
15.84	0.00059	54.89	0.00212		
16.98	0.00063	55.46	0.00216		
17.54	0.00065	56.59	0.00221		
18.67	0.00068	57.72	0.00228		
19.81	0.00074	58.85	0.00234		
20.94	0.00076	59.98	0.00241		
21.50	0.00079	60.55	0.00244		
22.64	0.00084	61.68	0.00250		
23.77	0.00088	62.81	0.00257		
24.90	0.00091	63.94	0.00258		
25.46	0.00093	64.51	0.00260		
26.60	0.00097	65.64	0.00268		
27.73	0.00101	66.77	0.00282		
28.86	0.00107	67.34	0.00300		
29.99	0.00110	**67.75**	**0.00318**		
31.12	0.00113	67.34	0.00329		
32.82	0.00122	66.21	0.00359		
33.95	0.00126	65.64	0.00374		
34.52	0.00129	62.51	0.00406		
35.65	0.00132	58.94	0.00435		
36.78	0.00137	56.59	0.00447		

C1-II-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00126	56.02	0.00474
0.57	0.00001	37.91	0.00131	55.46	0.00479
1.13	0.00003	38.48	0.00132	54.32	0.00494
1.70	0.00004	39.61	0.00138	53.19	0.00506
2.26	0.00007	40.74	0.00142	52.06	0.00521
3.40	0.00010	41.88	0.00147	51.50	0.00526
4.53	0.00015	42.44	0.00149	50.36	0.00547
5.66	0.00018	43.57	0.00154	49.23	0.00559
6.79	0.00021	44.70	0.00159	48.10	0.00568
7.92	0.00025	45.84	0.00165	46.40	0.00579
8.49	0.00026	46.97	0.00169	45.84	0.00591
9.62	0.00031	47.53	0.00172	44.70	0.00609
10.75	0.00035	48.67	0.00176	43.01	0.00626
11.88	0.00038	49.80	0.00182	42.44	0.00632
12.45	0.00040	50.93	0.00184	41.31	0.00647
13.58	0.00044	51.50	0.00186	40.18	0.00659
14.71	0.00049	52.63	0.00190	39.05	0.00671
15.84	0.00053	53.76	0.00194	37.35	0.00685
16.98	0.00056	54.89	0.00200	36.78	0.00688
17.54	0.00057	55.46	0.00205	35.65	0.00700
18.67	0.00060	56.59	0.00216	34.52	0.00712
19.81	0.00065	57.72	0.00220	33.95	0.00715
20.94	0.00068	58.85	0.00231	32.26	0.00729
21.50	0.00071	59.98	0.00238		
22.64	0.00076	60.55	0.00243		
23.77	0.00079	61.68	0.00259		
24.90	0.00082	62.81	0.00275		
25.46	0.00085	63.94	0.00288		
26.60	0.00088	64.28	0.00309		
27.73	0.00094	**64.33**	**0.00318**		
28.86	0.00099	64.23	0.00324		
29.99	0.00101	63.38	0.00344		
30.56	0.00103	62.81	0.00353		
31.69	0.00109	61.68	0.00374		
32.82	0.00113	60.55	0.00394		
33.95	0.00118	59.42	0.00406		
34.52	0.00119	58.29	0.00424		
35.65	0.00124	57.15	0.00453		

C1-II-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00124	66.15	0.00374
0.57	0.00003	37.91	0.00126	65.76	0.00400
1.13	0.00004	38.48	0.00129	65.08	0.00409
1.70	0.00006	39.61	0.00135	64.51	0.00421
2.83	0.00009	40.74	0.00138	63.38	0.00435
3.40	0.00010	41.88	0.00141	62.25	0.00456
3.96	0.00013	42.44	0.00144	61.12	0.00471
4.53	0.00015	43.57	0.00149	59.42	0.00479
5.66	0.00018	44.70	0.00151	58.29	0.00488
6.79	0.00022	45.84	0.00156	57.15	0.00500
7.92	0.00026	46.97	0.00160	56.59	0.00506
8.49	0.00028	47.53	0.00162	55.46	0.00524
9.62	0.00031	48.67	0.00168	54.32	0.00535
10.75	0.00036	49.80	0.00173	53.19	0.00544
11.88	0.00039	50.93	0.00176	52.06	0.00556
12.45	0.00040	51.50	0.00179	50.93	0.00562
13.58	0.00044	52.63	0.00184	48.10	0.00568
14.71	0.00047	53.76	0.00188	45.84	0.00579
15.84	0.00051	54.89	0.00194	43.88	0.00588
16.41	0.00053	55.46	0.00199	40.48	0.00603
17.54	0.00056	56.59	0.00203	37.65	0.00618
18.67	0.00060	57.72	0.00209	35.08	0.00626
19.81	0.00065	58.85	0.00213	33.95	0.00632
20.94	0.00068	59.98	0.00216		
21.50	0.00069	60.55	0.00218		
22.64	0.00074	61.68	0.00222		
23.77	0.00078	62.81	0.00229		
24.90	0.00081	63.94	0.00238		
25.46	0.00082	64.51	0.00245		
26.60	0.00087	65.64	0.00260		
27.73	0.00091	66.77	0.00265		
28.86	0.00094	66.77	0.00279		
29.99	0.00100	67.00	0.00285		
31.12	0.00103	67.11	0.00291		
32.26	0.00107	67.23	0.00297		
33.39	0.00112	67.28	0.00315		
34.52	0.00115	**67.32**	**0.00324**		
35.65	0.00119	66.77	0.00335		

C1-III-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00107	**73.68**	**0.00306**
0.57	0.00002	38.48	0.00109	73.56	0.00312
1.13	0.00003	39.61	0.00114	72.43	0.00324
2.26	0.00005	40.74	0.00120	71.30	0.00338
3.40	0.00007	41.88	0.00128	70.17	0.00353
4.53	0.00009	42.44	0.00137	69.25	0.00360
5.66	0.00011	43.57	0.00141	68.59	0.00367
6.79	0.00013	44.70	0.00146	67.62	0.00372
7.92	0.00015	45.84	0.00149	66.15	0.00378
8.49	0.00016	46.97	0.00153	65.88	0.00384
9.62	0.00018	47.53	0.00157		
10.75	0.00020	48.67	0.00162		
11.88	0.00024	49.80	0.00165		
12.45	0.00027	50.93	0.00168		
13.58	0.00031	51.50	0.00171		
14.71	0.00033	52.63	0.00176		
15.84	0.00035	53.76	0.00181		
16.41	0.00036	54.89	0.00187		
17.54	0.00038	55.46	0.00188		
18.67	0.00040	56.02	0.00191		
19.81	0.00042	56.59	0.00197		
20.94	0.00046	57.72	0.00200		
21.50	0.00048	58.85	0.00206		
22.64	0.00052	59.98	0.00209		
23.77	0.00057	60.55	0.00211		
24.90	0.00061	61.68	0.00213		
25.46	0.00064	62.81	0.00218		
26.60	0.00071	63.94	0.00224		
27.73	0.00078	64.51	0.00229		
28.42	0.00082	65.64	0.00238		
29.43	0.00086	66.77	0.00247		
30.56	0.00088	67.91	0.00256		
31.69	0.00090	68.47	0.00259		
32.82	0.00093	69.60	0.00266		
33.95	0.00095	70.74	0.00275		
34.52	0.00096	71.87	0.00281		
35.65	0.00099	72.43	0.00282		
36.78	0.00103	73.56	0.00300		

C1-III-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	38.48	0.00093
0.57	0.00001	39.61	0.00096
1.70	0.00001	40.74	0.00100
2.83	0.00002	41.88	0.00103
3.96	0.00003	42.44	0.00106
4.53	0.00004	43.57	0.00111
5.66	0.00016	44.70	0.00116
6.79	0.00018	45.84	0.00120
7.92	0.00019	46.97	0.00122
8.49	0.00020	47.53	0.00125
9.62	0.00021	48.67	0.00129
10.75	0.00023	49.80	0.00135
11.88	0.00025	50.93	0.00143
12.45	0.00026	51.50	0.00146
13.58	0.00029	**52.12**	**0.00165**
14.71	0.00032	48.53	0.00178
15.84	0.00035	47.40	0.00185
16.98	0.00037	45.27	0.00203
17.54	0.00038	44.14	0.00219
18.67	0.00039	44.14	0.00259
19.81	0.00041	43.01	0.00276
20.94	0.00046	42.44	0.00309
21.50	0.00049	41.88	0.00319
22.64	0.00051	40.41	0.00332
23.77	0.00053	39.15	0.00341
24.90	0.00055	37.32	0.00351
25.46	0.00056	35.26	0.00357
26.60	0.00060	33.69	0.00368
27.73	0.00064	31.43	0.00375
28.86	0.00068	29.86	0.00382
29.43	0.00069	28.68	0.00391
30.56	0.00073	27.73	0.00397
31.69	0.00074	27.16	0.00406
32.82	0.00076	26.60	0.00418
33.95	0.00077		
34.52	0.00078		
35.65	0.00082		
36.78	0.00087		

C2-0 Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.35	0.00119	**74.89**	**0.00338**
0.57	0.00001	38.48	0.00122	70.74	0.00368
1.70	0.00003	39.61	0.00125	67.91	0.00397
2.83	0.00007	40.74	0.00129	62.25	0.00441
3.40	0.00009	41.88	0.00132	56.59	0.00471
4.53	0.00013	42.44	0.00135	50.93	0.00529
5.66	0.00016	43.57	0.00138		
6.79	0.00021	44.70	0.00144		
7.92	0.00025	45.84	0.00147		
8.49	0.00026	46.97	0.00153		
9.62	0.00029	47.53	0.00154		
10.75	0.00035	48.67	0.00157		
11.88	0.00038	49.80	0.00162		
12.45	0.00040	50.93	0.00165		
13.58	0.00043	51.50	0.00168		
14.71	0.00047	52.63	0.00174		
15.84	0.00050	53.76	0.00176		
16.98	0.00053	54.89	0.00181		
17.54	0.00054	55.46	0.00182		
18.67	0.00059	56.59	0.00188		
19.81	0.00062	57.72	0.00191		
20.94	0.00065	58.85	0.00194		
21.50	0.00066	59.42	0.00197		
22.64	0.00071	60.55	0.00203		
23.77	0.00075	61.68	0.00206		
24.90	0.00078	62.81	0.00210		
25.46	0.00079	63.94	0.00218		
26.60	0.00084	64.51	0.00219		
27.73	0.00088	65.64	0.00224		
28.86	0.00093	66.77	0.00228		
29.43	0.00093	67.91	0.00235		
30.56	0.00097	68.47	0.00238		
31.69	0.00101	69.60	0.00241		
32.82	0.00106	70.74	0.00247		
33.95	0.00109	71.87	0.00256		
34.52	0.00110	72.43	0.00259		
35.08	0.00110	73.56	0.00271		
36.22	0.00115	74.70	0.00303		

C2-0 Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00112	74.70	0.00244
0.57	0.00001	37.91	0.00115	75.83	0.00249
1.13	0.00003	38.48	0.00116	76.96	0.00256
1.70	0.00006	39.61	0.00119	77.53	0.00259
2.83	0.00009	40.74	0.00122	78.66	0.00265
3.96	0.00012	41.88	0.00126	79.79	0.00271
4.53	0.00013	42.44	0.00129	80.92	0.00279
5.66	0.00016	43.57	0.00134	81.49	0.00282
6.79	0.00021	44.70	0.00137	82.62	0.00293
7.92	0.00024	45.84	0.00141	83.18	0.00300
8.49	0.00025	46.97	0.00144	**83.52**	**0.00324**
9.62	0.00028	47.53	0.00146	81.79	0.00341
10.75	0.00032	48.67	0.00150	78.86	0.00367
11.88	0.00035	49.80	0.00154	76.23	0.00412
12.45	0.00037	50.93	0.00157	71.45	0.00458
13.58	0.00040	51.50	0.00159	69.33	0.00479
14.71	0.00043	52.63	0.00162	65.20	0.00503
15.84	0.00046	53.76	0.00166	63.15	0.00532
16.41	0.00047	54.89	0.00171		
17.54	0.00051	55.46	0.00172		
18.67	0.00056	56.59	0.00176		
19.81	0.00059	57.72	0.00179		
20.94	0.00063	58.85	0.00184		
21.50	0.00065	59.98	0.00185		
22.64	0.00068	60.55	0.00188		
23.77	0.00071	61.68	0.00194		
24.90	0.00074	62.81	0.00197		
25.46	0.00076	63.94	0.00203		
26.60	0.00081	64.51	0.00204		
27.73	0.00085	65.64	0.00209		
28.86	0.00088	66.77	0.00212		
29.43	0.00088	67.91	0.00218		
30.56	0.00091	68.47	0.00219		
31.69	0.00094	69.60	0.00224		
32.82	0.00100	70.74	0.00229		
33.95	0.00103	71.87	0.00235		
34.52	0.00104	72.43	0.00237		
35.65	0.00107	73.56	0.00241		

C2-I Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00115
0.57	0.00001	38.48	0.00118
1.13	0.00003	39.61	0.00121
2.26	0.00006	40.74	0.00124
3.40	0.00009	41.88	0.00128
3.96	0.00010	42.44	0.00129
4.53	0.00012	43.57	0.00132
5.66	0.00015	44.70	0.00138
6.79	0.00018	45.84	0.00143
7.92	0.00021	46.97	0.00146
8.49	0.00022	47.53	0.00147
9.62	0.00025	48.67	0.00153
10.75	0.00028	49.23	0.00156
11.88	0.00031	50.36	0.00159
12.45	0.00032	51.50	0.00163
13.58	0.00035	52.63	0.00168
14.15	0.00036	53.76	0.00174
15.28	0.00040	54.89	0.00178
16.41	0.00042	55.46	0.00179
17.54	0.00045	56.59	0.00179
18.67	0.00049	57.72	0.00182
19.81	0.00051	58.85	0.00185
20.94	0.00054	59.98	0.00187
21.50	0.00056	60.55	0.00188
22.64	0.00059	61.68	0.00194
23.77	0.00062	62.81	0.00200
24.90	0.00065	63.94	0.00206
25.46	0.00066	64.51	0.00209
26.60	0.00069	65.64	0.00215
27.73	0.00072	66.77	0.00218
28.86	0.00075	67.91	0.00221
29.43	0.00076	68.47	0.00231
30.56	0.00078	69.60	0.00232
31.69	0.00082	70.74	0.00244
32.82	0.00088	**70.94**	**0.00274**
33.95	0.00094	68.47	0.00288
34.52	0.00097	63.34	0.00324
35.65	0.00103		

C2-I Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00098	75.83	0.00252
0.57	0.00001	38.48	0.00100	76.96	0.00257
1.13	0.00002	39.61	0.00106	77.53	0.00260
2.26	0.00004	40.74	0.00112	78.66	0.00266
3.40	0.00007	41.88	0.00118	79.79	0.00271
4.53	0.00010	42.44	0.00121	80.92	0.00277
5.66	0.00012	43.57	0.00128	81.52	0.00295
6.79	0.00016	44.70	0.00135	**81.55**	**0.00312**
7.92	0.00018	45.84	0.00141	79.36	0.00338
8.49	0.00019	46.97	0.00143	77.21	0.00352
9.62	0.00022	47.53	0.00144		
10.75	0.00025	48.67	0.00148		
11.88	0.00028	49.80	0.00152		
12.45	0.00029	50.36	0.00154		
13.58	0.00033	51.50	0.00158		
14.71	0.00035	52.63	0.00161		
15.84	0.00039	53.76	0.00166		
16.41	0.00042	54.89	0.00169		
17.54	0.00045	55.46	0.00171		
18.67	0.00047	56.59	0.00176		
19.81	0.00050	57.72	0.00179		
20.94	0.00052	58.85	0.00184		
21.50	0.00054	59.98	0.00188		
22.64	0.00056	60.55	0.00190		
23.77	0.00059	61.68	0.00194		
24.90	0.00062	62.81	0.00200		
25.46	0.00063	63.94	0.00203		
26.60	0.00068	64.51	0.00206		
27.73	0.00070	65.64	0.00210		
28.86	0.00072	66.77	0.00215		
29.43	0.00073	67.91	0.00221		
30.56	0.00075	68.47	0.00222		
31.69	0.00078	69.60	0.00226		
32.82	0.00081	70.74	0.00230		
33.95	0.00084	71.87	0.00234		
34.52	0.00085	72.43	0.00236		
35.65	0.00088	73.56	0.00242		
36.78	0.00093	74.70	0.00247		

C2-II Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00118
0.57	0.00001	39.05	0.00121
1.13	0.00003	40.18	0.00124
1.70	0.00006	41.31	0.00129
2.83	0.00010	42.44	0.00132
3.96	0.00015	43.57	0.00138
4.53	0.00016	44.70	0.00144
5.66	0.00021	45.84	0.00150
6.79	0.00024	46.40	0.00153
7.92	0.00028	47.53	0.00159
8.49	0.00029	48.67	0.00162
9.62	0.00034	49.80	0.00166
10.75	0.00038	50.93	0.00172
11.88	0.00041	51.50	0.00174
12.45	0.00043	52.63	0.00178
13.58	0.00047	53.76	0.00182
14.71	0.00050	54.89	0.00187
15.84	0.00054	55.46	0.00188
16.41	0.00056	56.59	0.00194
17.54	0.00060	57.72	0.00197
18.67	0.00063	58.85	0.00203
19.81	0.00068	59.98	0.00209
20.94	0.00071	60.55	0.00212
21.50	0.00072	61.68	0.00219
22.64	0.00075	62.25	0.00225
23.77	0.00078	**62.65**	**0.00231**
24.90	0.00081	62.25	0.00265
25.46	0.00082	56.59	0.00294
26.60	0.00087	50.93	0.00324
27.73	0.00090	49.23	0.00338
28.86	0.00093	48.10	0.00353
29.43	0.00094	45.27	0.00382
30.56	0.00097	42.44	0.00441
31.69	0.00100		
32.82	0.00103		
33.39	0.00104		
34.52	0.00107		
35.65	0.00112		

