T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON ELYAF İLE YAPISAL GÜÇLENDİRME

Karan Veysel ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

EYLÜL 2012

T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Karan Veysel ÇELİK tarafından yapılan " Karbon Elyaf İle Yapısal Güçlendirme '' konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU

Üye : Yrd. Doç Dr. Halim KARAŞİN

Üye : Yrd. Doç Dr. Askeri KARAKUŞ

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 28.09.2012

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

…/…/2012

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŞEKÜRLER

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde, başlangıcından sonuna kadar, gerekli bütün yardımı benden esirgemeyen, karşılaştığım problemlerin çözümü için deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. A. Halim KARAŞİN' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen inşaat mühendisi Ahmet ERALP ve ekibine, Basf-YKS' ye, Deniz CAN' a, Ceylan Hazır Beton Santrali çalışanlarına, dostlarıma ve bütün aileme bana gösterdikleri yaklaşım ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR I

İÇİNDEKİLER II

ÖZET V

ABSTRACT VI

ÇİZELGE LİSTESİ VII

ŞEKİL LİSTESİ VIII

KISALTMA VE SİMGELER XI

1. GİRİŞ 1

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3

2.1. Düşük Dayanımlı Betonlarda Güçlendirme 3

2.2. Lifli Polimerler ile Takviyeli Betonların Mekanik Özellikleri 4

2.3. Güçlendirme Teknikleri ve Lifli Polimerlerle Güçlendirme 5

3. MATERYAL VE METOD 9

3.1. Beton 9

3.1.1. Beton Harcı Karışımı 9

3.1.2. Beton Sınıfları ve Beton Dayanım Tablosu 9

3.2. Epoksi Reçineler 10

3.3. FRP Sistemler 11

3.3.1. FRP Çeşitleri 11

- Aramid 11

- Cam 12

- Karbon 12

3.3.2. Karbon Fiber Tarihi ve İmalatı 12

3.3.2.1. Oksidasyon 12

3.3.2.2. Karbonizasyon 13

3.3.2.3. Yüzey iyileştirmesi 13

3.3.2.4. Kaplama 13

3.3.3. Karbon Fiber Çeşitleri 13

3.3.3.1. Karbon Fiber Şerit 13

3.3.3.2. Karbon Fiber Çubuk 13

3.3.3.3. Karbon Fiber Kumaş 13

3.3.4. Karbon Elyaf Kullanımının Temel Avantajları 14

3.3.5. Karbon elyaf kullanımının temel dezavantajları 14

3.3.6. Karbon Elyafın Uygulanması 14

3.4. DENEYSEL ÇALIŞMA 15

3.4.1. Beton Santralinden Alınan Silindir Numuneler 19

3.4.2. Bir Yapıdan Alınan Karot Numuneler 27

3.4.3. Beton Santralinden Alınan Küp Numuneler 32

4. ARAŞTIRMA BULGULARI 41

4.1. Deney Sonuçları 41

4.1.1. 150*300 mm Ölçülerinde Silindir Numunelerin Deney Sonuçları 41

4.3.2. 65*130 mm Ölçülerindeki Karot Numunelerin Deney Sonuçları 48

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 55

6. KAYNAKLAR 57

ÖZGEÇMİŞ 59

ÖZET

KARBON ELYAF İLE YAPISAL GÜÇLENDİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Karan Veysel ÇELİK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2012

Günümüzde yapılar birçok nedenden dolayı hasar görmektedir. Hasar gören yapılar ve düşük standartlara sahip yapıların onarımı ve güçlendirilmesi tüm dünyada hızla gelişmekte olan konulardan biri haline gelmiştir. Yapılarda kullanılabilen güçlendirme tekniklerinden Karbon Fiber metodunun inşaat alanındaki kullanımı hızla artmaktadır.

Bu çalışma kapsamında güçlendirme malzemesi olan karbon elyafın beton numuneler ve betonarme yapıdan alınan karot numuneler üzerindeki dayanımlılık etkisi laboratuar ortamında mukayese edilmiştir. Ayrıca karbon elyaf, epoksi yapıştırıcısı kullanılarak aynı beton standardına sahip farklı numuneler üzerinde farklı sarım teknikleri uygulanarak deneye tabi tutulmuştur. Bu deneyler neticesinde genel olarak karbon elyaf ile sargılanan numunelerden nispi olarak düşük dayanıma sahip özel bir binadan alınan karot numuneleri, hazır beton santralinden alınan standart silindir numunelere göre daha sünek ve oransal olarak dayanım bakımından daha iyi performans göstermiştir.

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı ayrıntılı şekilde belirtilmiştir.

İkinci bölümde bu konuda daha önce yapılan çalışmalara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde malzeme bilgisi kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır ve beton numuneler üzerinde karbon elyafın etkisini inceleme amacıyla yapılan deneysel çalışma bulunmaktadır.

Dördüncü Bölümde bu deneysel çalışmanın deney sonuçları verilmiştir.

Beşinci Bölümde bu çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesi ve bu konu ile tartışma verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Elyaf, Beton, Mukavemet, Süneklik, Güçlendirme.

ABSTRACT

STRUCTURAL STRENGTHENING WITH CARBON FIBER

MSC THESIS

Karan Veysel ÇELİK

DEPARTMENT OF CIVIL ENGIRNERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2012

Nowadays, structures are damaged due to many reasons. Strengthening of the damaged structures have become one of the issues that are developing rapidly all over the world. The use of Carbon Fiber Reinforcement techniques developed to use in building construction and strengthening reinforced concrete structures.

In this study, the using of the carbon fiber Reinforced Polimers (CRFP) on the strength of concrete specimens and reinforced concrete structures is to compare samples from the core in the laboratory. In addition, carbon fiber with using epoxy adhesive, which is the same concrete standard by applying a different experiment on the samples subjected to different winding techniques. As a result of these experiments, concrete core samples which have low concrete standarts are showed better performance and strengthening than concrete samples which have high concrete standarts. And also the test result of strengthened specimens indicated that, the investigated repair and strengthening technique contributed to the ductility, strength and energy dissipation charecteristics of the specimens.

In the first chapter in detail the purpose and scope of the study indicated.

The second part studies mentioned earlier in this topic.

The third section covers knowledge of materials and experimental study.

Experimental results of this experimental study are given in chapter Four.