C2-II Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00138
0.57	0.00001	38.48	0.00140
1.13	0.00002	39.61	0.00143
2.26	0.00004	40.74	0.00147
3.40	0.00006	41.88	0.00151
4.53	0.00008	42.44	0.00153
5.66	0.00010	43.57	0.00157
6.79	0.00014	44.70	0.00160
7.92	0.00018	45.84	0.00164
8.49	0.00020	46.40	0.00166
9.62	0.00024	47.53	0.00170
10.75	0.00028	48.67	0.00173
11.88	0.00032	49.80	0.00178
12.45	0.00034	50.93	0.00182
13.58	0.00038	51.50	0.00185
14.71	0.00042	52.63	0.00191
15.84	0.00046	53.76	0.00194
16.41	0.00047	53.87	0.00199
16.98	0.00049	**54.04**	**0.00201**
17.54	0.00051	53.76	0.00206
18.67	0.00055	53.19	0.00218
19.81	0.00060	52.63	0.00232
20.94	0.00064	51.50	0.00250
21.50	0.00066	50.93	0.00271
22.64	0.00070	50.36	0.00279
23.77	0.00075	48.10	0.00285
24.90	0.00079	45.27	0.00291
25.46	0.00081	44.14	0.00294
26.60	0.00086		
27.73	0.00091		
28.86	0.00097		
29.43	0.00100		
30.56	0.00106		
31.69	0.00109		
32.82	0.00116		
33.95	0.00121		
34.52	0.00123		
35.65	0.00128		

C2-III Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.91	0.00101
0.57	0.00001	38.48	0.00102
1.13	0.00003	39.61	0.00106
1.70	0.00004	40.74	0.00110
2.83	0.00007	41.88	0.00114
3.96	0.00012	42.44	0.00116
4.53	0.00013	43.57	0.00121
5.66	0.00016	44.14	0.00124
6.22	0.00018	45.27	0.00128
7.36	0.00020	46.40	0.00132
8.49	0.00022	47.53	0.00135
9.62	0.00025	48.67	0.00138
10.75	0.00028	49.80	0.00140
11.88	0.00032	50.93	0.00142
12.45	0.00035	51.50	0.00144
13.58	0.00040	52.63	0.00150
14.71	0.00045	53.76	0.00155
15.84	0.00049	54.89	0.00160
16.41	0.00050	55.46	0.00162
17.54	0.00053	56.59	0.00167
18.67	0.00056	57.72	0.00172
19.81	0.00059	58.85	0.00177
20.94	0.00062	59.42	0.00180
21.50	0.00065	60.55	0.00185
22.64	0.00068	61.68	0.00191
23.77	0.00071	62.81	0.00200
24.90	0.00073	63.94	0.00204
25.46	0.00074	64.51	0.00206
26.60	0.00078	**64.74**	**0.00218**
27.73	0.00080	62.25	0.00265
28.86	0.00083	56.59	0.00309
29.43	0.00085	50.93	0.00353
30.56	0.00088		
31.69	0.00090		
32.82	0.00092		
33.95	0.00094		
34.52	0.00095		
35.65	0.00097		

C2-III Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	38.48	0.00100
0.57	0.00002	39.61	0.00102
1.13	0.00003	40.74	0.00104
2.26	0.00005	41.88	0.00109
3.40	0.00007	42.44	0.00110
4.53	0.00009	43.57	0.00116
5.66	0.00011	44.70	0.00121
6.79	0.00013	45.84	0.00126
7.36	0.00014	46.97	0.00132
8.49	0.00016	47.53	0.00134
9.62	0.00018	48.67	0.00138
10.75	0.00020	49.23	0.00140
11.88	0.00022	50.36	0.00147
12.45	0.00023	51.50	0.00157
13.58	0.00025	52.63	0.00163
14.71	0.00027	53.76	0.00168
15.84	0.00029	54.89	0.00175
16.41	0.00030	55.46	0.00182
17.54	0.00032	56.59	0.00188
18.67	0.00035	57.72	0.00196
19.24	0.00038	58.85	0.00203
20.37	0.00043	59.42	0.00206
21.50	0.00048	60.55	0.00215
22.64	0.00053	61.12	0.00229
23.77	0.00058	61.68	0.00232
24.90	0.00062	**61.94**	**0.00250**
25.46	0.00063	61.68	0.00256
26.60	0.00066	61.12	0.00262
27.73	0.00070	60.55	0.00271
28.86	0.00073	55.28	0.00303
29.43	0.00074		
30.56	0.00077		
31.69	0.00079		
32.82	0.00081		
33.95	0.00085		
34.52	0.00087		
35.65	0.00090		
36.78	0.00094		

C2-0-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	35.65	0.00112	56.59	0.00403
0.57	0.00001	36.78	0.00116	55.46	0.00422
1.13	0.00003	37.91	0.00119	54.32	0.00435
1.70	0.00004	38.48	0.00122	53.19	0.00451
2.26	0.00006	39.61	0.00125	52.06	0.00465
3.40	0.00009	40.74	0.00128	50.93	0.00482
4.53	0.00012	41.88	0.00131		
5.66	0.00016	42.44	0.00132		
6.79	0.00019	43.57	0.00138		
7.92	0.00022	44.70	0.00143		
8.49	0.00024	45.84	0.00146		
9.62	0.00028	46.97	0.00153		
10.75	0.00032	47.53	0.00157		
11.88	0.00037	48.10	0.00159		
12.45	0.00038	49.23	0.00165		
13.58	0.00041	50.36	0.00171		
14.15	0.00043	51.50	0.00175		
14.71	0.00044	52.63	0.00179		
15.84	0.00047	53.76	0.00185		
16.41	0.00050	54.89	0.00191		
17.54	0.00053	55.46	0.00194		
18.67	0.00056	56.59	0.00201		
19.81	0.00059	57.72	0.00207		
20.94	0.00063	58.85	0.00213		
21.50	0.00065	59.42	0.00218		
22.64	0.00068	60.55	0.00226		
23.77	0.00071	61.68	0.00235		
24.90	0.00074	62.81	0.00244		
25.46	0.00076	63.94	0.00251		
26.60	0.00081	64.51	0.00256		
27.73	0.00084	65.64	0.00263		
28.86	0.00088	66.21	0.00268		
29.43	0.00090	**67.00**	**0.00274**		
30.56	0.00094	65.64	0.00297		
31.69	0.00099	64.51	0.00319		
32.82	0.00101	63.38	0.00341		
33.95	0.00106	62.25	0.00363		
34.52	0.00109	59.42	0.00382		

C2-0-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	35.65	0.00109	49.23	0.00391
0.57	0.00001	36.22	0.00112	45.27	0.00406
1.13	0.00003	37.35	0.00115	44.14	0.00421
1.70	0.00004	38.48	0.00119	42.44	0.00432
2.83	0.00007	39.05	0.00121	41.88	0.00444
3.40	0.00009	40.18	0.00124	40.74	0.00453
4.53	0.00012	41.31	0.00126	40.18	0.00462
5.66	0.00015	41.88	0.00128	39.61	0.00468
6.79	0.00018	42.44	0.00129	38.48	0.00476
7.92	0.00021	43.57	0.00134	37.91	0.00485
8.49	0.00024	44.70	0.00138	37.35	0.00491
9.62	0.00026	45.84	0.00141	36.78	0.00497
10.75	0.00031	46.40	0.00143	36.22	0.00506
11.88	0.00035	47.53	0.00146	35.65	0.00512
12.45	0.00037	48.67	0.00149	35.08	0.00518
13.58	0.00040	49.23	0.00150	33.95	0.00532
14.71	0.00044	50.36	0.00153		
15.84	0.00047	51.50	0.00157		
16.41	0.00049	52.63	0.00162		
17.54	0.00051	53.76	0.00174		
18.67	0.00056	54.89	0.00182		
19.81	0.00060	55.46	0.00188		
20.94	0.00063	56.59	0.00197		
21.50	0.00065	57.72	0.00203		
22.64	0.00068	58.85	0.00209		
23.77	0.00071	59.42	0.00215		
24.90	0.00075	59.98	0.00218		
25.46	0.00076	60.55	0.00224		
26.60	0.00079	61.68	0.00232		
27.73	0.00082	62.81	0.00241		
28.29	0.00085	63.94	0.00250		
29.43	0.00087	**64.75**	**0.00282**		
29.99	0.00091	64.51	0.00294		
30.56	0.00093	63.94	0.00309		
31.69	0.00096	61.12	0.00332		
32.82	0.00100	59.98	0.00344		
33.95	0.00104	55.46	0.00359		
34.52	0.00106	52.06	0.00376		

C2-I-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	35.65	0.00121	61.05	0.00389
0.57	0.00001	36.78	0.00124	60.02	0.00423
1.13	0.00003	37.91	0.00129	59.11	0.00458
1.70	0.00004	38.48	0.00131	57.99	0.00481
2.83	0.00007	39.61	0.00135	56.25	0.00498
3.40	0.00009	40.74	0.00140	55.22	0.00518
4.53	0.00012	41.88	0.00143	54.19	0.00542
5.66	0.00015	42.44	0.00144		
6.79	0.00021	43.57	0.00147		
7.36	0.00022	44.70	0.00150		
8.49	0.00025	45.84	0.00154		
9.05	0.00028	46.40	0.00156		
10.19	0.00032	47.53	0.00159		
11.32	0.00037	48.67	0.00163		
12.45	0.00040	49.80	0.00166		
13.02	0.00043	50.93	0.00171		
13.58	0.00044	51.50	0.00174		
14.71	0.00049	52.63	0.00182		
15.84	0.00051	53.76	0.00191		
16.41	0.00053	54.89	0.00200		
16.98	0.00056	55.46	0.00203		
18.11	0.00059	56.59	0.00209		
19.24	0.00063	57.72	0.00213		
20.37	0.00066	58.85	0.00221		
21.50	0.00069	59.98	0.00225		
22.64	0.00072	60.55	0.00229		
23.77	0.00078	61.68	0.00235		
24.90	0.00082	62.81	0.00244		
25.46	0.00084	63.94	0.00251		
26.60	0.00087	64.51	0.00254		
27.73	0.00091	65.64	0.00263		
28.86	0.00096	66.77	0.00279		
29.43	0.00097	**67.39**	**0.00294**		
30.56	0.00100	66.77	0.00300		
31.69	0.00104	66.21	0.00306		
32.82	0.00110	64.98	0.00332		
33.39	0.00112	63.57	0.00347		
34.52	0.00116	62.21	0.00376		

C2-I-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00133	48.10	0.00506
0.57	0.00001	37.35	0.00136	47.53	0.00512
1.13	0.00003	38.48	0.00143	46.40	0.00518
1.70	0.00005	39.61	0.00147	45.27	0.00524
2.83	0.00009	40.74	0.00151	44.14	0.00529
3.40	0.00011	41.88	0.00157	43.01	0.00538
4.53	0.00015	42.44	0.00160	42.44	0.00544
5.66	0.00019	43.01	0.00163	41.31	0.00559
6.79	0.00024	44.14	0.00171	40.74	0.00565
7.36	0.00027	45.27	0.00175	39.05	0.00576
8.49	0.00032	46.40	0.00179	37.91	0.00585
9.62	0.00036	47.53	0.00185	36.22	0.00606
10.19	0.00037	48.67	0.00191	35.08	0.00621
11.32	0.00040	49.80	0.00197	33.39	0.00647
12.45	0.00043	50.93	0.00206	32.82	0.00653
13.58	0.00047	51.50	0.00209	31.69	0.00668
14.71	0.00050	52.63	0.00219	29.99	0.00691
15.84	0.00052	53.76	0.00226		
16.41	0.00054	54.89	0.00237		
16.98	0.00055	55.46	0.00244		
18.11	0.00058	56.59	0.00259		
19.24	0.00060	57.72	0.00271		
20.37	0.00064	58.85	0.00306		
21.50	0.00068	58.85	0.00321		
22.64	0.00073	59.13	0.00332		
23.77	0.00077	59.13	0.00344		
24.90	0.00082	**59.20**	**0.00347**		
25.46	0.00085	58.85	0.00368		
26.60	0.00090	58.29	0.00382		
27.73	0.00094	57.44	0.00403		
28.29	0.00097	56.02	0.00418		
29.43	0.00103	55.46	0.00426		
30.56	0.00110	54.32	0.00444		
31.69	0.00113	53.19	0.00456		
32.82	0.00116	52.06	0.00468		
33.39	0.00119	51.50	0.00476		
34.52	0.00123	50.36	0.00485		
35.65	0.00128	49.23	0.00497		

C2-II-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00132	43.57	0.00579
0.57	0.00001	37.35	0.00135	43.01	0.00585
1.13	0.00003	38.48	0.00141	42.44	0.00594
1.70	0.00005	39.61	0.00147		
2.83	0.00009	40.74	0.00152		
3.40	0.00011	41.88	0.00158		
3.96	0.00013	42.44	0.00161		
5.09	0.00018	43.57	0.00167		
6.22	0.00021	44.70	0.00174		
7.36	0.00026	45.84	0.00180		
8.49	0.00028	46.40	0.00184		
9.62	0.00030	47.53	0.00192		
10.75	0.00032	48.67	0.00200		
11.88	0.00036	49.23	0.00206		
12.45	0.00037	50.36	0.00221		
13.58	0.00040	51.50	0.00237		
14.71	0.00044	52.63	0.00274		
15.84	0.00047	53.76	0.00306		
16.41	0.00048	53.93	0.00332		
16.98	0.00049	**54.05**	**0.00353**		
18.11	0.00053	53.87	0.00366		
19.24	0.00057	53.48	0.00378		
20.37	0.00062	53.19	0.00390		
21.50	0.00068	52.91	0.00400		
22.64	0.00072	52.34	0.00415		
23.77	0.00077	52.06	0.00418		
24.33	0.00080	51.50	0.00424		
25.46	0.00085	50.93	0.00435		
26.60	0.00090	50.36	0.00465		
27.73	0.00095	49.23	0.00471		
28.86	0.00099	48.10	0.00482		
29.43	0.00101	47.53	0.00493		
30.56	0.00106	46.97	0.00503		
31.69	0.00112	46.40	0.00515		
32.82	0.00118	45.84	0.00526		
33.39	0.00120	45.27	0.00547		
34.52	0.00124	44.70	0.00565		
35.65	0.00128	44.14	0.00574		

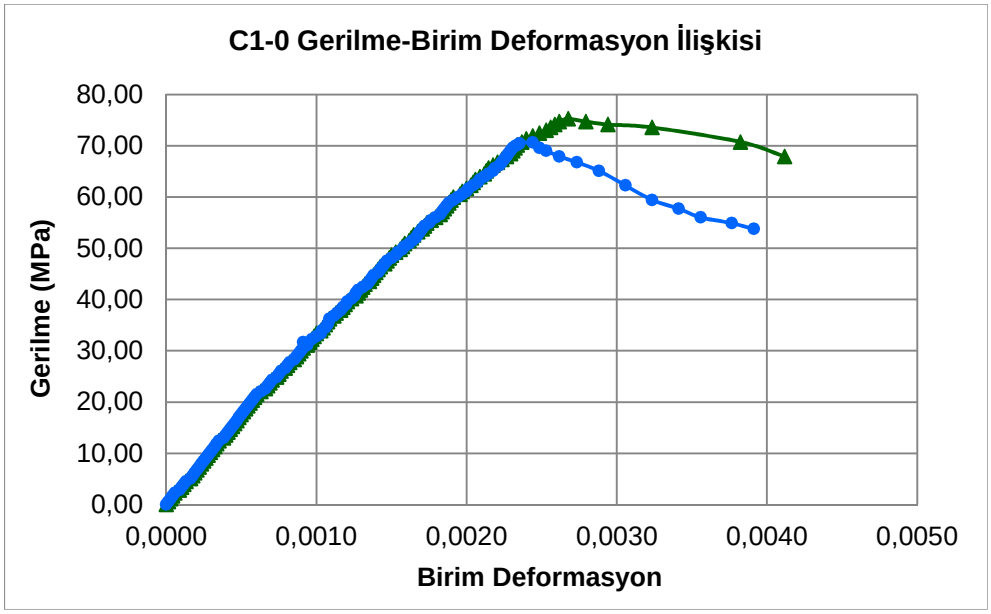
C2-II-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları			
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	37.35	0.00141
0.57	0.00001	38.48	0.00146
1.13	0.00003	39.61	0.00153
1.70	0.00004	40.74	0.00157
2.83	0.00006	41.88	0.00163
3.40	0.00007	42.44	0.00166
3.96	0.00008	43.57	0.00174
5.09	0.00010	44.70	0.00181
6.22	0.00012	45.84	0.00185
7.36	0.00016	46.40	0.00191
8.49	0.00021	47.53	0.00201
9.62	0.00026	48.67	0.00212
10.75	0.00030	49.23	0.00215
11.88	0.00034	50.36	0.00224
12.45	0.00037	51.50	0.00249
13.58	0.00044	51.78	0.00262
14.71	0.00050	**52.21**	**0.00282**
15.84	0.00056	51.95	0.00294
16.41	0.00058	51.78	0.00300
16.98	0.00060	51.50	0.00315
18.11	0.00065	51.21	0.00324
19.24	0.00069	50.36	0.00329
20.37	0.00074	50.08	0.00335
21.50	0.00077	49.56	0.00366
22.64	0.00080	48.27	0.00390
23.77	0.00084	47.35	0.00415
24.33	0.00086	46.22	0.00438
25.46	0.00090	45.81	0.00472
26.60	0.00093	44.95	0.00491
27.73	0.00097	44.03	0.00518
28.86	0.00102		
29.43	0.00105		
30.56	0.00108		
31.69	0.00113		
32.82	0.00118		
33.39	0.00121		
34.52	0.00126		
35.65	0.00132		

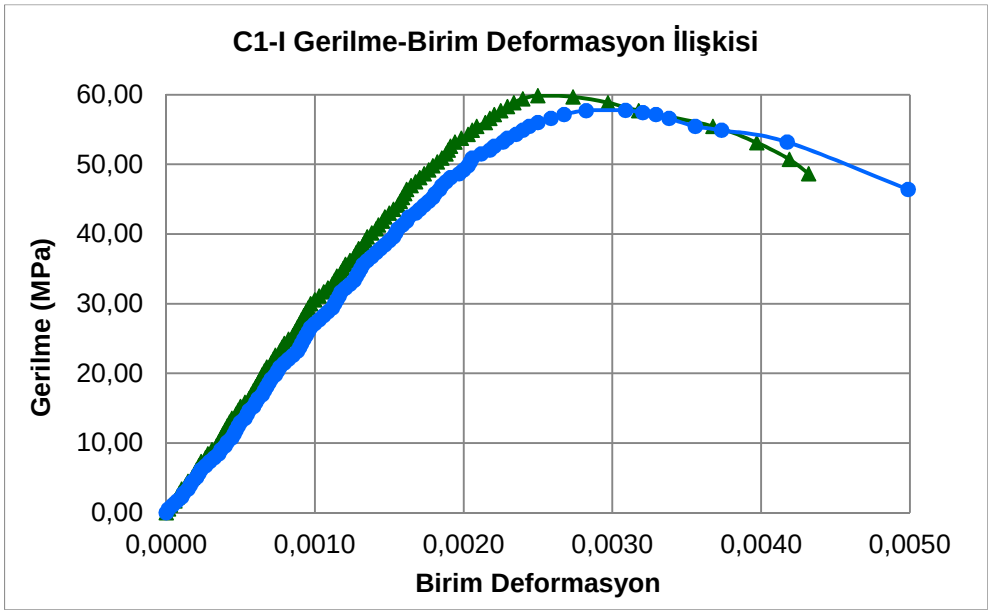
C2-III-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00132	38.48	0.00566
0.57	0.00003	37.35	0.00135	37.91	0.00574
1.13	0.00004	38.48	0.00141	37.35	0.00581
1.70	0.00006	39.61	0.00144	36.22	0.00591
2.83	0.00010	40.74	0.00146	35.65	0.00600
3.40	0.00012	41.88	0.00150	34.52	0.00612
4.53	0.00016	42.44	0.00152	33.39	0.00621
5.66	0.00021	43.57	0.00158	32.26	0.00635
6.79	0.00024	44.70	0.00168	31.69	0.00643
7.36	0.00025	45.84	0.00175	31.12	0.00651
8.49	0.00029	46.97	0.00182	30.56	0.00662
9.62	0.00035	47.53	0.00185	29.43	0.00675
10.75	0.00040	48.67	0.00191	28.86	0.00688
11.88	0.00043	49.23	0.00196	28.29	0.00700
12.45	0.00046	50.36	0.00212	27.73	0.00712
13.58	0.00049	51.50	0.00224	27.16	0.00721
14.71	0.00053	52.63	0.00238	26.60	0.00729
15.84	0.00056	53.76	0.00297		
16.41	0.00059	53.93	0.00318		
16.98	0.00062	**54.06**	**0.00335**		
18.11	0.00065	53.99	0.00344		
19.24	0.00068	53.93	0.00353		
20.37	0.00072	53.19	0.00365		
21.50	0.00076	52.63	0.00412		
22.64	0.00079	52.06	0.00447		
23.77	0.00081	51.50	0.00459		
24.33	0.00082	50.36	0.00476		
25.46	0.00085	49.80	0.00485		
26.60	0.00088	48.67	0.00503		
27.73	0.00092	47.53	0.00512		
28.86	0.00096	46.40	0.00518		
29.43	0.00098	45.27	0.00524		
30.56	0.00103	44.14	0.00529		
31.69	0.00109	43.01	0.00535		
32.82	0.00116	42.44	0.00537		
33.39	0.00118	41.31	0.00544		
34.52	0.00125	40.18	0.00553		
35.65	0.00129	39.05	0.00562		

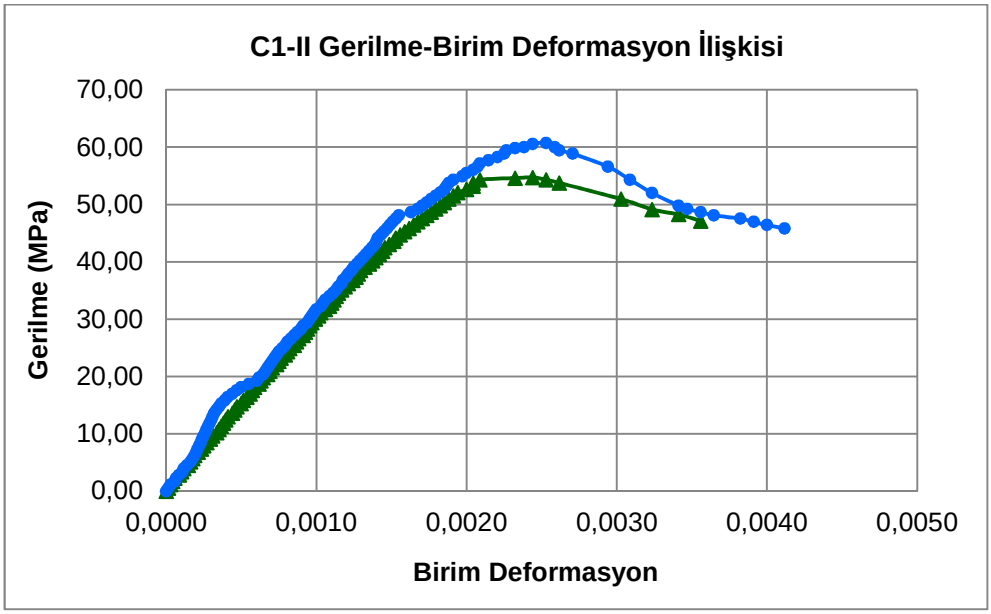
C2-III-SF Numunesi Gerilme-Birim Deformasyon Dataları					
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon	Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
0.00	0.00000	36.78	0.00118	46.40	0.00409
0.57	0.00001	37.35	0.00121	45.27	0.00415
1.13	0.00003	38.48	0.00127	43.57	0.00437
1.70	0.00004	39.61	0.00133	42.88	0.00453
2.83	0.00007	40.74	0.00137	41.97	0.00461
3.40	0.00008	41.88	0.00140	41.02	0.00474
4.53	0.00009	42.44	0.00142	40.45	0.00489
5.66	0.00012	43.57	0.00145	39.38	0.00495
6.79	0.00022	44.70	0.00150	37.77	0.00511
7.36	0.00024	45.84	0.00153	35.62	0.00537
8.49	0.00029	46.40	0.00155		
9.62	0.00032	47.53	0.00157		
10.75	0.00037	48.67	0.00160		
11.88	0.00039	49.23	0.00162		
12.45	0.00040	50.36	0.00168		
13.58	0.00042	51.50	0.00174		
14.71	0.00045	52.63	0.00180		
15.84	0.00048	53.19	0.00184		
16.41	0.00050	54.32	0.00191		
17.54	0.00054	55.46	0.00199		
18.67	0.00058	56.59	0.00210		
19.24	0.00060	57.72	0.00227		
20.37	0.00063	58.85	0.00232		
21.50	0.00065	59.42	0.00247		
22.64	0.00067	59.98	0.00249		
23.77	0.00069	**60.99**	**0.00265**		
24.33	0.00071	60.55	0.00271		
25.46	0.00074	59.98	0.00288		
27.73	0.00078	56.59	0.00315		
28.29	0.00080	54.32	0.00329		
29.43	0.00084	53.76	0.00335		
30.56	0.00090	52.06	0.00347		
31.69	0.00095	50.93	0.00353		
32.82	0.00101	50.36	0.00359		
33.95	0.00107	49.23	0.00374		
34.52	0.00110	48.67	0.00394		
35.65	0.00113	47.53	0.00403		