The fifth chapter is the discussion on this issue and evaluates the results of this study

Key Words: Carbon Fiber, Concrete, Srength, Ductility

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No:		Sayfa
Çizelge 3.1.	Beton Sınıfları ve Dayanım Tablosu	10
Çizelge 3.2.	Fiber Tiplerinin Elastisite Modülü ve Çekme Dayanımı	12
Çizelge 3.3.	Deneylerde Kullanılan Betonun içindeki Malzemenin Analiz Raporu	16
Çizelge 3.4.	Beton Karışım Raporu ve Katkının Su Kesme Yüzdesi	17
Çizelge 3.5.	Deneylerde Kullanılan Beton Karışımın Elek Analizi	18
Çizelge 4.1.	150*300 Silindir Numunelerin Deney Sonuçları	42
Çizelge 4.2.	Bir Yapıdan Alınan 65*130 Karot Numunelerin Deney Sonuçları	49

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No:		Sayfa
Şekil 1.1.	Güçlendirme Teknikleri	2
Şekil 3.1.	Deneylerde Kullanılan Beton Karışımının Granülometre Eğrisi	13
Şekil 3.2.	Kalıp ve Numune Temini.	19
Şekil 3.3.	Numune Alımı ve Sıkıştırma İşlemi	19
Şekil 3.4.	Taze Beton Numunelerinin Bekletilmesi	20
Şekil 3.5.	Numunelerin Kürlenmesi ve Kurutulması	21
Şekil 3.6.	Elyafın Hazırlanması	21
Şekil 3.7.	Epoksinin Hazırlanması	22
Şekil 3.8.	Karbon Elyafın Numuneye Sarılması	22
Şekil 3.9.	Numunelerin Kurumaları ve İkinci Kat Elyaf Sarımı	23
Şekil 3.10.	Son Kat Epoksinin Sürülmesi	23
Şekil 3.11.	Kükürt-Grafit Başlık Yapımı	24
Şekil 3.12.	Numunelerin Başlıklanması	25
Şekil 3.13.	Numunelerin Deneye Hazırlanması	25
Şekil 3.14.	Numunelerin Deneye Alınması	26
Şekil 3.15.	Numunelerin Deney Sonrası Durumları	26
Şekil 3.16.	Karot Aletinin Kurulumu	27
Şekil 3.17.	Yapıdan Karotların Alınması	27
Şekil 3.18.	Karotların Ölçülendirilmesi	28
Şekil 3.19.	Karot Boylarının Kısaltılması	28
Şekil 3.20.	Karotların Başlıklanması	29
Şekil 3.21.	Karotların Elyaf Sarımına Hazırlanması	29
Şekil 3.22.	İlk Kat Elyaf Sarılması	30

Şekil 3.23. İkinci Kat Elyaf Sarımı 30

Şekil 3.24. Karot Numunelerin Deneye Alınması 31

Şekil 3.25. Eksenel Basınç Altında Yenilen Numuneler 31

Şekil 3.26. Basınç Altında Karbon Elyafın Davranışı 32

Şekil 3.27. Küp Kalıpların Temizlenmesi ve Yağlanması 32

Şekil 3.28. Harcın Küp Kalıplara Koyulması 33

Şekil 3.29. Numunelerin Kalıptan Çıkarılması 33

Şekil 3.30. Küp Numunelerin Kürlenmesi 34

Şekil 3.31. Küp Numunelerden Karot Çıkarılması 34

Şekil 3.32. Elde Edilen Karotlar 35

Şekil 3.33. Karot Numunelerin Ölçülendirilmesi 35

Şekil 3.34. Karot Numunelerin Kesilmesi 36

Şekil 3.35. Karot Numunelerin Başlıklanması 36

Şekil 3.36. Karbon Elyafın Hazırlanması Ve Numunelere Uygulanması 37

Şekil 3.37. Numunelere İkinci Kat Karbon Elyaf Sarılması 37

Şekil 3.38. Karot Numunelerin Deney İçin Hazırlanması 38

Şekil 4.1. 150*300 silindir numunelerin deney sonuç grafikleri 43

Şekil 4.2. Silindir Numunelerin İlk Yüklemedeki Yenilme 44

Yüklerinin ve Dayanımlarının Ortalamaları 42

Şekil 4.3. Sargısız Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışı 45

Şekil 4.4. Tek Kat Sargılı Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışı 46

Şekil 4.5. Çift Kat Sargılı Silindir Numunelerin

Eksenel Yük Altındaki Davranışı 47

Şekil 4.6. Bir Yapıdan Alınan 65*130 Numunelerin Deney Sonuç İlişkileri 50

Şekil 4.7. Karot Numunelerin İlk Yüklemedeki Yenilme Yüklerinin ve Dayanımlarının Ortalamaları 51

Şekil 4.8. Sargısız Karot Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışları 52

Şekil 4.9. Tek Kat Sargılı Karot Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışları 53

Şekil 4.10. Çift Kat Sargılı Karot Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışları 54

KISALTMA ve SİMGELER

G : Ağırlık

L : Boy

H : Yükseklik

P : Kırılma Yükü

σ : Dayanım

Єx : Eksensel Birim Deformasyon

Єd : Çapsal Birim Deformasyon

Dgu : Dikey Gage Uzunluğu

Ygu : Yatay Gage Uzunluğu

V : Yükleme Hızı

μ :Düşük Viskozite

E : Yeterli Rijitlik

LP : Lifli Polimer

CFRP : Carbon Fiber Reinforced Polimer

1.GİRİŞ

Bilindiği gibi depremler meydana getirdiği can ve mal kayıpları yönünden doğal afetler içerisinde en şiddetli olanıdır. Dünyada meydana gelen depremlerde tespit edilen yapı hasarları ve kayıplar, mevcut tasarım standartlarının ve inşaat kalitesinin yetersizliğinden, bilgi eksikliğinden, yapım hatalarından veya yönetmelik kurallarına uyulmayışından kaynaklandığını göstermektedir. Yaşanan depremler yapıların depreme dayanıklı tasarım ilkelerine ilişkin birikimlerini arttırırken, hasara uğrayan yapıların onarım ihtiyaçlarının varlığını göstermiştir. Yeni yapıların deprem koşullarına uygun olarak yapılması ve mevcut yapıların güçlendirilmesi pek çok ülkede hızla büyüyen bir mühendislik alanı haline gelmiştir.