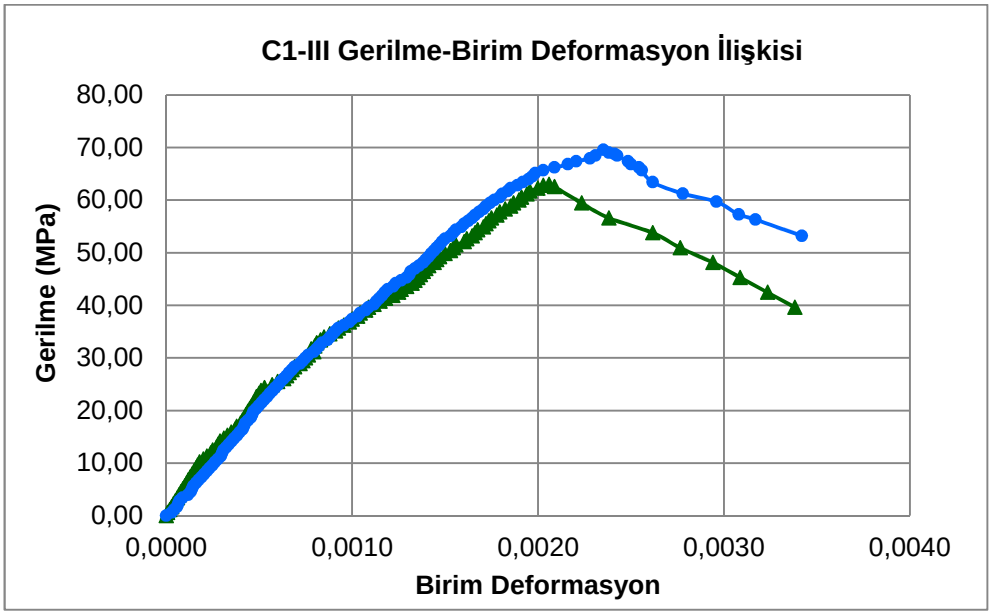
EK-4

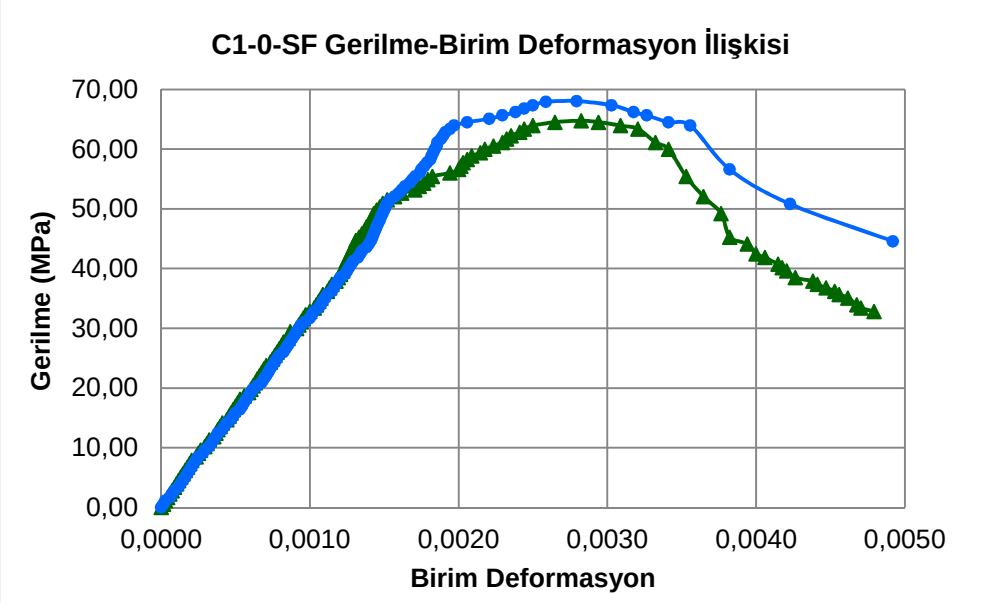
NUMUNELERE AİT GERİLME-BİRİM DEFORMASYON GRAFİKLERİ

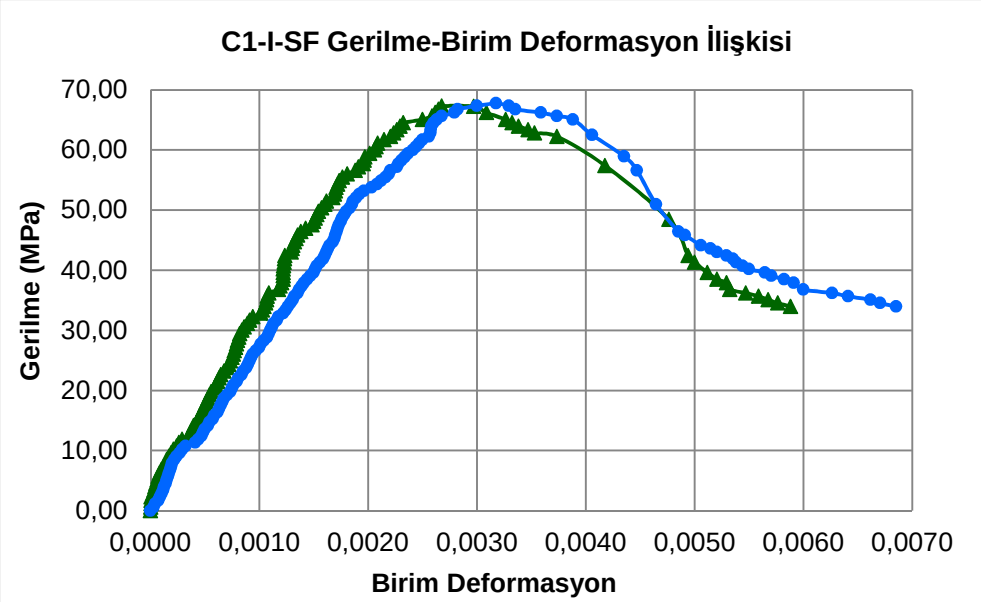


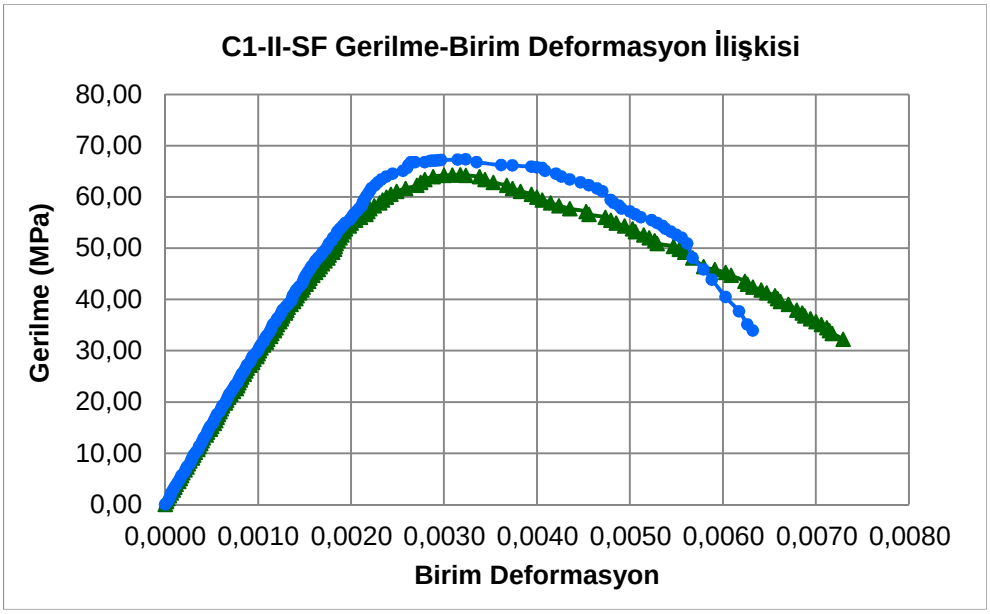


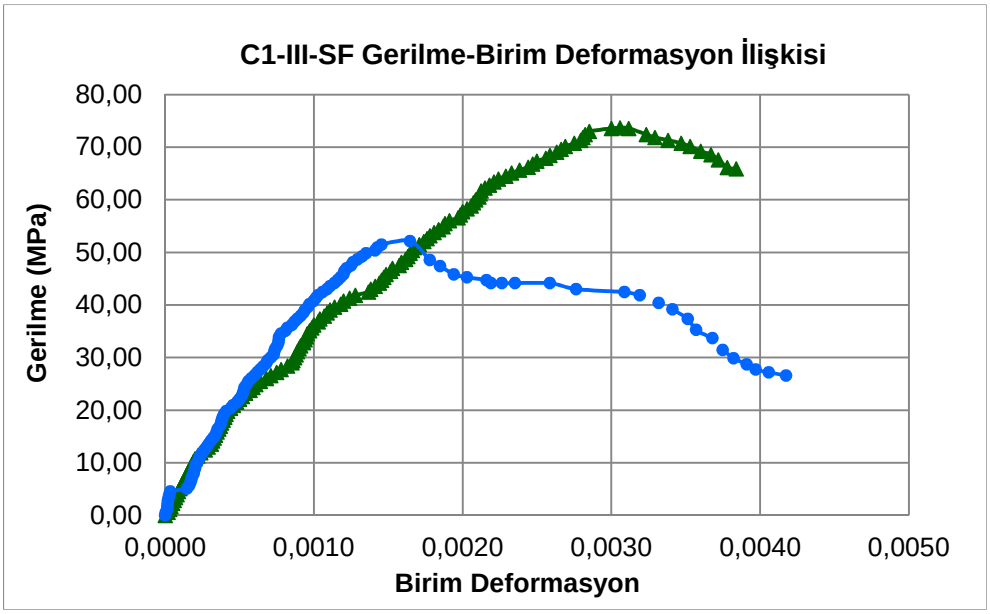

C1-II Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
Birim Deformasyon

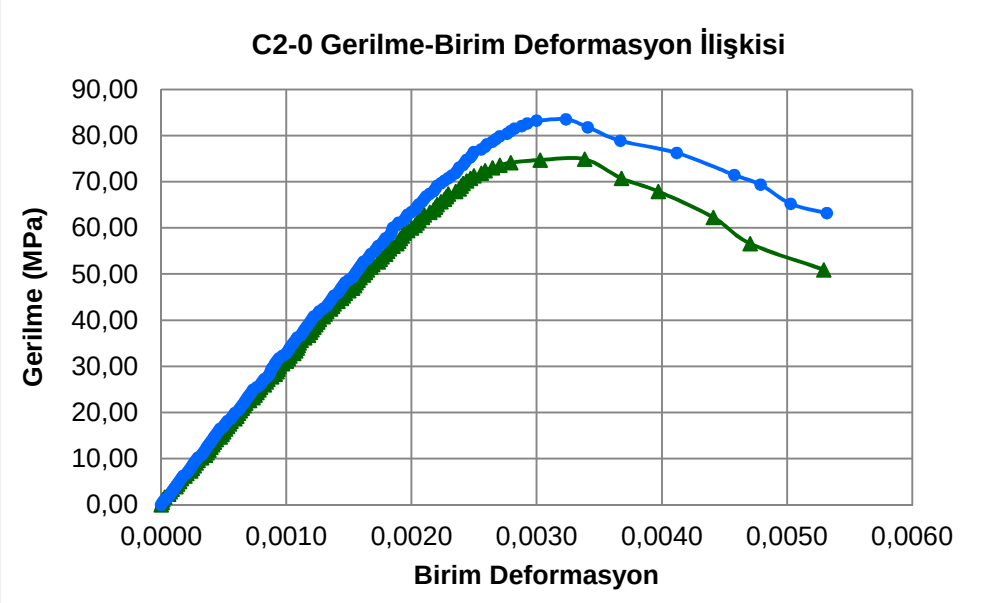

C1-III Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
Birim Deformasyon

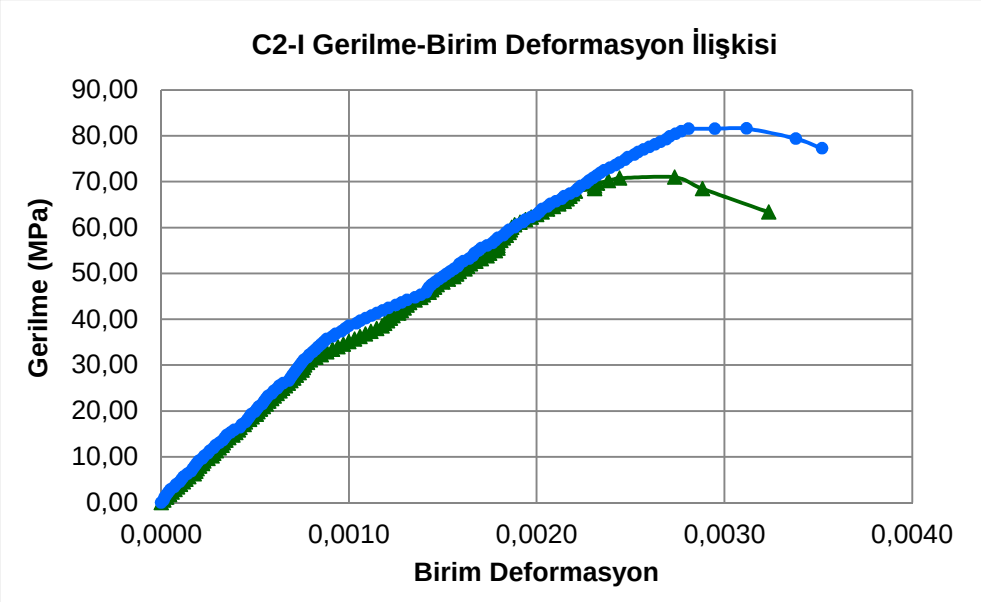

C1-0-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
Birim Deformasyon

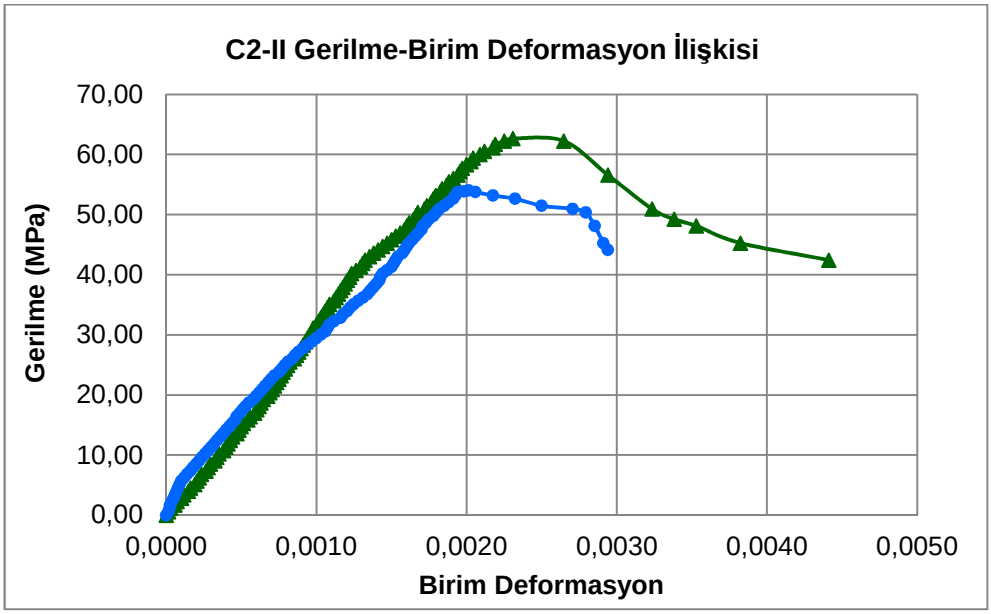

C1-I-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
0,0060
0,0070
Birim Deformasyon

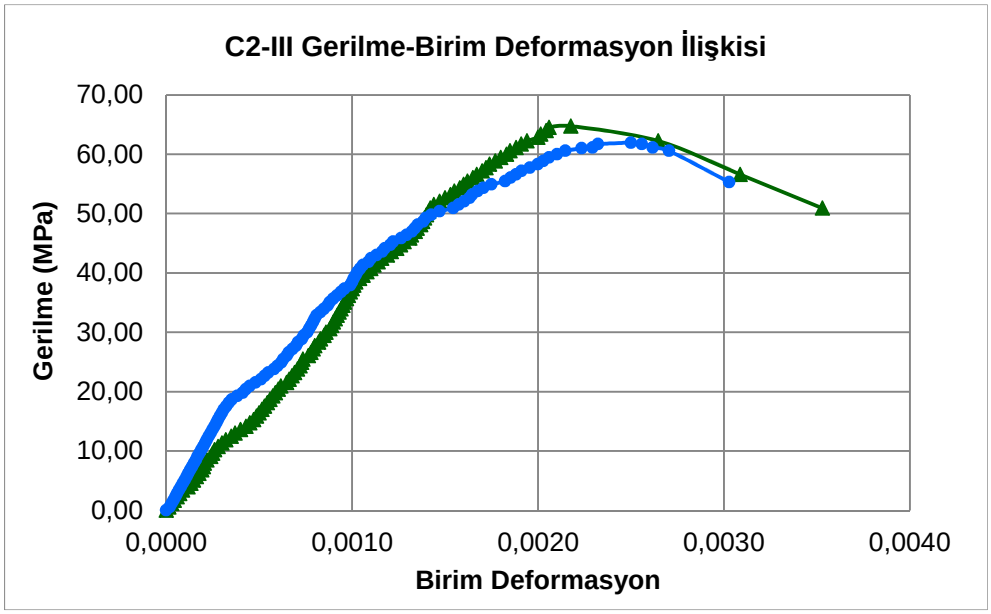

C1-II-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000 0,0010 0,0020 0,0030 0,0040 0,0050 0,0060 0,0070 0,0080
Birim Deformasyon

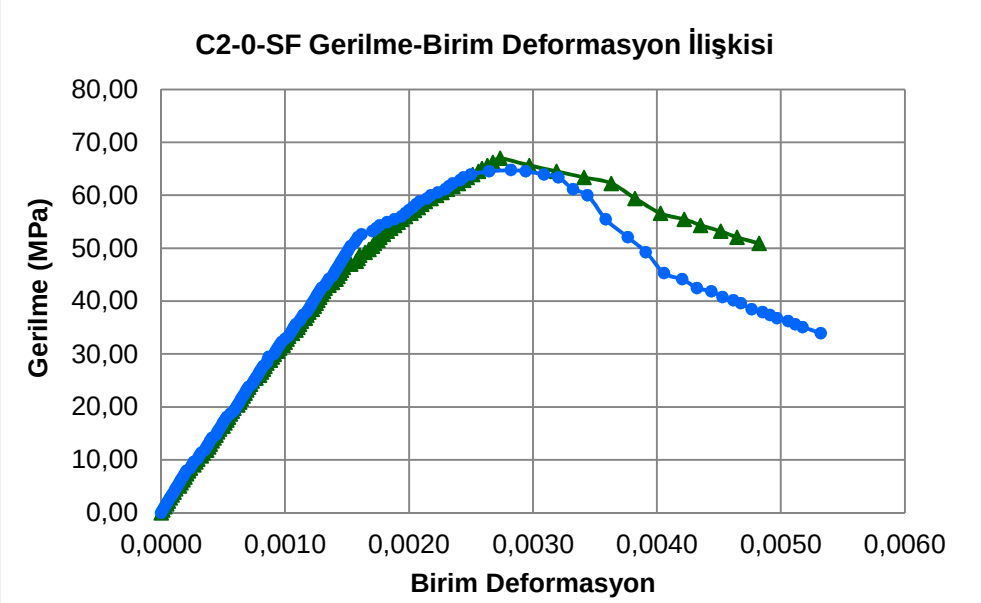

C1-III-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000 0,0010 0,0020 0,0030 0,0040 0,0050
Birim Deformasyon

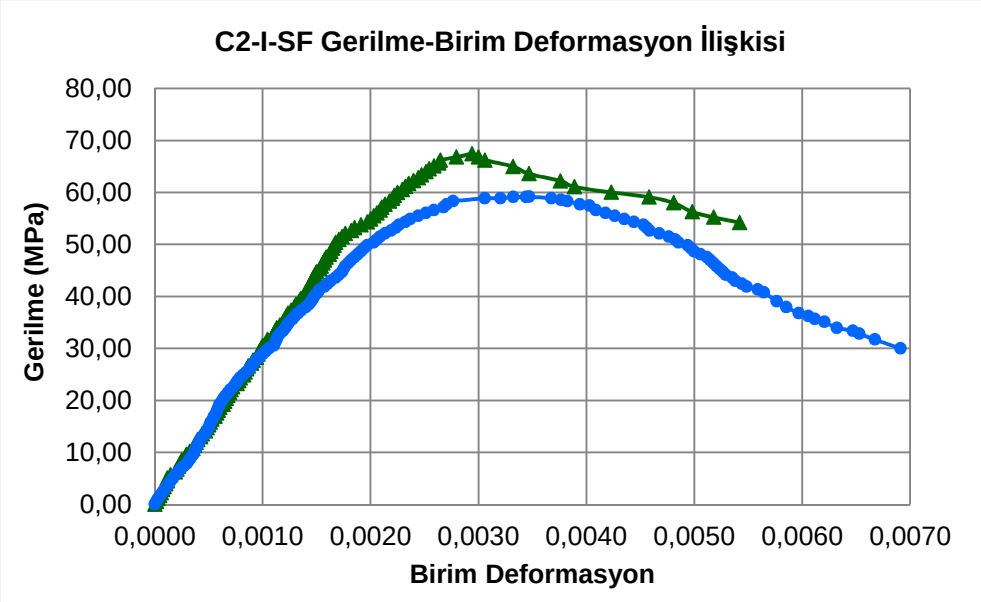

C2-0 Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
Gerilme (MPa)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
0,0060
Birim Deformasyon

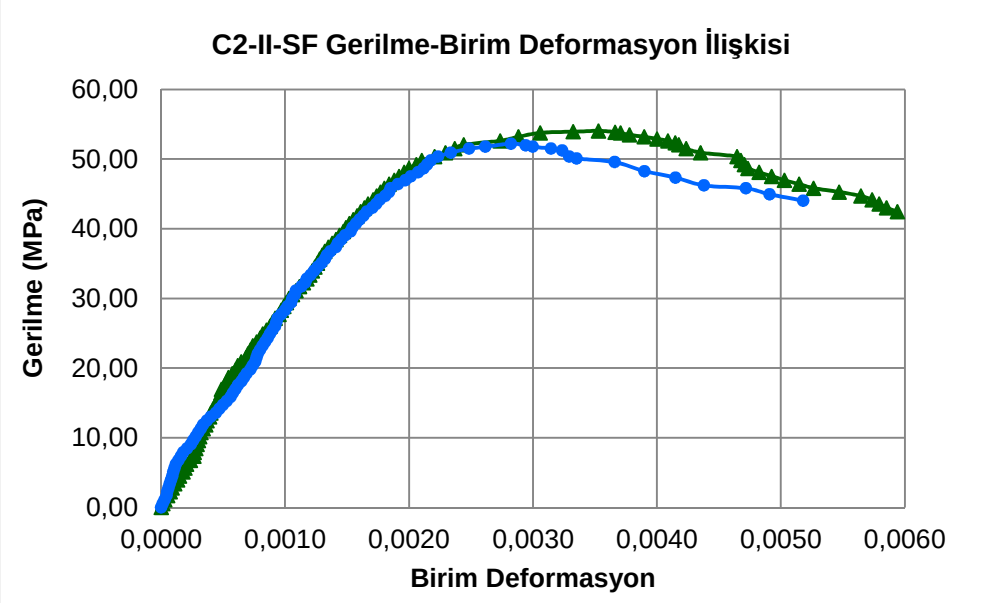

C2-I Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
Gerilme (MPa)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
Birim Deformasyon

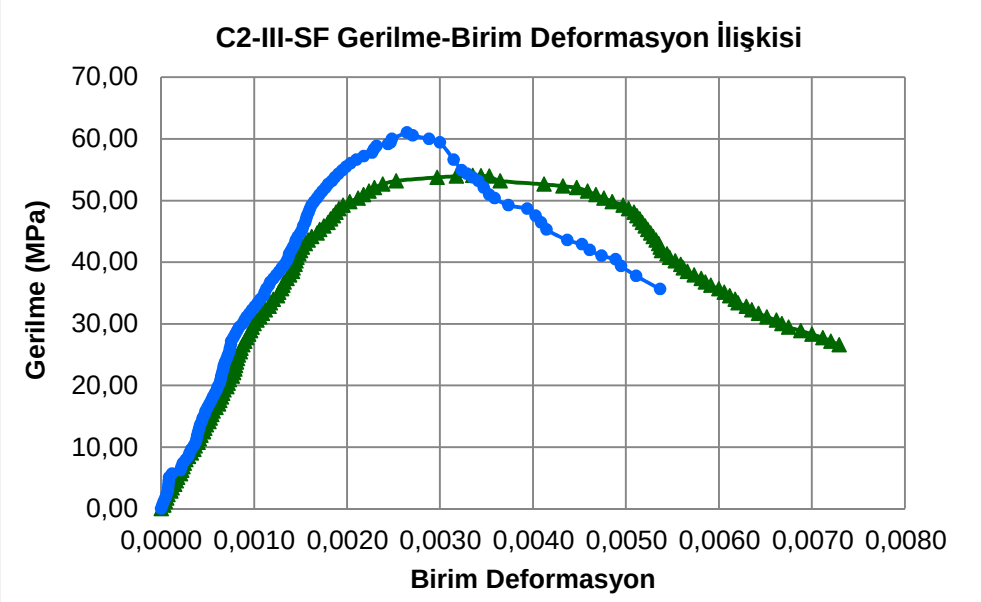

C2-II Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
Gerilme (MPa)
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
Birim Deformasyon


C2-III Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
Gerilme (MPa)
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
Birim Deformasyon


C2-0-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
Gerilme (MPa)
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
0,0060
Birim Deformasyon


C2-I-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
Gerilme (MPa)
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
0,0060
0,0070
Birim Deformasyon


C2-II-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
0,0060
Birim Deformasyon


C2-III-SF Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Gerilme (MPa)
0,0000
0,0010
0,0020
0,0030
0,0040
0,0050
0,0060
0,0070
0,0080
Birim Deformasyon

EK-5

ANALİZLERDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

```
      Program FRP
      Real a,c,a1,c1,Ac,Xt,Yt,Xp,Yp,dlp,dlm,Xm,Ym,Sa,tg
      Real Xg,Yg,Xg1,Xg2,Xg3,Yg1,Yg2,Yg3,Xgg,Ygg,Ac1,Ac2,Teta
      Real X1(100),Y1(100),Xc(100),Yc(100),XX1(100),YY1(100)
      Real XX(100),YY(100),dn(100),Ac111(150),dn1(100)
      Real XX2(100),YY2(100),dxx(100),dyy(100),Xdn(100),Ydn(100)
      Real Sigmac(100),Sigmas(100),Xdnn(100),Ydnn(100),X(100),Y(100)
      Real Epscu,Ecu,Eco,fcd,fyd,Es,f11,f12,f22,f32,f31,f1,f2,f3
      Real Xn,Yn,f43,st1,acc,ac1c,ac2c,k1,k2,k11,Ess,dNp,dMx,dMy
      Real Z(10),Ac11(100),Ec(100),Sc(150)
      Real X11(150),Y11(150),Sigmasp(150),Xcp(150),Ycp(150),Esp(150)
      Real*8 Essi(100),Eci(100),Esi(1000),Espi(100),Zp(100)
      Integer I,k,n,p,t,s,l,Iter,i1,i2,Tip,J,Tp,q,w,h,f,u,pn,sp,sr,Tkr
      Integer typ
      Real xn1,yn1,Ixg,Iyg,Ixpf,Iypf,Nd,Mx,My,Bx,By,Pcrx,Pcry,Deldn
      Real Ixdn,Iydn,KL,EIx,EIy,Eck,Ecc,Xel,Yel,Ab,Abl,fywd,av,Lmd1,Ecb
      Real Xpl(100),Ypl(100),XXd1(100),YYd1(100),XXd2(100),YYd2(100)
      Real Dltx,Dlty,DelMx,Mxx,DelMy,Myy,ex1,ey1,Nmax,Nmin
      Real*8 Ros,fywk,E50h,Ecoc,KK,E50u,Zc,Lmd,Ec85,Lm,Zu,nc
      Character *20 Name1,Name2,S1,S2,S3,S4,S5,S6
C
      WRITE(*,*) ' DATA DOSYASINI GIRINIZ '
      READ(*,500) Name1
500   FORMAT(A20)
      WRITE(*,*) ' CIKTI DOSYASINI GIRINIZ '
      READ(*,500) Name2
      OPEN(1,FILE=NAME1)
      OPEN(2,FILE=NAME2)
      Read(1,*)S5
      Read(1,*)S1
      Read(1,*)Epscu,Eco,fcd,fyd,fydc,Es,Ess,A11,tf,Df,Ff,KL
      Write(2,*)
      Write(2,*)S5
      Write(2,*)
      Write(2,*)'GENEL BİLGİLER'
      Write(2,25)'Epscu=',Epscu,'fcd=',fcd,'fyd=',fyd,'fydc=',fydc,
     *'Es=',Es
25    Format(A,F6.5,3X,A,F6.1,3X,A,F8.2,3x,A,F8.2,3X,A,F12.2)
      Read(1,*)ex,ey
```

```
      Read(1,*)a,c
      Read(1,*)dMx,dMy
      Write(2,35)'Mx=',dMx,'My=',dMy
35    Format(A,F6.3,3X,A,F6.3)
      Write(2,55)'ao=',a,'co=',c
55    Format(A,F7.2,3X,A,F7.2)

      Read(1,*)Tip
            If (Tip.EQ.2) Then
      Read(1,*)sr
      Do 140 k=1,sr
      Read(1,*)Essi(k),Z(k)
140   Continue
            End If

      Read(1,*)S2
      Read(1,*)p
      Write(2,21)'Şerit Sayısı=',p
21    Format(A,I3)
      Write(2,*)
      Read(1,*)S3
      Read(1,*)n,typ
      Write(2,*)'CFRP KOORDINATLARI:'
      Do 10 I=1,n
      Read(1,*) XX(I),YY(I)
      Write(2,65)'PR=',I,'X=',XX(I),'Y=',YY(I)
65    Format(A,I3,12X,A,F8.2,12X,A,F8.2)
10    Continue
      Write(2,*)
      Read(1,*)S6
      Read(1,*)f,pn
      Write(2,*)'BETON KESİT KOORDINATLARI:'
      Do 13 I=1,f
            X(I)=XX(pn+I)
            Y(I)=YY(pn+I)
      Write(2,65)'PR=',I,'XP=',X(I),'YP=',Y(I)
75    Format(A,I3,12X,A,F8.5,12X,A,F8.5)
13    Continue

      Read(1,*)s4
      Write(2,*)'DONATILAR:'
            Read (1,*)t
            Do 60 I=1,t
```

```
      Read (1,*)dn(I),XX1(I),YY1(I),XX2(I),YY2(I)
60    Continue

      Call Koordinat
      Call Generate
      Bx=1
      By=1
      Tkr=0
      Do

      Tkr=Tkr+1

      Do 1111 I=1,n
      XX(I)=Xpl(I)
      YY(I)=Ypl(I)
1111  Continue
      Do 1333 I=1,f
            X(I)=XX(pn+I)
            Y(I)=YY(pn+I)

!     Do 13 I=1,f
!     Read(1,*) XX(I),YY(I)
1333  Continue
            Do 6066 I=1,t
      XX1(I)=XXd1(I)
      YY1(I)=YYd1(I)
      XX2(I)=XXd2(I)
      YY2(I)=YYd2(I)
6066  Continue

      Call Area
      Call ProArea

      Tdsx=0
      Tdsy=0

      Do 18 I=1,s
      TDSX=TDSX+Xdn(I)
      TDSY=TDSY+Ydn(I)
18    Continue
      Abl=Ab-s*A11
      Xpc=Xb
      Ypc=Yb
```

```
      Nmax=0.85*Abl*fcd+Apf*fydc
      Nmin=Apf*fydc
      xn1=Xpc-ex*By
      yn1=Ypc-ey*Bx

      Call Area
      Call ProArea

      zmaxx=XX(1)
      zmaxy=YY(1)
      zminx=zmaxx
      zminy=zmaxy
      Do 61 I=1,n
      If(zmaxx<XX(I)) Then
      zmaxx=XX(I)
      End If
      If(zmaxy<YY(I)) Then
      zmaxy=YY(I)
      End If
      If(zminx>XX(I)) Then
      zminx=XX(I)
      End If
      If(zminy>YY(I)) Then
      zminy=YY(I)
      End If
 61   Continue

      Do 62 I=1,n
      XX(I)=XX(I)-zminx
      YY(I)=YY(I)-zminy
 62   Continue
      Do 63 k=1,s
      Xdn(K)=Xdn(K)-zminx
      Ydn(K)=Ydn(K)-zminy
 63   Continue
      Do 6122 I=1,f
      X(I)=X(I)-zminx
      Y(I)=Y(I)-zminy
6122  Continue
      zmaxx=zmaxx-zminx
      zmaxy=zmaxy-zminy

      Call Area
```

```
      If (xn1>xpc) Then
      Do 64 I=1,n
       XX(I)=zmaxx-XX(I)
64    Continue
      Do 68 k=1,s
      Xdn(K)=zmaxx-Xdn(K)
68    Continue
      Do 69 I=1,f
      X(I)=zmaxx-X(I)
69    Continue
      xn1=zmaxx-xn1
      dmx=-dmx
      xpc=zmaxx-xpc
      xel=zmaxx-xel
      End If
      If (yn1>ypc) Then
      Do 66 I=1,n
      YY(I)=zmaxy-YY(I)
66    Continue
      Do 67 k=1,s
      Ydn(K)=zmaxy-Ydn(K)
67    Continue
      Do 70 I=1,f
      Y(I)=zmaxy-Y(I)
70    Continue
      yn1=zmaxy-yn1
      dmy=-dmy
      ypc=zmaxy-ypc
      yel=zmaxy-yel
      End If

      Call Area
      Call ProArea
      Call Atalet

      Do 131 I=1,f
      X(I)=XX(I+pn)
      Y(I)=YY(I+pn)
755   Format(A,I3,12X,A,F8.5,12X,A,F8.5)
131   Continue
       Ab1=0
       Xb11=0
```

```
          Yb11=0
          Do 12 k=1,n-1
     Ab1=Ab1+(XX(k)-XX(k+1))*(YY(k)+YY(k+1))/2
          Xb11=Xb11+(YY(k+1)-YY(k))*(XX(k)*XX(k)+XX(k)*XX(k+1)
    *+XX(k+1)*XX(k+1))
     Yb11=Yb11+(XX(k)-XX(k+1))*(YY(k)*YY(k)+YY(k)*YY(k+1)
    *+YY(k+1)*YY(k+1))
12        Continue
          Xb11=Xb11/6/Ab1
          Yb11=Yb11/6/Ab1
          Ab1=Abs(Ab1)

           Ast=s*A11
          If (dMx.NE.0 .And. dMy.NE.0) Then
          Teta=Atan(dMy/dMx)
          End If
          dela=0.001
          delc=0.001
          atemp=a
          ctemp=c
          Call Zone
          rf1=f1
          rf2=f2
          atmp=a+dela
          ctmp=c+delc
          Iter=0
          Do
          Iter=Iter+1
          If (dMx.EQ.0 .And. dMy.EQ.0) Then
          tmp=dNu
          Else
          tmp=dMu
          End If
          c=ctemp
          a=atmp
          Call Zone

          df1a=(f1-rf1)/dela
          df2a=(f2-rf2)/dela
          c=ctmp
           a=atemp

          Call Zone
```

```
      df1c=(f1-rf1)/delc
      df2c=(f2-rf2)/delc
      Di=df1a*df2c-df1c*df2a
      a=a-(rf1*df2c-rf2*df1c)/Di
      c=c-(rf2*df1a-rf1*df2a)/Di
      If (Iter.EQ.1)Write(2,*)'Iter:'
            If (dMx.EQ.0 .And. dMy.EQ.0) Then
      Write(2,15)Iter,'a=',a,'c=',c,'Nu=',dNu
15     Format(I3,5X,A,F7.2,3X,A,F7.2,3X,A,F12.4)
            End If
      If (dMx.NE.0 .And. dMy.NE.0) Then
      Write(2,16)Iter,'a=',a,'c=',c,'Mu=',dMu
16    Format(I3,5X,A,F7.3,3X,A,F7.2,3X,A,F10.4)
            End If

      ctemp=c
      atemp=a
      ctmp=c+delc
      atmp=a+dela

      Call Zone

      rf1=f1
      rf2=f2

      If (dMx.EQ.0 .And. dMy.EQ.0) Then
      temp=dNu
      Else
      temp=dMu
      End If
      IF (Abs((tmp-temp)/tmp).LT.0.001) Exit
            If (Iter.EQ.300) Exit
      End Do
      DelDn=Abs((dNu-Dnn)/dNu)
      Dnn=dNu
      DelMx=Abs((Mx-Mxx)/Mx)
      Mxx=Mx
      DelMy=Abs((My-Myy)/My)
      Myy=My
      If (DelDn<0.001.and.DelMx<0.001.and.DelMy<0.001) Exit
      If (DelDn<0.0001) Exit
      End Do
```

```
      Write(2,*)
      Write(2,*)'BETON SERIT GERİLMELERİ'
      Do 90 I=1,p
      Write(2,85)'Şerit=',I,'Sigmac=',Sigmac(I),'Ac=',Ac111(I),'Xc=',
     *Xcp(I),'Yc=',Ycp(I)
85    Format(A,I2,5X,A,F8.3,3X,A,F10.4,3X,A,F10.5,3X,A,F10.5)
90    Continue

      Write(2,*)'DONATI GERİLMELERİ'
      Do 110 I=1,s/2
      Write(2,96)'S=',I,'Sigmas=',Sigmas(I),'S=',(I+s/2),'Sigmas=',
     *Sigmas(I+s/2)
96    Format(A,I3,3X,A,F10.2,3X,A,I3,3X,A,F10.2)
110   Continue
      Write(2,*)

      Write(2,*)'Kesit:'
      Write(2,103)'Ac=',Ab,'Xg=',Xb,'Yg=',Yb
103   Format(3X,A,F10.2,3X,A,F6.2,3X,A,F6.2)
    Write(2,*)
      If (dMx.EQ.0 .And. dMy.EQ.0) Then
    Write(2,*)'Basınç Bölgesi:   a=',a,'c=',c
            Write(2,*)'xn1=',xn1
            Write(2,*)'yn1=',yn1

      Write(2,105)'Nu=',dNu
105   Format(15X,A,F12.4)
      End If
      If (dMx.NE.0 .And. dMy.NE.0) Then
      Write(2,*)'Basınç Bölgesi:   a=',a,'c=',c
      Write(2,106)'Mu=',dMu
106   Format(15X A,F10.4)
      End If
      Write(2,*)'Nd=',Nd
      Write(2,*)'Mx=',Mx
      Write(2,*)'My=',My
      Write(2,*)'Dltx=',Dltx
      Write(2,*)'Dlty=',Dlty

      Write(*,*)'Cizim Faktoru:'
      Read(*,*)st1
      Call Temizle
      Call Cizim
```

```
      Close(Unit=1)
      Close (Unit=2)

c     Stop
c     End

      contains
      Subroutine Koordinat
      Do 111 I=1,n
      Xpl(I)=XX(I)
      Ypl(I)=YY(I)

111   Continue
      Do 133 I=1,f
            X(I)=XX(pn+I)
            Y(I)=YY(pn+I)

133   Continue
      Do 606 I=1,t
      dn1(I)=dn(I)
      XXd1(I)=XX1(I)
      YYd1(I)=YY1(I)
      XXd2(I)=XX2(I)
      YYd2(I)=YY2(I)

606   Continue

      End Subroutine Koordinat
            Subroutine Area
      Ab=0
      Xb=0
      Yb=0
      Ixg=0
      Iyg=0

       Do 11 I=1,f-1
 Ab=Ab+(X(I)-X(I+1))*(Y(I)+Y(I+1))/2
 Xb=Xb+(Y(I+1)-Y(I))*(X(I)*X(I)+X(I)*X(I+1)+X(I+1)*X(I+1))
 Yb=Yb+(X(I)-X(I+1))*(Y(I)*Y(I)+Y(I)*Y(I+1)+Y(I+1)*Y(I+1))
      Ixg=Ixg+(X(I)-X(I+1))*(Y(I)*Y(I)*Y(I)+Y(I)*Y(I)*Y(I+1)
*+Y(I+1)*Y(I+1)*Y(I)+Y(I+1)*Y(I+1)*Y(I+1))/12
      Iyg=Iyg+(Y(I+1)-Y(I))*(X(I)*X(I)*X(I)+X(I)*X(I)*X(I+1)
*+X(I+1)*X(I+1)*X(I)+X(I+1)*X(I+1)*X(I+1))/12
```

```
11      Continue
        Xb=Xb/6/Ab
        Yb=Yb/6/Ab
        Ixg=Abs(Ixg-Ab*Yb*Yb)
        Iyg=Abs(Iyg-Ab*Xb*Xb)
        Ab=Abs(Ab)
        Xb=Abs(Xb)
        Yb=Abs(Yb)
        Ixg=Ixg+(Ab*(Yb-Ypc)*(Yb-Ypc))
        Iyg=Iyg+(Ab*(Xb-Xpc)*(Xb-Xpc))
C       Write(2,*)'Ab=',Ab
C       Write(2,*)'Ix=',Ixg
C       Write(2,*)'Iy=',Iyg
        End Subroutine Area

        Subroutine ProArea
        Apf=0
        Xpf=0
        Ypf=0
        Ixpf=0
        Iypf=0
        Do 14 I=1,n-1
        Apf=Apf+(XX(I)-XX(I+1))*(YY(I)+YY(I+1))/2
        Xpf=Xpf+(YY(I+1)-YY(I))*(XX(I)*XX(I)+XX(I)*XX(I+1)
   *+XX(I+1)*XX(I+1))
        Ypf=Ypf+(XX(I)-XX(I+1))*(YY(I)*YY(I)+YY(I)*YY(I+1)
   *+YY(I+1)*YY(I+1))
        Ixpf=Ixpf+(XX(I)-
XX(I+1))*(YY(I)*YY(I)*YY(I)+YY(I)*YY(I)*YY(I+1)
   *+YY(I+1)*YY(I+1)*YY(I)+YY(I+1)*YY(I+1)*YY(I+1))/12
        Iypf=Iypf+(YY(I+1)-
YY(I))*(XX(I)*XX(I)*XX(I)+XX(I)*XX(I)*XX(I+1)
   *+XX(I+1)*XX(I+1)*XX(I)+XX(I+1)*XX(I+1)*XX(I+1))/12
14      Continue
        Xpf=Xpf/6/Apf
        Ypf=Ypf/6/Apf

        Ixpf=Abs(Ixpf-Apf*Ypf*Ypf)
        Iypf=Abs(Iypf-Apf*Xpf*Xpf)
        Apf=Abs(Apf)
        Xpf=Abs(Xpf)
        Ypf=Abs(Ypf)
```

```
      Ixpf=Ixpf+(Apf*(Ypf-Ypc)*(Ypf-Ypc))
      Iypf=Iypf+(Apf*(Xpf-Xpc)*(Xpf-Xpc))
      End Subroutine ProArea

      Subroutine Zone
      Ab1=0
      Xb1=0
      Yb1=0
            Do 121 k=1,n-1
   Ab1=Ab1+(XX(k)-XX(k+1))*(YY(k)+YY(k+1))/2
      Xb1=Xb1+(YY(k+1)-YY(k))*(XX(k)*XX(k)+XX(k)*XX(k+1)
  *+XX(k+1)*XX(k+1))
   Yb1=Yb1+(XX(k)-XX(k+1))*(YY(k)*YY(k)+YY(k)*YY(k+1)
  *+YY(k+1)*YY(k+1))
121   Continue
      Xb1=Xb1/6/Ab1
      Yb1=Yb1/6/Ab1

      dNu2=0
      dMu1=0
      dMu2=0
        f21=0
        f31=0
        f25=0
      f211=0
      f311=0
      f1=0
      f2=0

      Do 80 L=1,s
   If (Tip.EQ.1) Then
            If (Abs(Esi(L)).LT.fyd/Es) then
       Sigmas(L)=Es*Esi(L)
      Else
      Sigmas(L)=Esi(L)*fyd/Abs(Esi(L))
            End If
      End If

      If (Tip.EQ.2) Then
      Do 122 k=1,sr-1
            If (Abs(Esi(L))>=Essi(k)) Then
                  If (Abs(Esi(L))<Essi(k+1)) Then
```

```
          m1=(Z(K+1)-Z(k))/(Essi(k+1)-Essi(k))
          Sigmas(L)=(m1*Abs(Esi(L)))+(Z(K+1)-(m1*Essi(k+1)))
          Sigmas(L)=Sigmas(L)*Esi(L)/Abs(Esi(L))
                              End If
                    End If

122       Continue
          End If
      If (dMx.EQ.0 .And. dMy.EQ.0) Then
          dNu2=dNu2+Sigmas(L)*A11
          f21=f21+(Xdn(L)-xn1)*Sigmas(L)*A11
          f31=f31+(Ydn(L)-yn1)*Sigmas(L)*A11
          f211=f211+(Xdn(L)-xpc)*Sigmas(L)*A11
          f311=f311+(Ydn(L)-ypc)*Sigmas(L)*A11
          Else
          f21=f21+(Xdn(L)*Sigmas(L)*A11)*Cos(Teta)
      f31=f31+(Ydn(L)*Sigmas(L)*A11)*Sin(Teta)
          f25=f25+A11*Sigmas(L)
          dMu1=dMu1+(Ydn(L)*Sigmas(L)*A11)*Cos(Teta)
          dMu2=dMu2+(Xdn(L)*Sigmas(L)*A11)*Sin(Teta)
          End If
80        Continue

          a1=0
          c1=0
          Ac1=0
          Ac2=0
          f11=0
          f22=0
          f32=0
          f222=0
          f322=0
          f41=0
          f42=0
          f43=0
          dNu1=0
          dMu=0
           tg=c/a

          Do 20 I=1,500
503       c1=(c/30+c1)
          a1=c1/tg
```

```
500      Ac=0
       Xo=0
       Yo=0
            Xg=0
            Yg=0
        Do 30 k=1,n
           If (k.EQ.n) then
       Xt=XX(1)
       Yt=YY(1)
       Else
        Xt=XX(k+1)
        Yt=YY(k+1)
       End If
      If (Xt.EQ.XX(k)) then
       Xp=XX(k)
       Else
         dlp=(Yt-YY(k))/(Xt-XX(k))
       If (((c1/a1)+dlp).EQ.0) then
          c1=c1+(c1/100)
          Goto 500
       end If
          Xp=(c1-YY(k)+dlp*XX(k))/(c1/a1+dlp)
        End If
          Yp=c1*(1-(Xp/a1))
        If (XX(k-1).EQ.XX(k)) Then
          Xm=XX(k)
        Else
           dlm=(YY(k-1)-YY(k))/(XX(k-1)-XX(k))
          If ((c1/a1)+dlm.EQ.0) then
           a1=a1+(a1/100)
          Goto 500
          end If
         Xm=((c1-YY(k))+dlm*XX(k))/(c1/a1+dlm)
           End If
        Ym=c1*(1-(Xm/a1))
         Sa=0
         Xgg=0
         Xg1=0
         Xg2=0
         Xg3=0
         Ygg=0
         Yg1=0
         Yg2=0
```

```
        Yg3=0
      If (YY(k)<=c1*(a1-XX(k))/a1) Then
       SA=(XX(k)*(Ym-Yp)+Xp*(YY(k)-Ym)+Xm*(Yp-YY(k)))/2
       Yg1=(Xm-Xp)*(Ym*Ym+Ym*Yp+Yp*Yp)
       Yg2=(XX(k)-Xm)*(YY(k)*YY(k)+YY(k)*Ym+Ym*Ym)
       Yg3=(Xp-XX(k))*(Yp*Yp+Yp*YY(k)+YY(k)*YY(k))
       Ygg=Yg1+Yg2+Yg3
       Xg1=(Yp-Ym)*(Xm*Xm+Xm*Xp+Xp*Xp)
       Xg2=(Ym-YY(k))*(XX(k)*XX(k)+XX(k)*Xm+Xm*Xm)
       Xg3=(YY(k)-Yp)*(Xp*Xp+Xp*XX(k)+XX(k)*XX(k))
       Xgg=Xg1+Xg2+Xg3
       End If

       Ac=Ac+Sa
       Xg=Xg+Xgg
       Yg=Yg+Ygg

30        Continue

          If (Ac<0.or.Ac>0) Then

       X1(I)=Xg/6/Ac
       Y1(I)=Yg/6/Ac
       Ac1=Ac-Ac2
       Ac2=Ac1+Ac2

       If (I.EQ.1) then
       Xc(I)=X1(1)
       Yc(I)=Y1(1)

      Else
      Xc(I)=Abs((Ac*X1(I)-(Ac2-Ac1)*X1(I-1))/((Ac-(Ac2-Ac1))))
           Yc(I)=Abs((Ac*Y1(I)-(Ac2-Ac1)*Y1(I-1))/((Ac-(Ac2-Ac1))))
       End If

                  Ac1=Abs(Ac1)
          End If

                              Esp(I)=Epscu*((Yc(I)/c+Xc(I)/a)-1)
          If (Tip.EQ.1) Then

          If (Abs(Esp(I)).LT.fydc/Ess) then
```

```
 Sigmasp(I)=Ess*Esp(I)

            If (Sigmasp(I)<0.0) Then
          Sigmasp(I)=0
       End If

          End If
    End If

    If (Tip.EQ.2) Then

                          Do 123 k=1,sp-1
          If (Abs(Esp(I))>=Espi(k)) Then
                If (Abs(Esp(I))<Espi(k+1)) Then

    m11=(Zp(K+1)-Zp(k))/(Espi(k+1)-Espi(k))
    Sigmasp(I)=(m11*Abs(Esp(I)))+(Zp(K+1)-(m11*Espi(k+1)))
    Sigmasp(I)=Sigmasp(I)*Esp(I)/Abs(Esp(I))
                End If
          End If
123 Continue
    End If

   f41=f41+Sigmasp(I)*Xc(I)*Ac1
      f42=f42+Sigmasp(I)*Yc(I)*Ac1
      f43=f43+Sigmasp(I)*Ac1
      dNu1=dNu1+Ac1*Sigmasp(I)
      f22=f22+Sigmasp(I)*(Xc(I)-xn1)*Ac1
      f32=f32+Sigmasp(I)*(Yc(I)-yn1)*Ac1
          f222=f222+Sigmasp(I)*(Xc(I)-xpc)*Ac1
      f322=f322+Sigmasp(I)*(Yc(I)-ypc)*Ac1
          Ac11(I)=Abs(Ac1)
    If (Abs(Ab1)-Abs(Ac).LT.0.01) Exit
20  Continue
    a1=0
    c1=0
    Ack=0
    Ac1c=0
    Ac2c=0
    f111=0
    f221=0
    f321=0
    f2211=0
```

```
          f3211=0
          f411=0
          f421=0
          f431=0
          dNu11=0
          dMu1=0

          a=c/tg


          Do 21 u=1,p

502       c1=(c/p+c1)
          a1=c1/tg
501    Acc=0
      Xo=0
      Yo=0
           xg=0
           Yg=0
          Do 31 j=1,f
          If (j.EQ.f) then
      Xt=X(1)
      Yt=Y(1)
      Else
       Xt=X(j+1)
      Yt=Y(j+1)
      End If
     If (Xt.EQ.X(j)) then
      Xp=X(j)
      Else
      dlp=(Yt-Y(j))/(Xt-X(j))
      If (((c1/a1)+dlp).EQ.0) then
        c1=c1+(c1/100)
        Goto 501
      end If

        Xp=(c1-Y(j)+dlp*X(j))/(c1/a1+dlp)
       End If
        Yp=c1*(1-(xp/a1))
       If (X(j-1).EQ.X(j)) Then
        Xm=X(j)
       Else
         dlm=(Y(j-1)-Y(j))/(X(j-1)-X(j))
```

```
        If ((c1/a1)+dlm.EQ.0) then
         a1=a1+(a1/100)
        Goto 501
                    end If
       Xm=((c1-Y(j))+dlm*X(j))/(c1/a1+dlp)
         End If
      Ym=c1*(1-(Xm/a1))
       Sa=0
       Xgg=0
       Xg1=0
       Xg2=0
       Xg3=0
       Ygg=0
       Yg1=0
       Yg2=0
       Yg3=0
          If (X(j)<=a1*(c1-Y(j))/c1) Then
     SA=(X(j)*(Ym-Yp)+Xp*(Y(j)-Ym)+Xm*(Yp-Y(j)))/2
     Yg1=(Xm-Xp)*(Ym*Ym+Ym*Yp+Yp*Yp)
     Yg2=(X(j)-Xm)*(Y(j)*Y(j)+Y(j)*Ym+Ym*Ym)
     Yg3=(Xp-X(j))*(Yp*Yp+Yp*Y(j)+Y(j)*Y(j))
     Ygg=Yg1+Yg2+Yg3
     Xg1=(Yp-Ym)*(Xm*Xm+Xm*Xp+Xp*Xp)
     Xg2=(Ym-Y(j))*(X(j)*X(j)+X(j)*Xm+Xm*Xm)
     Xg3=(Y(j)-Yp)*(Xp*Xp+Xp*X(j)+X(j)*X(j))
     Xgg=Xg1+Xg2+Xg3
          End If
C
      Acc=Acc+Sa
      Xg=Xg+Xgg
      Yg=Yg+Ygg
31        Continue

          If (Acc<0.or.Acc>0) Then
     X11(u)=Xg/6/Acc
     Y11(u)=Yg/6/Acc
     Ac1c=Acc-Ac2c
     Ac2c=Ac1c+Ac2c

!         If (Abs(Ab1)-Abs(Ack).LT.0.01 .or. Abs(Ac1c).Eq.0) Exit
     If (u.EQ.1) then
     Xcp(u)=X11(1)
     Ycp(u)=Y11(1)
```

```
 Else
 Xcp(U)=(Acc*X11(U)-(Ac2c-Ac1c)*X11(U-1))
*/((Acc-(Ac2c-Ac1c)))

      Ycp(U)=(Acc*Y11(U)-(Ac2c-Ac1c)*Y11(U-1))
*/((Acc-(Ac2c-Ac1c)))

  End If

      Ac1c=Abs(Ac1c)
      End If

                        Eci(U)=Abs(Epscu*((Ycp(U)/c+Xcp(U)/a)-1))
            If (Tp.EQ.1) Then
            If (Eci(U).LT.Eco)  then
            Sigmac(U)=fcd*(2*Eci(U)/Eco-((Eci(U)/Eco)*(Eci(U)/Eco)))
            Else
      Sigmac(U)=0.15*fcd*Eci(U)/(Eco-Epscu)+fcd-0.15*fcd*Eco/(Eco-Epscu)
            End If
      End If

          If (Tp.EQ.15) Then
        E1=4730*(Sqrt(fcd*10))
        E2=((1892*fcd)**0.2)+((13.45*Ess*tf)/Df)
         Fr=2*Ff*tf/Df
         Fo=8.5*fcd+1.9*Fr+6.89
         Fcu=fcd*10+6.14*(Fr**0.75)
               nc=1+1/((E1/E2)-1)

            If (Eci(U)<Epscu) then
       Sigmac(U)=(((E1-E2)*Eci(U)/((1+((E1-E2)*Eci(U)/Fo)**nc))**(1/nc))
*+E2*Eci(U))/10

      End If
      End If

        If(Tp.EQ.8) Then
C     Beta=1/(1-(fcd/(Eco*Eck)))
        Beta=2.65
         n1=1
      If (Ec(I)/Eco.LT.Epscu) Then
      Sigmac(I)=fcd*((n1*Beta*Eci(I)/Eco)/((n1*Beta-1)+((Eci(I)/Eco)**
*(n1*Beta))))
```

```
            Else
        Sigmac(I)=0.6*Exp(-0.7*(((Eci(I)/Eco)-Epscu)**0.8))*fcd
        End If
        End If
            End If

            f411=f411+Sigmac(U)*Xcp(U)*Ac1c
        f421=f421+Sigmac(U)*Ycp(U)*Ac1c
        f431=f431+Sigmac(U)*Ac1c
        dNu11=dNu11+Ac1c*Sigmac(U)
        f221=f221+Sigmac(U)*(Xcp(U)-xn1)*Ac1c
        f321=f321+Sigmac(U)*(Ycp(U)-yn1)*Ac1c
            f2211=f2211+Sigmac(U)*(Xcp(U)-xpc)*Ac1c
        f3211=f3211+Sigmac(U)*(Ycp(U)-ypc)*Ac1c
            Ac111(U)=Ac1c
        Ack=Ack+Ac111(U)

21      Continue

      If (dMx.EQ.0 .And. dMy.EQ.0) Then
       dNu=dNu11-dNu1-dNu2
            Pi=3.1415927
        Eck=(4730*sqrt(fcd*10))/10

        EIx=0.4*Eck*(Ixpf)
        EIy=0.4*Eck*(Iypf)

        Pcrx=(Pi*Pi*EIx)/((KL)*(KL))
        Pcry=(Pi*Pi*EIy)/((KL)*(KL))

        Bx=1/(1-(1.33*dNu/Pcrx))
        By=1/(1-(1.33*dNu/Pcry))

        If (Bx<1) Then
        Bx=1
        End If
        If (By<1) Then
        By=1
        End If
        If (Bx>5) Then
        Bx=5
        End If
        If (By>5) Then
```

```
   By=5
   End If
   ex1=(Xpc-xn1)/By
   ey1=(Ypc-yn1)/Bx
   Dltx=0
   Dlty=0
   Dltx=(Epscu/c)*(KL/Pi)*(KL/Pi)
   Dlty=(Epscu/a)*(KL/Pi)*(KL/Pi)
   Nd=dNu11-dNu1-dNu2
   Mx=f322+f311-f3211
   My=f222+f211-f2211

   f1=f322+f311-f3211-(dNu*(Abs(ey)+Dlty))
   f2=f222+f211-f2211-(dNu*(Abs(ex)+Dltx))
   Else
     f31=f31-f42*Sin(Teta)
     f21=f21-f41*Cos(Teta)
     f1=f31-f21
     f2=f25-f43
     dMu1=dMu1-f42*Cos(Teta)
     dMu2=dMu2-f41*Sin(Teta)
     dMu=dMu1+dMu2
   End If

            End subroutine Zone

    Subroutine Generate
      s=0
   Do 40 I=1,t
s=dn(I)-1+s
If ((xx2(I)-xx1(I)).EQ.0) then
     dxx(I)=0
Else
      dxx(I)=(xx2(I)-xx1(I))/(dn(I)-1)
   End If
If ((yy2(I)-yy1(I)).EQ.0) then
         dyy(I)=0
Else
      dyy(I)=(yy2(I)-yy1(I))/(dn(I)-1)
   End If

   Do 50 k=s+2-dn(I),s
Xdn(s+2-dn(I))=XX1(I)
```

```
      Ydn(s+2-dn(I))=YY1(I)
      Xdn(k+1)=Xdn(k)+(dxx(I))
      Ydn(k+1)=Ydn(k)+(dyy(I))
        Write(2,75)'R=',k,'X=',Xdn(k),'Y=',Ydn(k)
75      Format(A,I3,12X,A,F7.2,12X,A,F7.2)
50       Continue

40        Continue
         End Subroutine Generate

        Subroutine Atalet
        Ixdn=0
        Iydn=0
        Do 51 k=1,s
        Ixdn=Ixdn+A11*(Ydn(k)-Ypc)*(Ydn(k)-Ypc)
        Iydn=Iydn+A11*(Xdn(k)-Xpc)*(Xdn(k)-Xpc)
51      Continue
                End Subroutine Atalet
                Subroutine Temizle
        USE DFLIB
        CALL CLEARSCREEN($GWINDOW)
         End Subroutine Temizle

        Subroutine Cizim
          USE DFLIB
        TYPE (xycoord) poly(N)
        Integer(2) status,DUMMY,nx,ny,nxx,nyy
        TYPE (xycoord) xy
        TYPE (rccoord) rc

    Do 11 I=1,n
        poly(I).xcoord =(150+(XX(I))*st1)
    poly(I).ycoord = (150+(YY(I))*st1)

11   Continue
    status = SETCOLORRGB(#FFFFFF)
    status = POLYGON($GBORDER, poly, INT2(N))

         status = SETCOLORRGB(#FFFFFF)
     status = POLYGON($GBORDER, poly, INT2(N))

        Write(*,*)'a=',a
        Write(*,*)'c=',c
```

```
        If (zmaxx<a) then
        zmaxx=a
       End If

       If (zmaxy<c) then
       zmaxy=c
       End If
              Write(*,*)'a=',a
       Write(*,*)'c=',c

    CALL MOVETO(INT2(150), INT2(150), xy)

    STATUS=LINETO(150+INT2(INT(zmaxx)*st1+25), 150)
          CALL MOVETO(INT2(150), INT2(150), xy)

       STATUS=LINETO(150+INT2(INT(a)*st1),150)
       STATUS=LINETO(150,150+INT2(INT(c)*st1))
       CALL MOVETO(INT2(150), INT2(150), xy)

       STATUS=LINETO(150, 150+INT2(INT(zmaxy)*st1)+25)
       Status=LINETO(150,150)

       Do 12 k=1,s
       Xdnn(k)=Int(Xdn(k)*st1)
    Ydnn(k)=Int(Ydn(k)*st1)
    status = SETCOLORRGB(#FFFFFF)

       dummy=ELLIPSE_W($GFILLINTERIOR,150+Xdnn(k),
   *Ydnn(k)+150,Xdnn(k)+151,Ydnn(k)+151)
12     Continue
              END Subroutine Cizim

         END
```