Türkiye dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alır. Ülkemiz yüz ölçümünün % 42' si birinci derece deprem kuşağı üzerinde bulunduğundan Ülkemizdeki yapıların depreme dayanıklı olması gerekmektedir. Erzincan'da 1939 yılında, Çaldıran' da 1976 yılında, Erzurum' da 1983 yılında, Kocaeli ve Düzce'de 1999 yılında, Bingöl' de 2003 yılında ve Van'da 2011 yılında yaşanan depremlerde tespit edilen kayıplar ve yapı hasarları mevcut yapı stokunun deprem güvenliliğinin yetersizliğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle Türkiye'deki mevcut yapı stokunun güvenlik düzeyinin artırılmasını bir gereklilik haline getirmiştir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde temel hedef; olası bir depremde can kaybının en aza indirilmesi ve deprem güvenliği olmayan yapıların çeşitli yöntemler kullanılarak depreme karşı uygun bir şekilde güçlendirilmesidir. Deprem güvenliği zayıf yapılarda sorunun çözümü için iki yola başvurabilir. Ya yapıyı yıkmak ve yapıyı günümüz standartlarına ve yönetmeliklerine uygun şekilde yeniden inşa etmek ya da güçlendirme yoluna gitmektir. Her ikisinde de verilecek karar hasarın büyüklüğüne ve ekonomik faktörlere dayanmaktadır (Akdere 2006).

Hasar görmüş bir yapıyı hasar nedeninin önüne geçmeden önceki güvenlik düzeyine geri getirerek onarmak o yapının benzeri hasarı göstermesi muhtemeldir. Bu nedenle hasar gören yapıyı güçlendirme yöntemlerinden biri ile hasar görmeden önceki güvenlik düzeyinin üzerinde öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkararak yapının veya yapı elemanının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini veya bunlardan bazılarını gereken düzeylere çıkarmak gerekir ki burda inşaat mühendislerine önemli bir görev

düşmektedir. İnşaat mühendisleri hasarına karar verdikleri bir yapının zemin etütlerini, statik değerlendirmesini, betonarme kalitesinin tespitini fizibilite gibi etütler ışığında analiz eder ve yapının hasar nedenlerini tespit eder. Böylece yapının güçlendirilmesine, yıkılmasına veya sağlam olduğuna bir karar verir. Yapının güçlendirilmesi kararı verilmesi durumunda şekil 1.1. de görüldüğü üzere betonarme mantolama ve betonarme perde ilavesi, çelik konstrüksiyon ve CFRP gibi güçlendirme tekniklerinden biri ile yapı güçlendirilir. (A.Dora 2005).



Şekil 1.1: Güçlendirme Teknikleri

Bir yapının güçlendirilmesi için yapının hasar görmesi gerekmez. Yapının kullanım amacının değişmesiyle düşey yönde etkiyen hareketli yüklerde artışın meydana gelmesi, Yönetmelik değişmesiyle yapıdaki eski deprem kuvvetlerinin hesap yönteminin yenisine uymaması, yapı elemanlarının ve malzemelerinin kullanım ömrünü doldurması gibi nedenlerden dolayı da yapı güçlendirme gereksinimi duyabilir (Bayülke, 1998).

Bu çalışma kapsamında, güçlendirme tekniklerinden olan Frp metodunun hasar görmüş ya da görmemiş yapı elemanındaki etkilerini beton numuneler üzerinde deneyerek mukayese edilmiştir. Deneysel çalışmalarda karbon elyafın farklı sarım teknikleri kullanılarak güçlendirdiği beton numunelerin tekrarlı yükler altındaki davranışları incelenmiş ve sarılan elyafın etkileri gözlemlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Karbon elyaf ile yapıların güçlendirilmesinde önceden yapılan çalışmalardan birkaçı aşağıda sunulmuştur.

2.1. Düşük Dayanımlı Betonlarda Güçlendirme

A.İlki ve N.Kumbasar (2002) çalışmalarında; Düşük beton kalitesi ve yetersiz sargı donatısı gibi eksikliklerin giderilmesi amacı ile karbon lif takviyeli polimer (CFRP) malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Eksenel yükler ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında deneye tabi tutulmuş olan numuneler onarılmış, boyuna ve enine doğrultularda CFRP kompozit malzeme kullanılarak güçlendirilmiştir. Onarılmış ve güçlendirilmiş elemanlar tekrar benzer yükleme şartlarında deneye tabi tutulmuş ve incelenen onarım ve güçlendirme tekniğinin elemanın dayanım, süneklik ve enerji yutma özelliklerini olumlu etkilediği belirlenmiştir.

Sınırlı sayıda numune üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda incelenen onarım ve güçlendirme yöntemi numune sayısı arttırılması gerektiği daha fazla numunenin deneye tabi tutulması gerektiği anlaşılmıştır.

Y. Candan (2007) çalışmasında; düşük dayanımlı beton elemanların, lif donatılı öndöküm çimento esaslı kompozit paneller ve cam veya karbon lifli polimer kompozitler ile güçlendirilmiş ve diyagonal çekme etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmasında güçlendirme panellerinin mevcut betona ankarajı ve lifli polimer kompozitler ile güçlendirilen numunelerde kullanılan kompozit türü, katsayısı, uygulama detayları ve şekilleri incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, güçlendirilen düşük dayanımlı beton elemanlarının dayanım ve şekil değiştirme yeteneklerinde belirgin artış gözlenmiş ve ankraj uygulaması, bu artışı olumlu yönde etkilemiştir. Her iki güçlendirme yönteminin karşılaştırılmasına da imkân sağlayan bu çalışmada, lif donatılı öndöküm çimento esaslı

kompozit paneller paneller ile güçlendirilen numunelerde, LP kompozitler ile güçlendirilen numunelere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

2.2. Lifli Polimerler ile Takviyeli Betonların Mekanik Özellikleri

B. Sayın (2003) çalışmasında; binalarda çerçeve arasını dolduran dolgu duvarların deprem etkisi altında yapı davranışına olan etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada dolgu duvarların yapıda bulunduğu konumlar araştırılmış ve oluşturabileceği etkiler vurgulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda betonarme çerçevenin ve dolgu duvarların mevcut durumlarına göre karşılaştırmalar yapılmış ve örnek bir bina üzerinde analizler ve karşılaştırmalar yapılarak öneriler sunulmuştur.