EK-6

ANALİZLERDE KULLANILAN BAZI DATA VE ÇIKTI DOSYALARI

· **C1-0 NUMUNESİ DATA DOSYASI**

```
C1-0
General Information
0.004 0.002 6.466 50 20000 0.5026 130 0
4 4
12 12
0 0
1
1
Segment Number
40
Polygon coordinates
5
0,0
12.5,0
12.5,12.5
0,12.5
0,0
Reinforcements
4
2,2.25,2.25,10.25,2.25
2,10.25,2.25,10.25,10.25
2,10.25,10.25,2.25,10.25
2,2.25,10.25,2.25,2.25
```

· **C1-0 NUMUNESİ ÇIKTI DOSYASI**

```
C1-0
GENEL BİLGİLER
Epscu=.00400   fcd=   6.5   fyd=   50.00   Es=    20000.00
Mx= 0.000   My= 0.000
ao=  12.00   co=  12.00
Şerit Sayısı= 40

POLİGON KOORDİNATLARI:
P=  1          X=    0.00          Y=    0.00
P=  2          X=   12.50          Y=    0.00
P=  3          X=   12.50          Y=   12.50
```

P= 4 X= 0.00 Y= 12.50
P= 5 X= 0.00 Y= 0.00

DONATILAR:
R= 1 X= 2.25 Y= 2.25
R= 2 X= 10.25 Y= 2.25
R= 3 X= 10.25 Y= 10.25
R= 4 X= 2.25 Y= 10.25

Iter:
1 a= 10.22 c= 10.22 Nu= 320.6992
2 a= 9.97 c= 9.97 Nu= 214.6344
3 a= 9.96 c= 9.96 Nu= 200.0274
Iter:
1 a= 9.96 c= 9.96 Nu= 199.6627

BETON SERIT GERİLMELERİ
Şerit= 1 Sigmac= 5.53 Ac= 0.0310 Xc= 0.083 Yc= 0.083
Şerit= 2 Sigmac= 5.57 Ac= 0.0931 Xc= 0.194 Yc= 0.194
Şerit= 3 Sigmac= 5.62 Ac= 0.1551 Xc= 0.316 Yc= 0.316
Şerit= 4 Sigmac= 5.67 Ac= 0.2172 Xc= 0.439 Yc= 0.439
Şerit= 5 Sigmac= 5.72 Ac= 0.2792 Xc= 0.563 Yc= 0.563
Şerit= 6 Sigmac= 5.76 Ac= 0.3413 Xc= 0.687 Yc= 0.687
Şerit= 7 Sigmac= 5.81 Ac= 0.4033 Xc= 0.811 Yc= 0.811
Şerit= 8 Sigmac= 5.86 Ac= 0.4654 Xc= 0.935 Yc= 0.936
Şerit= 9 Sigmac= 5.91 Ac= 0.5274 Xc= 1.060 Yc= 1.060
Şerit=10 Sigmac= 5.96 Ac= 0.5895 Xc= 1.184 Yc= 1.184
Şerit=11 Sigmac= 6.01 Ac= 0.6515 Xc= 1.309 Yc= 1.309
Şerit=12 Sigmac= 6.05 Ac= 0.7135 Xc= 1.433 Yc= 1.433
Şerit=13 Sigmac= 6.10 Ac= 0.7756 Xc= 1.558 Yc= 1.558
Şerit=14 Sigmac= 6.15 Ac= 0.8376 Xc= 1.682 Yc= 1.682
Şerit=15 Sigmac= 6.20 Ac= 0.8997 Xc= 1.807 Yc= 1.807
Şerit=16 Sigmac= 6.25 Ac= 0.9617 Xc= 1.931 Yc= 1.931
Şerit=17 Sigmac= 6.30 Ac= 1.0238 Xc= 2.056 Yc= 2.056
Şerit=18 Sigmac= 6.34 Ac= 1.0858 Xc= 2.180 Yc= 2.180
Şerit=19 Sigmac= 6.39 Ac= 1.1479 Xc= 2.305 Yc= 2.305
Şerit=20 Sigmac= 6.44 Ac= 1.2099 Xc= 2.429 Yc= 2.429
Şerit=21 Sigmac= 6.46 Ac= 1.2720 Xc= 2.554 Yc= 2.554
Şerit=22 Sigmac= 6.43 Ac= 1.3340 Xc= 2.678 Yc= 2.678
Şerit=23 Sigmac= 6.36 Ac= 1.3961 Xc= 2.803 Yc= 2.803
Şerit=24 Sigmac= 6.27 Ac= 1.4581 Xc= 2.927 Yc= 2.927
Şerit=25 Sigmac= 6.14 Ac= 1.5202 Xc= 3.052 Yc= 3.052
Şerit=26 Sigmac= 5.98 Ac= 1.5822 Xc= 3.176 Yc= 3.177

Şerit=27 Sigmac= 5.78 Ac= 1.6443 Xc= 3.301 Yc= 3.301
Şerit=28 Sigmac= 5.56 Ac= 1.7063 Xc= 3.425 Yc= 3.426
Şerit=29 Sigmac= 5.30 Ac= 1.7684 Xc= 3.550 Yc= 3.550
Şerit=30 Sigmac= 5.01 Ac= 1.8304 Xc= 3.674 Yc= 3.675
Şerit=31 Sigmac= 4.68 Ac= 1.8924 Xc= 3.799 Yc= 3.799
Şerit=32 Sigmac= 4.33 Ac= 1.9545 Xc= 3.923 Yc= 3.924
Şerit=33 Sigmac= 3.94 Ac= 2.0165 Xc= 4.048 Yc= 4.048
Şerit=34 Sigmac= 3.52 Ac= 2.0786 Xc= 4.172 Yc= 4.173
Şerit=35 Sigmac= 3.07 Ac= 2.1406 Xc= 4.297 Yc= 4.297
Şerit=36 Sigmac= 2.58 Ac= 2.2027 Xc= 4.421 Yc= 4.422
Şerit=37 Sigmac= 2.06 Ac= 2.2647 Xc= 4.546 Yc= 4.546
Şerit=38 Sigmac= 1.51 Ac= 2.3268 Xc= 4.671 Yc= 4.671
Şerit=39 Sigmac= 0.93 Ac= 2.3888 Xc= 4.795 Yc= 4.796
Şerit=40 Sigmac= 0.32 Ac= 2.4509 Xc= 4.920 Yc= 4.920

DONATI GERİLMELERİ
R= 1 Sigmas= -43.87 R= 3 Sigmas= 50.00
R= 2 Sigmas= 20.37 R= 4 Sigmas= 20.36

Kesit:
Ac= 156.25 Xg= 6.25 Yg= 6.25

Basınç Bölgesi: a= 9.963231 c= 9.964229
Nu= 199.6627
Nd= 199.6627
Mx= 935.6805
My= 935.7201
Dltx= 0.6873901
Dlty= 0.6874589

· **C2-I NUMUNESİ DATA DOSYASI**

C2-I
General Information
0.004 0.002 7.487 50 280 21000 23000 0.502 0.4 90 630 130
5.0 5.0
12 12
0 0
15
1
Segment Number
40
Polygon coordinates
11 1
0,0
12.58,0
12.58,12.58
12.54,12.54
12.54,0.04
0.04,0.04
0.04,12.54
12.54,12.54
12.58,12.58
0,12.58
0,0
Poligon
5 3
Reinforcements
4
2,2.25,2.25,10.3,2.25
2,10.3,2.25,10.3,10.3
2,10.3,10.3,2.25,10.3
2,2.25,10.3,2.25,2.25

· **C2-I NUMUNESİ ÇIKTI DOSYASI**

C2-I
GENEL BİLGİLER
Epscu=.00400 fcd= 7.5 fyd= 50.00 fydc= 280.00 Es= 21000.00
Mx= 0.000 My= 0.000
ao= 12.00 co= 12.00
Şerit Sayısı= 40

CFRP KOORDINATLARI:

PR= 1	X= 0.00	Y= 0.00
PR= 2	X= 12.58	Y= 0.00
PR= 3	X= 12.58	Y= 12.58
PR= 4	X= 12.54	Y= 12.54
PR= 5	X= 12.54	Y= 0.04
PR= 6	X= 0.04	Y= 0.04
PR= 7	X= 0.04	Y= 12.54
PR= 8	X= 12.54	Y= 12.54
PR= 9	X= 12.58	Y= 12.58
PR= 10	X= 0.00	Y= 12.58
PR= 11	X= 0.00	Y= 0.00

BETON KESİT KOORDINATLARI:

PR= 1	XP= 12.54	YP= 12.54
PR= 2	XP= 12.54	YP= 0.04
PR= 3	XP= 0.04	YP= 0.04
PR= 4	XP= 0.04	YP= 12.54
PR= 5	XP= 12.54	YP= 12.54

DONATILAR:

R= 1	X= 2.25	Y= 2.25
R= 2	X= 10.30	Y= 2.25
R= 3	X= 10.30	Y= 10.30
R= 4	X= 2.25	Y= 10.30

Iter:

1	a= 12.00	c= 12.00	Nu= 215.7459
2	a= 13.26	c= 12.96	Nu= 215.8158
3	a= 12.78	c= 12.69	Nu= 334.1335
4	a= 12.59	c= 12.44	Nu= 292.7223
5	a= 12.82	c= 12.76	Nu= 267.7062
6	a= 11.88	c= 12.47	Nu= 297.9839
7	a= 12.16	c= 12.19	Nu= 225.4776
8	a= 12.43	c= 12.50	Nu= 226.0389
9	a= 12.59	c= 12.51	Nu= 259.9119
10	a= 12.66	c= 12.64	Nu= 270.1906
11	a= 12.62	c= 12.63	Nu= 281.5761
12	a= 12.62	c= 12.62	Nu= 274.4726

Iter:

1	a= 12.62	c= 12.62	Nu= 273.5428

BETON SERIT GERİLMELERİ

Şerit= 1	Sigmac=	8.552	Ac=	0.0277	Xc=	0.11850	Yc=	0.11852
Şerit= 2	Sigmac=	8.498	Ac=	0.1241	Xc=	0.24718	Yc=	0.24722
Şerit= 3	Sigmac=	8.432	Ac=	0.2237	Xc=	0.40024	Yc=	0.40031
Şerit= 4	Sigmac=	8.364	Ac=	0.3232	Xc=	0.55619	Yc=	0.55629
Şerit= 5	Sigmac=	8.295	Ac=	0.4228	Xc=	0.71299	Yc=	0.71312
Şerit= 6	Sigmac=	8.223	Ac=	0.5224	Xc=	0.87015	Yc=	0.87031
Şerit= 7	Sigmac=	8.150	Ac=	0.6219	Xc=	1.02750	Yc=	1.02770
Şerit= 8	Sigmac=	8.076	Ac=	0.7215	Xc=	1.18497	Yc=	1.18519
Şerit= 9	Sigmac=	7.999	Ac=	0.8210	Xc=	1.34250	Yc=	1.34275
Şerit=10	Sigmac=	7.920	Ac=	0.9206	Xc=	1.50008	Yc=	1.50037
Şerit=11	Sigmac=	7.840	Ac=	1.0202	Xc=	1.65769	Yc=	1.65801
Şerit=12	Sigmac=	7.756	Ac=	1.1197	Xc=	1.81533	Yc=	1.81568
Şerit=13	Sigmac=	7.671	Ac=	1.2193	Xc=	1.97299	Yc=	1.97337
Şerit=14	Sigmac=	7.582	Ac=	1.3189	Xc=	2.13066	Yc=	2.13107
Şerit=15	Sigmac=	7.491	Ac=	1.4184	Xc=	2.28835	Yc=	2.28879
Şerit=16	Sigmac=	7.396	Ac=	1.5180	Xc=	2.44604	Yc=	2.44651
Şerit=17	Sigmac=	7.297	Ac=	1.6176	Xc=	2.60374	Yc=	2.60424
Şerit=18	Sigmac=	7.194	Ac=	1.7171	Xc=	2.76144	Yc=	2.76198
Şerit=19	Sigmac=	7.087	Ac=	1.8167	Xc=	2.91916	Yc=	2.91972
Şerit=20	Sigmac=	6.975	Ac=	1.9162	Xc=	3.07687	Yc=	3.07747
Şerit=21	Sigmac=	6.857	Ac=	2.0158	Xc=	3.23459	Yc=	3.23522
Şerit=22	Sigmac=	6.733	Ac=	2.1154	Xc=	3.39231	Yc=	3.39298
Şerit=23	Sigmac=	6.602	Ac=	2.2149	Xc=	3.55004	Yc=	3.55072
Şerit=24	Sigmac=	6.463	Ac=	2.3145	Xc=	3.70776	Yc=	3.70849
Şerit=25	Sigmac=	6.314	Ac=	2.4141	Xc=	3.86549	Yc=	3.86624
Şerit=26	Sigmac=	6.156	Ac=	2.5136	Xc=	4.02323	Yc=	4.02401
Şerit=27	Sigmac=	5.986	Ac=	2.6132	Xc=	4.18095	Yc=	4.18177
Şerit=28	Sigmac=	5.802	Ac=	2.7128	Xc=	4.33870	Yc=	4.33954
Şerit=29	Sigmac=	5.602	Ac=	2.8123	Xc=	4.49643	Yc=	4.49730
Şerit=30	Sigmac=	5.384	Ac=	2.9119	Xc=	4.65417	Yc=	4.65508
Şerit=31	Sigmac=	5.144	Ac=	3.0114	Xc=	4.81190	Yc=	4.81284
Şerit=32	Sigmac=	4.877	Ac=	3.1110	Xc=	4.96964	Yc=	4.97061
Şerit=33	Sigmac=	4.578	Ac=	3.2106	Xc=	5.12739	Yc=	5.12839
Şerit=34	Sigmac=	4.241	Ac=	3.3101	Xc=	5.28511	Yc=	5.28615
Şerit=35	Sigmac=	3.855	Ac=	3.4097	Xc=	5.44287	Yc=	5.44393
Şerit=36	Sigmac=	3.409	Ac=	3.5093	Xc=	5.60062	Yc=	5.60171
Şerit=37	Sigmac=	2.886	Ac=	3.6088	Xc=	5.75835	Yc=	5.75947
Şerit=38	Sigmac=	2.261	Ac=	3.7084	Xc=	5.91609	Yc=	5.91724
Şerit=39	Sigmac=	1.502	Ac=	3.8080	Xc=	6.07384	Yc=	6.07502
Şerit=40	Sigmac=	0.559	Ac=	3.9058	Xc=	6.23171	Yc=	6.23261

DONATI GERİLMELERİ

S= 1 Sigmas= -50.00 S= 3 Sigmas= 50.00

S= 2 Sigmas= -1.37 S= 4 Sigmas= -1.40

Kesit:
Ac= 156.25 Xg= 6.29 Yg= 6.29

Basınç Bölgesi: a= 12.62024 c= 12.62272
xn1= 1.290000
yn1= 1.290000
Nu= 273.5512
Nd= 273.5512
Mx= 1789.782
My= 1790.009
Dltx= 1.576041
Dlty= 1.576351

· **C1-II NUMUNESİ DATA DOSYASI**

C1-II
General Information
0.004 0.002 5.772 50 280 21000 23000 0.502 0.8 90 630 130
4.0 4.0
11 11
0 0
15
1
Segment Number
40
Polygon coordinates
11 1
0,0
12.66,0
12.66,12.66
12.58,12.58
12.58,0.08
0.08,0.08
0.08,12.58
12.58,12.58
12.66,12.66
0,12.66
0,0
Poligon
5 3
Reinforcements

4
2,2.25,2.25,10.3,2.25
2,10.3,2.25,10.3,10.3
2,10.3,10.3,2.25,10.3
2,2.25,10.3,2.25,2.25

· **C1-II NUMUNESİ ÇIKTI DOSYASI**

C1-II
GENEL BİLGİLER
Epscu=.00400 fcd= 5.8 fyd= 50.00 fydc= 280.00 Es= 21000.00
Mx= 0.000 My= 0.000
ao= 11.00 co= 11.00
Şerit Sayısı= 40

CFRP KOORDINATLARI:
PR= 1 X= 0.00 Y= 0.00
PR= 2 X= 12.66 Y= 0.00
PR= 3 X= 12.66 Y= 12.66
PR= 4 X= 12.58 Y= 12.58
PR= 5 X= 12.58 Y= 0.08
PR= 6 X= 0.08 Y= 0.08
PR= 7 X= 0.08 Y= 12.58
PR= 8 X= 12.58 Y= 12.58
PR= 9 X= 12.66 Y= 12.66
PR= 10 X= 0.00 Y= 12.66
PR= 11 X= 0.00 Y= 0.00

BETON KESİT KOORDINATLARI:
PR= 1 XP= 12.58 YP= 12.58
PR= 2 XP= 12.58 YP= 0.08
PR= 3 XP= 0.08 YP= 0.08
PR= 4 XP= 0.08 YP= 12.58
PR= 5 XP= 12.58 YP= 12.58

DONATILAR:
R= 1 X= 2.25 Y= 2.25
R= 2 X= 10.30 Y= 2.25
R= 3 X= 10.30 Y= 10.30
R= 4 X= 2.25 Y= 10.30

Iter:
1 a= 11.00 c= 11.00 Nu= -7.4827

2 a= 15.57 c= 14.33 Nu= -7.4904
3 a= 14.49 c= 14.68 Nu= 366.0535
4 a= 14.46 c= 14.45 Nu= 337.8398
5 a= 14.47 c= 14.48 Nu= 326.8376
6 a= 14.49 c= 14.49 Nu= 328.5129
7 a= 14.48 c= 14.49 Nu= 329.9741
8 a= 14.48 c= 14.49 Nu= 325.2283
Iter:
1 a= 14.49 c= 14.49 Nu= 324.038

BETON SERIT GERİLMELERİ

Şerit= 1	Sigmac=	7.694	Ac=	0.0204	Xc=	0.14740	Yc=	0.14740
Şerit= 2	Sigmac=	7.630	Ac=	0.1388	Xc=	0.28590	Yc=	0.28591
Şerit= 3	Sigmac=	7.549	Ac=	0.2700	Xc=	0.46006	Yc=	0.46009
Şerit= 4	Sigmac=	7.463	Ac=	0.4012	Xc=	0.63875	Yc=	0.63880
Şerit= 5	Sigmac=	7.376	Ac=	0.5324	Xc=	0.81863	Yc=	0.81868
Şerit= 6	Sigmac=	7.286	Ac=	0.6636	Xc=	0.99898	Yc=	0.99905
Şerit= 7	Sigmac=	7.194	Ac=	0.7948	Xc=	1.17958	Yc=	1.17966
Şerit= 8	Sigmac=	7.100	Ac=	0.9259	Xc=	1.36032	Yc=	1.36042
Şerit= 9	Sigmac=	7.003	Ac=	1.0571	Xc=	1.54115	Yc=	1.54125
Şerit=10	Sigmac=	6.905	Ac=	1.1883	Xc=	1.72203	Yc=	1.72215
Şerit=11	Sigmac=	6.803	Ac=	1.3195	Xc=	1.90295	Yc=	1.90309
Şerit=12	Sigmac=	6.699	Ac=	1.4507	Xc=	2.08391	Yc=	2.08406
Şerit=13	Sigmac=	6.591	Ac=	1.5819	Xc=	2.26489	Yc=	2.26505
Şerit=14	Sigmac=	6.481	Ac=	1.7130	Xc=	2.44588	Yc=	2.44606
Şerit=15	Sigmac=	6.366	Ac=	1.8442	Xc=	2.62689	Yc=	2.62708
Şerit=16	Sigmac=	6.248	Ac=	1.9754	Xc=	2.80791	Yc=	2.80811
Şerit=17	Sigmac=	6.126	Ac=	2.1066	Xc=	2.98894	Yc=	2.98915
Şerit=18	Sigmac=	6.000	Ac=	2.2378	Xc=	3.16997	Yc=	3.17020
Şerit=19	Sigmac=	5.868	Ac=	2.3690	Xc=	3.35102	Yc=	3.35126
Şerit=20	Sigmac=	5.732	Ac=	2.5002	Xc=	3.53206	Yc=	3.53232
Şerit=21	Sigmac=	5.590	Ac=	2.6313	Xc=	3.71311	Yc=	3.71338
Şerit=22	Sigmac=	5.441	Ac=	2.7625	Xc=	3.89417	Yc=	3.89445
Şerit=23	Sigmac=	5.285	Ac=	2.8937	Xc=	4.07522	Yc=	4.07552
Şerit=24	Sigmac=	5.122	Ac=	3.0249	Xc=	4.25629	Yc=	4.25659
Şerit=25	Sigmac=	4.951	Ac=	3.1561	Xc=	4.43735	Yc=	4.43767
Şerit=26	Sigmac=	4.770	Ac=	3.2873	Xc=	4.61841	Yc=	4.61875
Şerit=27	Sigmac=	4.580	Ac=	3.4185	Xc=	4.79949	Yc=	4.79983
Şerit=28	Sigmac=	4.378	Ac=	3.5496	Xc=	4.98055	Yc=	4.98091
Şerit=29	Sigmac=	4.163	Ac=	3.6808	Xc=	5.16163	Yc=	5.16200
Şerit=30	Sigmac=	3.934	Ac=	3.8120	Xc=	5.34270	Yc=	5.34308
Şerit=31	Sigmac=	3.689	Ac=	3.9432	Xc=	5.52377	Yc=	5.52417
Şerit=32	Sigmac=	3.426	Ac=	4.0744	Xc=	5.70484	Yc=	5.70525