Demirel ve Gönen (2007) çalışmalarında; Farklı fiber boyunun karbon fiber takviyeli betonun basınç dayanımı ve kapilaritesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Fiber boyunun artmasının betonun basınç dayanımını düşürdüğü, kapilaritesini arttırdığı deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Aynı zamanda dozajın arttırılması ile bu olumsuz etkilerin optimum seviyeye getirebileceği gözlenmiştir. Deneysel çalışmalarda fiber boyunun artmasının betonun basınç dayanımını düşürdüğü, kapilaritesini arttırdığı deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Aynı zamanda dozajın arttırılması ile bu olumsuz etkilerin optimum seviyeye getirebileceği gözlenmiştir. Kullanılacak fiber boyunun dozaja bağlı olarak belirlenmesi; kapilaritesi ve dayanımı kullanılabilir sınırlar içerisinde beton üretimi için gerekli olacağı yapılan deneysel çalışma sonucunda belirlenmiştir.

Y. Esen (2003) çalışmasında; Poliakrilonitril liflerinin çimento hamuru bileşiklerinin mekaniksel özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Lifinin çimento hamuruna ilavesi, betonun çekme, eğilme ve çarpma özelliklerinde önemli bir düzelme meydana getirmiştir. Lifler numune içerisinde boşluk gibi davrandıklarından, lif oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. Portland çimentosu hamurunda bu tip lifin varlığının çarpma dayanımını 40-500 kata kadar düzelttiği, ayrıca uzun lif ilavesi ile eğilme dayanımında saf hamura göre aynı şartlarda % 386 civarında bir artma olduğu

gözlenmiştir. Poliakrilonitril lifinin % 4 ilavesiyle eksenel çekme dayanımında ise % 103'lük bir artış olmuştur.

Zeynep (2008) çalışmasında; plastik (epoksi) esaslı tek yönlü sürekli fiber (karbon) takviyeli kompozit malzemelerden imal edilen yapıştırıcı ile birleştirilmiş iki adet T tipi kompozit bağlantının ve karşılaştırma amacıyla kullanılan tek tip ankastre kompozit bir kirişin titreşim sönüm değerleri (loss factor) deneysel olarak tespit etmiştir.

Sonlu elemanlar metodu ile yapılan teorik çalışmalarda elde edilen sonuçlar, deneysel verilerin doğruluğunu desteklemiştir. Son olarak, çalışma süresi içerisinde yapıştırıcı ile birleştirilmiş T tipi kompozit bağlantıların rezonans ve rezonansa yakın titreşimlerden kaçınmak amacıyla optimum boyutsal tasarımları ilk 10 titreşim modu için Sonlu Elemanlar Metodu, Yapay Sinir Ağları Metodu ve Genetik Algoritma Optimizasyon yöntemleriyle başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.3. Güçlendirme Teknikleri ve Lifli Polimerlerle Güçlendirme

Akdere (2006) çalışmasında; çift eğrilikli betonarme kolonların karbon hasırla mantolama yolu ile güçlendirilmesi ve onarılması yapılmıştır. Mantolama yolu ile betonarme yapıların güçlendirilmesinde ve onarılmasında ileri teknoloji ürünü kompozit malzemelerin bir türü olan Fiber Reinforced Plastic kullanılmıştır. Laboratuar ortamında üç adet deney elemanı üzerinde birisi referans elemanı olmak üzere beş farklı deney yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan sonucunda deney elemanlarının, maksimum yük kapasitesi, enerji tüketimi, rijitlik değişimi ve süneklikleri incelenerek davranış ve dayanımı araştırılmıştır.

Bedirhanoğlu ve İlki (2009) çalışmalarında; düşük dayanımlı betonarme elemanların deprem yükleri altında davranışlarını iyileştirmek amacı ile kullanılabilecek malzemenin geliştirilmesini hedeflenmiş ve farklı özelliklerde Yüksek performanslı lif

donatılı çimento esaslı kompozit (HPFRCC) ile numunelerin mekanik davranışı araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda çelik liflerin numunelerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği özellikle süneklik, tokluk ve çekme dayanımlarını arttırdığı gözlenmiştir. Sıcak kürün çekme dayanımını önemli derecede arttırdığı görülmüştür. Karışımdaki çelik lif oranının % 4'e kadar arttırılması % 1 çelik lifli karışıma göre süneklikte ortalama % 0.2, çekme dayanımında ise ortalama % 67 artış sağlamıştır. Çelik liflerin hafif şekilde korozyona uğramasının HPFRCC'nin mekanik özeliklerini pratik düzeyde etkilemediği görülmüştür. Basınç dayanımının ve elastisite modülünün çelik lif içeriğinden pratik anlamda etkilenmediği görülmüştür. Çekme dayanımı ve karışımın işlenebilirliği göz önüne alınarak HPFRC plakların üretimi için % 4 çelik lif oranına sahip karışımın kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çetinkaya ve ark. (2003) çalışmalarında; Laboratuarda 4 adet betonarme kirişin FRP malzemelerle onarım ve güçlendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneyler neticesinde FRP malzemelerle güçlendirdikleri kirişlerin taşıma güçlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Karaşin ve ark. ları (2009) çalışmalarında, CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kesitlerin tekrarlı yükler altındaki davranışı incelenmiş vebetonarme bir binadan karot numuneler laboratuar ortamında eksenel yük altında kırılmıştır. Daha sonra bu numuneler CFRP ile sarılarak tekrar basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Çalışmada, bir binadan alınan dört adet karot numune eksenel basınç altında kırıldıktan sonra bu numunelerden üç tanesi epoksi reçinesi ile onarılıp CFRP kumaş ile sarılmış ve tekrar basınç deneyine tabi tutulmuştur. CFRP ile güçlendirme sisteminin eksenel yük taşıma gücü kapasitesini oldukça olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

O. Büyüköztürk ve diğerleri (1999) çalışmalarında; onarım ve rehabilitasyon endüstrisinde, beton yapılara vurgulama yaparak, FRP lamine malzemeler kullanımıyla ilgili güncel uygulama konuları işlenmiştir. İlk olarak FRP sistemlerinin bugünkü

durumu gözden geçirilmekte, malzemeler, prosesler, dıştan FRP ile donatılmış sistemlerin mekanik davranışları incelenmiştir. Daha sonra, eğilme ve kiriş-kolon elemanları ile ilgili uygulamalar gözden geçirilmiştir. Son olarak da, onarım ve kuvvetlendirme endüstrisinin karşılaştığı sorunlara dikkat çekilmektedir. Onarım ve kuvvetlendirme endüstrisinin karşılaştığı sorunlara dikkat çekilmiştir.

Özcan (2005) çalışmasında; Eğilme etkileri altındaki dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin eğilme davranışının iyileştirilmesine yönelik yapılan uygulamalar ve deneysel çalışmalar sunulmuştur. Deneyler Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

Sunulan bu deneysel çalışmada, hasarsız betonarme kirişlerin güçlendirilmesi için iki farklı FRP miktarı uygulanmıştır. Kontrol kirişleri ve güçlendirilmiş kirişlerde, kırılma mekanizmaları, kırılma yükü, yer değiştirme ve şekil değiştirmeler belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Beton

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen yapay taş oluşumuna denmektedir. Başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşıp, istenilen kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir. İlk bulunuş tarihi kesin bilinmemektedir. Tarihi yaklaşık 1850 yıllarına kadar gitmektedir. İlk betonarme yapının 1852 yılında yapıldığı bilinmektedir. Türkiye'de ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. 1903 yılında hazır beton sektörünün Almanya'da başladığı ve 1993 yılında mikro fiberlerin Amerika'da kullanıldığı bilinmektedir.

3.1.1. Beton Harcı Karışımı

Çimento + su + ince taneli agrega karışımı harçtır ve yük taşıma kapasitesine sahip değildir. Genelde sıva işlerinde ve duvar örmede kullanılır.

Çimento + su + ince taneli agrega + iri taneli agrega karışımı betondur ve bu karışımın sertleşmemiş şekil verilebilen haline taze beton, katı hale geçip dayanım almış haline sertleşmiş beton denir. Burada iri taneli agregalar yükü birbirlerine aktararak taşıyıcı bir iskelet oluştururlar.

Beton bileşenlerinde çimento (bağlayıcı), iri agrega (yük taşıyıcı), ince agrega (boşlukları doldurur), su (hidratasyon-işlenebilirlik), katkı maddesi (betonun özelliklerini geliştirir.)

3.1.2. Beton Sınıfları ve Beton Dayanım Tablosu

1991 yılından önce B160, B225 şeklinde anılan beton sınıfları TS 11222 beton - hazır beton standardıyla birlikte BS14, BS18 olarak adlandırıldı. Daha sonra TS 500-2000' de serileri devreye girerek BS14 devre standart dışı bırakılarak C16, C18 şeklinde beton sınıfları belirlendi. En son TS EN 206-1'in 18 Aralık 2004 tarihinde yürürlüğe girmesiyle beton sınıfları çizelge 3.1' den de görüldüğü gibi C16/20, C20/25 v.b. şeklinde gösterilmeye başlandı.

Eksenel basınç yükü altındaki betonun gösterebileceği direnme kalbiliyetine basınç dayanımı denir. Beton karışımı içerisindeki su-çimento oranı, karıştırılan suyun kalitesi, çimento özellikleri, agrega özellikleri, karışım sonrası taze betona uygulanan karılma, taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri, kür koşulları ve beonun yaşı beton basınç dayanımını etkileyen faktörlerdir.

Çizelge 3.1: Beton Sınıfları ve Dayanım Tablosu

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük Karakteristik Silindir dayanımı fck,sil. N / mm²	En düşük karakteristik Küp dayanımı fck,küp N / mm²
C 8 / 10	8	10
C 12 / 15	12	15
C 16 / 20	16	20
C 20 / 25	20	25
C 25 / 30	25	30
C 30 / 37	30	37
C 35 / 45	35	45
C 40 / 50	40	50
C 45 / 55	45	55
C 50 / 60	50	60
C 55 / 67	55	67
C 60 / 75	60	75
C 70 / 85	70	85
C 80 / 95	80	95
C 90 / 105	90	105
C 100 / 115	100	115

3.2. Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler, polimer kimyasından çok daha öncesinden yer alan ve farklı uygulama alanlarında kullanılan ürünlerdir. Epoksi reçineleri tek başlarına kullanılmazlar. Sertleştirici adı verilen kimyasal bir madde ile karıştırılmalıdır. Reçine ve sertleştiricinin kimyasal reaksiyonu sonucunda sert ve geri dönüşü olmayan bir malzeme meydana gelmektedir. Reçinenin akışkanlığı ve reaksiyon hızı ortam ısısına bağlıdır. Karıştırma sırasında reçinenin sıcaklığı 10- 35 °C arasında bulunmalıdır. Uygulama yapılacak yüzeyde birikmiş su olmamalı, rutubet oranı % 6' dan yüksek ise rutubete karşı önlem alınmalıdır. Reçineler mümkün olduğu kadar aynı kaplarda karıştırılmalı, karıştırmak için düşük devirli matkap kullanılmalıdır. Kullanılacak yapıştırıcının sahip olması gereken özellikler;

1. Düşük viskozite (μ < 3000 MPa.s)
2. Yeterli rijitlik (E= 5-10 GPa)
3. Yüksek eğilme dayanımı (> 50 MPa, TSEN 196)

3.3. FRP Sistemler

İngilizcede Fiber Reinforced Polymers (FRP) kelimelerinin kısaltılması ile bilinip dilimize Lifli Polimer (LP) olarak geçen ve son yıllarda maliyetlerinin düşmesi sonucu yurtiçi ve yurtdışında kullanımı giderek artan bir güçlendirme malzemesidir. FRP kompozit güçlendirme uygulamalarının kapsamı oldukça geniştir. Betonarme, beton, tuğla, taş, ahşap, çelik, bacalar bütün yapı elemanlarına dıştan rahatlıkla uygulanan yapısal güçlendirme malzemesidir. FRP Sistemleri Karbon, aramid, kevlar, cam ve bazalt gibi yüksek fiziksel özellikleri olan malzemelerden üretilen kompozit sistemlerdir. Çeşitli epoksilerle hafif fakat çok yüksek mekanik dayanımlara ve anti korozif özelliklere sahiptirler. FRP kompozit malzemeler tek ve çift yönlü kumaşlar (fabrik) ve şeritler (plaka), ankrajlar ve çubuklar olarak üretilebilmektedir (İTO 2006).

FRP kompozitler, inşaat sektöründe tasarım kolaylığı, farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkanı, uygulama ve kullanma kolaylığı gibi olanaklar sağlamaktadır. Uygulandıkları yapıda ve yapı elemanında ise yük taşıma kapasitesini artırma, eğilme dayanımını artırma, durabliteyi geliştirme, dinamik yüklerden gelen yorulma direncini güçlendirme gibi olanaklar sağlamaktadır. Hafif ve esnek bir malzeme olmasından dolayı yapıda ölü yük oluşumuna neden olmaz.