Şerit=33 Sigmac= 3.143 Ac= 4.2056 Xc= 5.88593 Yc= 5.88636
Şerit=34 Sigmac= 2.836 Ac= 4.3368 Xc= 6.06699 Yc= 6.06744
Şerit=35 Sigmac= 2.503 Ac= 4.4676 Xc= 6.24810 Yc= 6.24851
Şerit=36 Sigmac= 2.142 Ac= 4.4558 Xc= 6.42872 Yc= 6.42828
Şerit=37 Sigmac= 1.745 Ac= 4.3246 Xc= 6.60982 Yc= 6.60938
Şerit=38 Sigmac= 1.307 Ac= 4.1934 Xc= 6.79090 Yc= 6.79046
Şerit=39 Sigmac= 0.824 Ac= 4.0622 Xc= 6.97197 Yc= 6.97157
Şerit=40 Sigmac= 0.290 Ac= 3.9310 Xc= 7.15304 Yc= 7.15264

DONATI GERİLMELERİ
S= 1 Sigmas= -50.00 S= 3 Sigmas= 50.00
S= 2 Sigmas= -18.42 S= 4 Sigmas= -18.43

Kesit:
Ac= 156.25 Xg= 6.33 Yg= 6.33

Basınç Bölgesi: a= 14.48725 c= 14.48832
xn1= 2.329999
yn1= 2.330000
Nu= 324.0385
Nd= 324.0385
Mx= 1546.028
My= 1545.981
Dltx= 0.7752265
Dlty= 0.7752836

· **C1-0-SF NUMUNESİ DATA DOSYASI**

C1-0-SF
General Information
0.0055 0.002 6.52 55 21000 0.5026 130 0.75
4 4
10 10
0 0
8
1
Segment Number
50
Polygon coordinates
5
0,0
12.5,0
12.5,12.5

0,12.5
0,0
Reinforcements
4
2,2.25,2.25,10.25,2.25
2,10.25,2.25,10.25,10.25
2,10.25,10.25,2.25,10.25
2,2.25,10.25,2.25,2.25

· **C1-0-SF NUMUNESİ ÇIKTI DOSYASI**

C1-0-SF
GENEL BİLGİLER
Epscu=.00550 fcd= 6.5 fyd= 55.00 Es= 21000.00
Mx= 0.000 My= 0.000
ao= 10.00 co= 10.00
Şerit Sayısı= 50

POLİGON KOORDİNATLARI:
P= 1 X= 0.00 Y= 0.00
P= 2 X= 12.50 Y= 0.00
P= 3 X= 12.50 Y= 12.50
P= 4 X= 0.00 Y= 12.50
P= 5 X= 0.00 Y= 0.00

DONATILAR:
R= 1 X= 2.25 Y= 2.25
R= 2 X= 10.25 Y= 2.25
R= 3 X= 10.25 Y= 10.25
R= 4 X= 2.25 Y= 10.25

Iter:
1 a= 10.42 c= 10.42 Nu= 170.2458
2 a= 10.42 c= 10.42 Nu= 206.1699
Iter:
1 a= 10.42 c= 10.42 Nu= 205.2591

BETON SERIT GERİLMELERİ
Şerit= 1 Sigmac= 4.72 Ac= 0.0217 Xc= 0.069 Yc= 0.069
Şerit= 2 Sigmac= 4.83 Ac= 0.0651 Xc= 0.162 Yc= 0.162
Şerit= 3 Sigmac= 4.95 Ac= 0.1085 Xc= 0.264 Yc= 0.264
Şerit= 4 Sigmac= 5.08 Ac= 0.1519 Xc= 0.367 Yc= 0.367
Şerit= 5 Sigmac= 5.20 Ac= 0.1953 Xc= 0.471 Yc= 0.471

Şerit= 6 Sigmac= 5.33 Ac= 0.2387 Xc= 0.574 Yc= 0.575
Şerit= 7 Sigmac= 5.45 Ac= 0.2821 Xc= 0.678 Yc= 0.678
Şerit= 8 Sigmac= 5.57 Ac= 0.3255 Xc= 0.782 Yc= 0.782
Şerit= 9 Sigmac= 5.69 Ac= 0.3689 Xc= 0.886 Yc= 0.886
Şerit=10 Sigmac= 5.80 Ac= 0.4123 Xc= 0.990 Yc= 0.991
Şerit=11 Sigmac= 5.91 Ac= 0.4557 Xc= 1.094 Yc= 1.095
Şerit=12 Sigmac= 6.02 Ac= 0.4991 Xc= 1.199 Yc= 1.199
Şerit=13 Sigmac= 6.12 Ac= 0.5425 Xc= 1.303 Yc= 1.303
Şerit=14 Sigmac= 6.21 Ac= 0.5859 Xc= 1.407 Yc= 1.407
Şerit=15 Sigmac= 6.29 Ac= 0.6293 Xc= 1.511 Yc= 1.511
Şerit=16 Sigmac= 6.36 Ac= 0.6727 Xc= 1.615 Yc= 1.615
Şerit=17 Sigmac= 6.42 Ac= 0.7161 Xc= 1.719 Yc= 1.719
Şerit=18 Sigmac= 6.47 Ac= 0.7595 Xc= 1.823 Yc= 1.823
Şerit=19 Sigmac= 6.50 Ac= 0.8029 Xc= 1.927 Yc= 1.928
Şerit=20 Sigmac= 6.52 Ac= 0.8463 Xc= 2.032 Yc= 2.032
Şerit=21 Sigmac= 6.52 Ac= 0.8897 Xc= 2.136 Yc= 2.136
Şerit=22 Sigmac= 6.50 Ac= 0.9331 Xc= 2.240 Yc= 2.240
Şerit=23 Sigmac= 6.47 Ac= 0.9765 Xc= 2.344 Yc= 2.344
Şerit=24 Sigmac= 6.42 Ac= 1.0199 Xc= 2.448 Yc= 2.448
Şerit=25 Sigmac= 6.35 Ac= 1.0633 Xc= 2.552 Yc= 2.552
Şerit=26 Sigmac= 6.26 Ac= 1.1067 Xc= 2.656 Yc= 2.657
Şerit=27 Sigmac= 6.15 Ac= 1.1501 Xc= 2.761 Yc= 2.761
Şerit=28 Sigmac= 6.02 Ac= 1.1935 Xc= 2.865 Yc= 2.865
Şerit=29 Sigmac= 5.87 Ac= 1.2369 Xc= 2.969 Yc= 2.969
Şerit=30 Sigmac= 5.70 Ac= 1.2803 Xc= 3.073 Yc= 3.073
Şerit=31 Sigmac= 5.52 Ac= 1.3237 Xc= 3.177 Yc= 3.177
Şerit=32 Sigmac= 5.32 Ac= 1.3671 Xc= 3.281 Yc= 3.282
Şerit=33 Sigmac= 5.10 Ac= 1.4105 Xc= 3.385 Yc= 3.386
Şerit=34 Sigmac= 4.87 Ac= 1.4539 Xc= 3.490 Yc= 3.490
Şerit=35 Sigmac= 4.62 Ac= 1.4973 Xc= 3.594 Yc= 3.594
Şerit=36 Sigmac= 4.36 Ac= 1.5407 Xc= 3.698 Yc= 3.698
Şerit=37 Sigmac= 4.10 Ac= 1.5841 Xc= 3.802 Yc= 3.802
Şerit=38 Sigmac= 3.82 Ac= 1.6275 Xc= 3.906 Yc= 3.907
Şerit=39 Sigmac= 3.53 Ac= 1.6709 Xc= 4.010 Yc= 4.011
Şerit=40 Sigmac= 3.24 Ac= 1.7143 Xc= 4.114 Yc= 4.115
Şerit=41 Sigmac= 2.94 Ac= 1.7577 Xc= 4.219 Yc= 4.219
Şerit=42 Sigmac= 2.64 Ac= 1.8011 Xc= 4.323 Yc= 4.323
Şerit=43 Sigmac= 2.34 Ac= 1.8445 Xc= 4.427 Yc= 4.427
Şerit=44 Sigmac= 2.03 Ac= 1.8879 Xc= 4.531 Yc= 4.532
Şerit=45 Sigmac= 1.72 Ac= 1.9313 Xc= 4.635 Yc= 4.636
Şerit=46 Sigmac= 1.41 Ac= 1.9747 Xc= 4.739 Yc= 4.740
Şerit=47 Sigmac= 1.10 Ac= 2.0181 Xc= 4.844 Yc= 4.844
Şerit=48 Sigmac= 0.78 Ac= 2.0615 Xc= 4.948 Yc= 4.948

Şerit=49 Sigmac= 0.47 Ac= 2.1049 Xc= 5.052 Yc= 5.052
Şerit=50 Sigmac= 0.16 Ac= 2.1483 Xc= 5.156 Yc= 5.157

DONATI GERİLMELERİ
R= 1 Sigmas= -55.00 R= 3 Sigmas= 55.00
R= 2 Sigmas= 23.11 R= 4 Sigmas= 23.10

Kesit:
Ac= 156.25 Xg= 6.25 Yg= 6.25

Basınç Bölgesi: a= 10.41589 c= 10.41689
Nu= 205.2591
Nd= 205.2591
Mx= 959.7962
My= 960.9825
Dltx= 0.9040900
Dlty= 0.9041767

· **C1-II-SF NUMUNESİ DATA DOSYASI**

C1-II-SF
General Information
0.004 0.002 6.759 50 280 21000 23000 0.502 0.8 90 630 130
4.0 4.0
11 11
0 0
15
1
Segment Number
40
Polygon coordinates
11 1
0,0
12.66,0
12.66,12.66
12.58,12.58
12.58,0.08
0.08,0.08
0.08,12.58
12.58,12.58
12.66,12.66
0,12.66
0,0

Poligon
5 3
Reinforcements
4
2,2.25,2.25,10.3,2.25
2,10.3,2.25,10.3,10.3
2,10.3,10.3,2.25,10.3
2,2.25,10.3,2.25,2.25

· **C1-II-SF NUMUNESİ ÇIKTI DOSYASI**

C1-II-SF
GENEL BİLGİLER
Epscu=.00400 fcd= 6.8 fyd= 50.00 fydc= 280.00 Es= 21000.00
Mx= 0.000 My= 0.000
ao= 11.00 co= 11.00
Şerit Sayısı= 40

CFRP KOORDINATLARI:
PR= 1 X= 0.00 Y= 0.00
PR= 2 X= 12.66 Y= 0.00
PR= 3 X= 12.66 Y= 12.66
PR= 4 X= 12.58 Y= 12.58
PR= 5 X= 12.58 Y= 0.08
PR= 6 X= 0.08 Y= 0.08
PR= 7 X= 0.08 Y= 12.58
PR= 8 X= 12.58 Y= 12.58
PR= 9 X= 12.66 Y= 12.66
PR= 10 X= 0.00 Y= 12.66
PR= 11 X= 0.00 Y= 0.00

BETON KESİT KOORDINATLARI:
PR= 1 XP= 12.58 YP= 12.58
PR= 2 XP= 12.58 YP= 0.08
PR= 3 XP= 0.08 YP= 0.08
PR= 4 XP= 0.08 YP= 12.58
PR= 5 XP= 12.58 YP= 12.58

DONATILAR:
R= 1 X= 2.25 Y= 2.25
R= 2 X= 10.30 Y= 2.25
R= 3 X= 10.30 Y= 10.30
R= 4 X= 2.25 Y= 10.30

Iter:
1 a= 11.00 c= 11.00 Nu= 3.0160
2 a= 15.68 c= 15.37 Nu= 3.0217
3 a= 14.59 c= 13.91 Nu= 471.2027
4 a= 14.37 c= 14.26 Nu= 351.9861
5 a= 14.31 c= 14.30 Nu= 353.2234
Iter:
1 a= 14.30 c= 14.30 Nu= 351.1802

BETON SERIT GERİLMELERİ

Şerit= 1	Sigmac=	8.559	Ac=	0.0195	Xc=	0.14584	Yc=	0.14584
Şerit= 2	Sigmac=	8.491	Ac=	0.1345	Xc=	0.28230	Yc=	0.28229
Şerit= 3	Sigmac=	8.403	Ac=	0.2623	Xc=	0.45417	Yc=	0.45415
Şerit= 4	Sigmac=	8.310	Ac=	0.3902	Xc=	0.63055	Yc=	0.63053
Şerit= 5	Sigmac=	8.216	Ac=	0.5180	Xc=	0.80811	Yc=	0.80808
Şerit= 6	Sigmac=	8.119	Ac=	0.6458	Xc=	0.98615	Yc=	0.98611
Şerit= 7	Sigmac=	8.020	Ac=	0.7736	Xc=	1.16443	Yc=	1.16438
Şerit= 8	Sigmac=	7.918	Ac=	0.9015	Xc=	1.34284	Yc=	1.34279
Şerit= 9	Sigmac=	7.814	Ac=	1.0293	Xc=	1.52134	Yc=	1.52128
Şerit=10	Sigmac=	7.707	Ac=	1.1571	Xc=	1.69990	Yc=	1.69983
Şerit=11	Sigmac=	7.598	Ac=	1.2849	Xc=	1.87851	Yc=	1.87843
Şerit=12	Sigmac=	7.485	Ac=	1.4127	Xc=	2.05713	Yc=	2.05705
Şerit=13	Sigmac=	7.369	Ac=	1.5406	Xc=	2.23579	Yc=	2.23569
Şerit=14	Sigmac=	7.249	Ac=	1.6684	Xc=	2.41446	Yc=	2.41435
Şerit=15	Sigmac=	7.126	Ac=	1.7962	Xc=	2.59314	Yc=	2.59303
Şerit=16	Sigmac=	6.998	Ac=	1.9240	Xc=	2.77183	Yc=	2.77172
Şerit=17	Sigmac=	6.866	Ac=	2.0518	Xc=	2.95054	Yc=	2.95041
Şerit=18	Sigmac=	6.728	Ac=	2.1797	Xc=	3.12925	Yc=	3.12911
Şerit=19	Sigmac=	6.586	Ac=	2.3075	Xc=	3.30796	Yc=	3.30782
Şerit=20	Sigmac=	6.438	Ac=	2.4353	Xc=	3.48668	Yc=	3.48654
Şerit=21	Sigmac=	6.283	Ac=	2.5631	Xc=	3.66541	Yc=	3.66525
Şerit=22	Sigmac=	6.121	Ac=	2.6910	Xc=	3.84414	Yc=	3.84397
Şerit=23	Sigmac=	5.952	Ac=	2.8188	Xc=	4.02287	Yc=	4.02269
Şerit=24	Sigmac=	5.774	Ac=	2.9466	Xc=	4.20160	Yc=	4.20143
Şerit=25	Sigmac=	5.587	Ac=	3.0744	Xc=	4.38035	Yc=	4.38015
Şerit=26	Sigmac=	5.389	Ac=	3.2022	Xc=	4.55909	Yc=	4.55888
Şerit=27	Sigmac=	5.180	Ac=	3.3301	Xc=	4.73782	Yc=	4.73762
Şerit=28	Sigmac=	4.958	Ac=	3.4579	Xc=	4.91657	Yc=	4.91635
Şerit=29	Sigmac=	4.721	Ac=	3.5857	Xc=	5.09531	Yc=	5.09509
Şerit=30	Sigmac=	4.468	Ac=	3.7135	Xc=	5.27405	Yc=	5.27383
Şerit=31	Sigmac=	4.197	Ac=	3.8413	Xc=	5.45280	Yc=	5.45257
Şerit=32	Sigmac=	3.905	Ac=	3.9692	Xc=	5.63155	Yc=	5.63131

Şerit=33 Sigmac= 3.590 Ac= 4.0970 Xc= 5.81030 Yc= 5.81004
Şerit=34 Sigmac= 3.247 Ac= 4.2248 Xc= 5.98906 Yc= 5.98879
Şerit=35 Sigmac= 2.873 Ac= 4.3526 Xc= 6.16779 Yc= 6.16753
Şerit=36 Sigmac= 2.465 Ac= 4.4360 Xc= 6.34585 Yc= 6.34591
Şerit=37 Sigmac= 2.014 Ac= 4.3298 Xc= 6.52417 Yc= 6.52446
Şerit=38 Sigmac= 1.514 Ac= 4.2019 Xc= 6.70295 Yc= 6.70319
Şerit=39 Sigmac= 0.959 Ac= 4.0741 Xc= 6.88169 Yc= 6.88192
Şerit=40 Sigmac= 0.338 Ac= 3.9463 Xc= 7.06040 Yc= 7.06065

DONATI GERİLMELERİ
S= 1 Sigmas= -50.00 S= 3 Sigmas= 50.00
S= 2 Sigmas= -18.25 S= 4 Sigmas= -18.24

Kesit:
Ac= 156.25 Xg= 6.33 Yg= 6.33

Basınç Bölgesi: a= 14.30114 c= 14.30051
xn1= 2.329999
yn1= 2.330000
Nu= 351.1802
Nd= 351.1802
Mx= 1697.812
My= 1698.043
Dltx= 0.8496619
Dlty= 0.8496245