1990'ların başından itibaren ABD, Kanada ve Sudi Arabistan'ı kapsayan birçok ülkeden araştırmacı bu alandaki çabalarını bir araya getirdiler ve kompozitlerle yeniden donatımın değişik analiz, tasarı, uygulama ve dayanıklılık özelliklerini incelediler. Deneysel sonuçlar sonucunda elde edilen cesaret verici sonuçlar saha uygulamalarına yol açtı. 1990'ların başından bu yana bütün dünyada 1500 ün üzerinde yapı FRP kompozitler kullanılarak güçlendirilmiştir. İlk saha uygulamalarından birisi, 1991 yılında İsviçre Lucerne'de, kutu kesitli bir beton köprü olan Ibach köprüsü üzerinde yapılmıştır. (O. Büyüköztürk ve diğerleri 1999)

3.3.1. FRP Çeşitleri

Fiber lifleri aramid esaslı cam esaslı ve karbon esaslı olabilmektedir. Yük taşıma özelliğine sahip fiber liflerinin çekme dayanımları ve elastisite modülü çizelge 1.1 de verilmektedir.

Aramid: Aramid kurşun geçirmez yeleklerin imalatında kullanılan çok sert bir malzemedir. Çok sert bir malzeme olması ve enerji yutma özelliği nedeniyle darbe ve

patlama etkilerine karşı güçlendirme uygulamalarında aramid esaslı lif seçilir. Çekme dayanımı 2900 N/mm^2 'dir.

Cam: Yüksek alkali dayanımlı cam esaslı lif karbon esaslı life oranla daha düşük elastisite modülüne sahiptir. Sünme ve yorulma dayanımları da nispeten daha düşüktür. Her türlü asit, tuz ve alkali ortamlara karşı yüksek direnç gösterir. Çekme dayanımı 2000N/mm^2' dir.

Karbon: Karbon esaslı lif yüksek elastisite modülü olup sürekli yük etkileri altında yüksek sünme dayanımı gösterirler. Çevrimsel yük etkisi altında yüksek yorulma dayanımına sahiptir. Donatı çeliği gibi korozyona uğramaz, donma-çözülme etkilerine ve agresif kimyasal ortamlara karşı yüksek dayanıma sahiptir. Çekme Dayanımı 4000 N/mm^2' dir (Taşdemir ve Özkul 177).

Çizelge 3.2: Fiber Tiplerinin Elastisite Modülü ve Çekme Dayanımı

FİBER TİPİ	ELASTİSİTE MODÜLÜ	ÇEKME DAYANIMI
	(KN/mm^2)	(N/mm^2)
Karbon	230-640	4000
Aramid	120-130	2900
Cam	70-90	2000
Çelik (St37)	210	370

3.3.2. Karbon Fiber Tarihi ve İmalatı

Karbon fiber tarihi 1800'lü yılların sonlarına kadar uzanır. Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Karbon elyaf çoğunlukla Zift ve Pan denen iki malzemeden elde edilir; Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanırlar. Pan (Poli, Akrilo, Nitril) tabanlı karbon elyaflar kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmalarından dolayı sürekli geliştirilmektedir. PAN'ın karbon fibere dönüşmesi için dört işlem gerekmektedir;

3.3.2.1. Oksidasyon: Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300 derecede ısıtılır. Bu işlem, elyaftan H'nin ayrılmasını daha uçucu olan O' nin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek graphite teknelerine konur. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyah döner.

3.3.2.2. Karbonizasyon: Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafının sınıfını belirler.

3.3.2.3. Yüzey iyileştirmesi: Karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılır.

3.3.2.4. Kaplama: Elyafı sonraki işlemlerden korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür. Karbon elyafın diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modülüs özelliğidir. Karbon elyafı bilinen tüm malzemelere eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en rijit malzemedir. Genelde plastik malzemelerle karıştırılarak kullanılır. Karbon fiberlerin geri dönüşümü ile ilgili olarak da son zamanlarda önemli gelişmeler kaydedildi (İTO 2006).

3.3.3. Karbon Fiber Çeşitleri

3.3.3.1. Karbon Fiber Şerit: Sehim yapan döşemelerde ve kirişlerde donatı eksikliği olan kolonlarda ve yük artışı olan köprülerde kullanılabilir.

3.3.3.2. Karbon Fiber Çubuk: Taşıma kapasitesi arttırılmak istenen döşeme, kiriş ve köprülerde,kolon güçlendirilmesinde, deprem güçlendirmesinde, sehim yapan döşemelerde,kiriş ve balkonlarda , yük artışı olan köprülerde kullanılabilir.

3.3.3.3. Karbon Fiber Kumaş: Gömlek kumaşı kadar ince bu malzeme dünyada bilinen en sağlam malzemelerden biridir kumaş inceliğinde olan karbon elyaf çelikten 14 kat daha gerilmeye mukavim olmasına rağmen ağırlığı çeliğin beşte biri civarındadır. Makasla kesilip duvarlara uygulandıktan sonra bir çelik levha gibi katılaşmaktadır. Karbon lifli polimerlerle güçlendirilen tuğla duvarlar,deprem sırasında yapının ileri geri oynamasını azaltıp rijitliğinin artırılmasını sağlıyor ve böylelikle binanın depremde zarar görme riskini en aza indiriyor.

Karbon elyaf tüm yapı elemanlarına dıştan rahatlıkla uygulanan yapısal güçlendirme malzemesidir ve güçlendirilen duvarların dışarıdan sıva ile veya alçıpan ile kapatılarak normal bir duvar görüntüsüne kavuşturulması da mümkündür. Kolonlarda, Kirişlerde,

Bacalarda, Silolarda, Borularda, Tünellerde ve Duvarlarda güçlendirme amaçlı kullanılabilir (Basf-YKS).

3.3.4. Karbon Elyaf Kullanımının Temel Avantajları

Yüksek çekme dayanımı ve elastisite modülüne sahip olması, Çelik veya betonarme mantolama gibi geleneksel güçlendirme tekniklerine nazaran çok daha hızlı ve kolay uygulanması, çok hafif olmaları nedeniyle yapıda ilave yük artışına neden olmamaları ve çelikten 14 misli olmanın verdiği yüksek mukavemet bu tekniğin en belirgin avantajlarındandır.

3.3.5. Karbon elyaf kullanımının temel dezavantajları

Maliyeti yüksek pahalı bir malzeme oluşu, 80 °C' ye kadar dayanabildiğinden Yangına karşı dayanıksız oluşu, Bs 12 sınıfı beton dayanımı altındaki kirişlere ve kolonlara uygulanamayışları ve ayrıca inşaat sektörü yakın zamanda tanıştığından zamana karşı direnç ömrünün bilinmeyişi bu tekniğin en belirgin dezavantajlarındandır.

3.3.6. Karbon Elyafın Uygulanması

Karbon elyaf yapıştırılacak yüeyin hazırlığının doğru yapılması çok önemlidir. Beton yüzeyi; yağ, kir, zayıf kısımlar, sıva ve boyalardan kumlama veya taşlama gibi mekanik yöntemlerden biri kullanılarak temizlenmelidir. Beton yüzeyin minumum çekme dayanımı 1.5 N/mm2 olmalıdır. Yüzey Bozuklukları düzeltilmelidir. Epoksi yapıştırıcısı hazırlanan yüzeye sürülür. Karbon elyaf gerilerek yapıştırılır ve epoksi ile iyice doyurulur. Karbon elyaf üzerine son kat epoksi uygulanır. Koruyucu kaplama yapılacaksa kum serpilir ve daha sonra sıva veya başka bir uygulama ile işlem tamamlanır.

3.4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Üç bölümden oluşan deneysel çalışmanın ilk bölümünde hazır beton santralinden alınan çapı 150 mm, boyu 300 mm ölçülerindeki 10 adet standart silindir numune bulunmaktadır. İkinci bölümünde 5 katlı bir yapıdan alınan çapı 65 mm, boyu 130 mm ölçülerinde 9 adet karot numune bulunmaktadır. Üçüncü bölümünde ise küp numunelerden çıkarılan ve çapı 55 mm, boyu 110 mm ölçülerinde 14 adet karot numune bulunmaktadır. Bu numunelerin bir kısmına herhangi bir sarım işlemi uygulanmadı, bir kısmına ise karbon elyaf sarılarak güçlendirildi. Numuneler tekrarlı yükler altında deneye tabi tutuldu ve eksenel yük altındaki davranışları gözlemlendi.

Deneysel çalışmada silindir kalıplardan ve küp kalıplardan elde edilen numuneler beton santralinden alınan C-25/30 standardında beton ile hazırlandı. Hazır beton santralinden temin edilen C 25/30 beton sınıfı karışımının içindeki 0/7, 7/15 ve 15/25 mm'lik eleklerden geçen agregaların Türk Standartlarına uygun analiz sonuçları, karışıma eklenen katkının analiz sonuçları ve çimentonun analiz sonuçları çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3: Deneylerde Kullanılan Betonun içindeki Malzemenin Analiz Raporu

TS 706 EN 12620 + A1 E GÖRE AGREGA ANALİZ SONUÇLARI			
	MALZEME SINIFI (MM)		
	0/7	7 /15	15 /25
İNCE MALZEME MUHTEVASI (0,063 mm elekten geçen %'de)	2,2	0,3	0,3
METİLEN MAVİSİ DENEYİ	0,25	-	-
TANE YOĞUNLUĞU(ÖZGÜL AĞIRLIK)	2,69	2,73	2,74
SU EMME MİKTARI (%)	1,47	1,25	1,15
GEVŞEK YIĞIN YOGUNLUĞU (Mg/m³)	1,45	1,49	1,54
HACİM KARARLILIĞI-KURUMA BÜZÜLMESİ (%)	0,072	0,072	0,072
ALKALLİ SİLİKA REAKTİFLİĞİ (%)	0,176	-	-
KLORÜRLER (%)	0,0043	0,0046	0,0039
ASİTTE ÇÖZÜLEBİLEN SÜLFAT (%)	0,032	0,032	0,032
TOPLAM KÜKÜRT (%)	0,026	0,026	0,026
YASSILIK İNDEKSİ (%)	-	12,5	17,7
PARÇALANMA DİRENCİ (LOS ANGELES DENEYİ)	-	22,3	22,3
DONMA-ÇÖZÜNME ETKİSİNE KARŞI DİRENCİ	-	10,9	10,9

KARIŞIMDA KULLANILAN KATKININ ANALİZ SONUÇLARI	
HOMOJENLİK	AYRIŞMADI
RENK	KAHVERENGİ
BAGIL YOGUNLUK (g/ml)	1,218
KATI MADDE ORANI (%)	40,00
p H	7,56
SUDA ÇÖZÜNEN KLORÜR (%)	0,0338
ALKALİ MİKTARI	4,089

KARIŞIMDA KULLANILAN ÇİMENTONUN ANALİZ SONUÇLARI	
KİMYASAL ANALİZ	
SO_3	2,72
KIZDIRMA KAYBI	5,93
CL	0,0071
FİZİKSEL ANALİZ	
ÖZGÜL AGIRLIK	3,09
PRİZ SÜRESİ BAŞLANGICI	140,00
PRİZ SÜRESİ BİTİŞ	210,00
KIVAM SUYU TAYİNİ	29,1
HACİM GENLEŞMESİ	1,00

	GÜN	SONUÇLAR
DAYANIM DENEMELERİ	1,00	18,6
	2,00	27,9
	7,00	40,3
	28,00	49,5

Beton karışımındaki agregaların hacimce dağılımı, çizelge 3.5' de elek analizinden görüldüğü üzere; 0-7 mm'lik elekten geçen agrega % 53, 7-15 mm' lik elekten geçen agrega % 20, 15-25 mm' lik elekten geçen agrega % 27 ' lik bir hacim kaplamaktadır. Kullanılan betonun 1 m^3 ağırlığı 2428.94 kg' dır. Beton karışımı içindeki malzemelerin ağırlıkça dağılımı çizelge 3.4' de beton karışım raporundan görüldüğü üzere 1 m^3 beton karışımı içindeki 0-7 mm'lik elekten geçen agreganın ağırlığı 1024,87 kg, 7-15 mm' lik elekten geçen agreganın ağırlığı 388,18 kg, 15-25 mm' lik elekten geçen agreganın ağırlığı 525,99 kg, Su 156,60, Çimento 330 ve kullanılan katkı maddesi 3,30 kg' dır. Çizelge 3.4' de beton karışım raporu ve katkının su kesme yüzdesinden görüleceği üzere karışımda bağlayıcının % 1' i kadar hiperakışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Su kesme özelliğine sahip hiperakışkanlaştırıcı madde su/çimento oranını düşürerek beton standardın artması sağlanmıştır. Çizelge 3.4' den görüleceği üzere katkı maddesinin kullanılması su çimento oranını 0,5'in altına düşürmüş olmasına karşın akıcı bir beton elde edilme olanağı sağlanmıştır.

Çizelge 3.4: Beton Karışım Raporu ve Katkının Su Kesme Yüzdesi

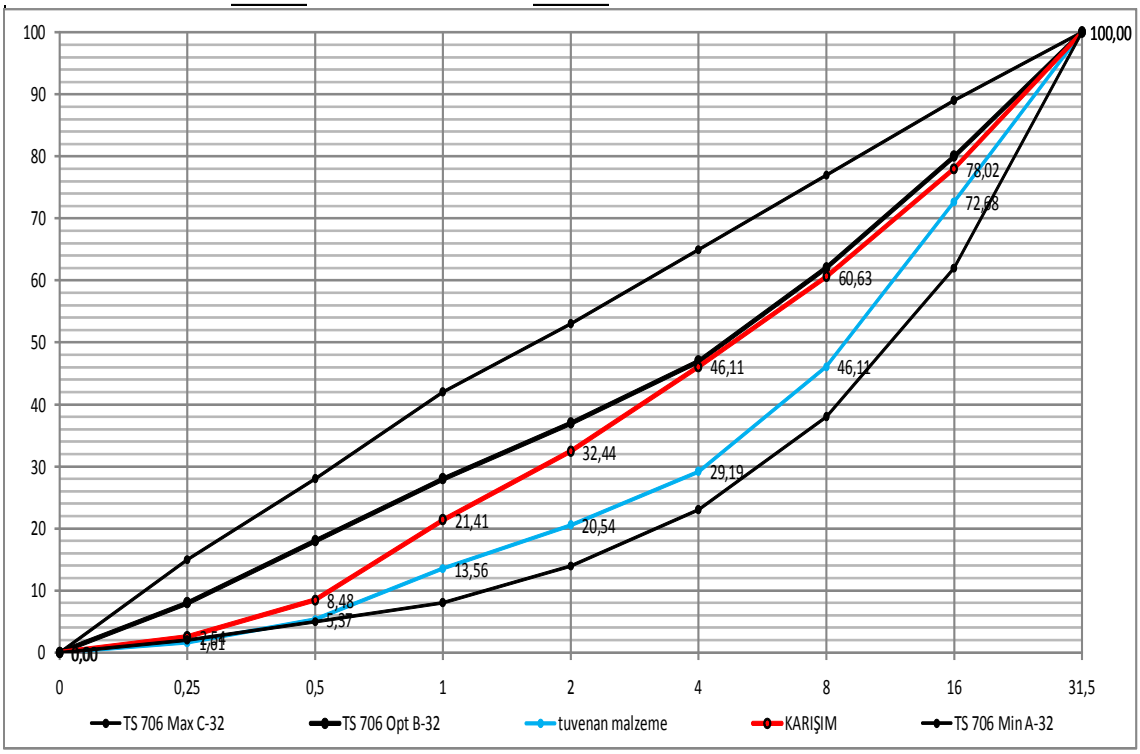
BETON KARIŞIM RAPORU				
SU MİKTARI	180	HACİM (dm3)	ÖZG. AĞ.	AĞIRLIK (kg)
ÇİMENTO MİKTARI	330			
ÇİMENTO		106,80	3,09	330,00
SU		156,60	1	156,60
HAVA		15,00		0,00
KATKI		2,75	1,2	3,30
KUM	0,53	380,99	2,69	1024,87
TAŞ TOZU	0	0,00	0	0,00
1.NO MICIR	0,2	143,77	2,7	388,18
2.NO MICIR	0,27	194,09	2,71	525,99
TOPLAM		1000,00		2428,94
KATKILI BETONLARDA SU KESME DEĞERİ VE BAĞLAYICININ %Sİ KADAR KATKI GİRİLİR				
KATKILI BETONLARDA KATKI SU KESİMİYLE YENİ SU/ÇİMENTO ORANI				0,47

KATKI SU KESME YÜZDESİ		13	KATKI MİKTARI %		1	KATKI CİNSİ
AGREGA NEM DÜZETLMESİ						
		NEM %	NEM FA. %	FARK(kg)	FARK	
KUM	Nem	4,50	3,03	31,99	31,99	BİRİM AĞIRLIK
	Abs.	1,47				
TAŞ TOZU	Nem		0,00	0,00	0,00	
	Abs.					SLUMP
1.NO MICIR	Nem	0,80	-0,45	-1,75	-1,75	
	Abs.	1,25				
2.NO MICIR	Nem	1,00	-0,15	-0,79	-0,79	DURUM
	Abs.	1,15				
TOPLAM HACİM FARKI (dm^3)					29,45	

	REÇETE	FARK(kg)	Y.REÇETE	HACİM	SONUÇLAR
KUM	1025	31,99	1056,86	412,99	2
TAŞ TOZU	0	0,00	0,00	0,00	
1.NO MICIR	388	-1,75	386,43	142,02	0
2.NO MICIR	526	-0,79	525,20	193,30	7
ÇİMENTO	330		330,00	106,80	
SU	156,6	29,4	127,2	127,15	0
KATKI	3,30		3,30	2,75	28
HAVA	15,00			15,00	
TOP:KG.	2429		2429	1000,00	0

Çizelge 3.5: Deneylerde Kullanılan Beton Karışımın Elek Analizi

ELEK ANALİZİ																			
	0 7				7 15				15 25				TÜVENAN						
ELEK MM	ELEKTE KALAN	KALAN %	TOPLAM KALAN	TOPLAM GEÇEN	ELEKTE KALAN	KALAN %	TOPLAM KALAN	TOPLAM GEÇEN	ELEKTE KALAN	KALAN %	TOPLAM KALAN	TOPLAM GEÇEN	TOPLAM GEÇEN	KARIŞIM	MALZ DAĞILIM	TOPLAM MAZL	MALZ % ORANLRI	% DE KALAN	% DE KALAN
31,5		0,00	0,00	100,00		0,00	0,00	100,00		0,00	0,00	100,00	100,00	100,00					
16		0,00	0,00	100,00		0,00	0,00	100,00	814	81,40	81,40	18,60	72,68	78,02	814,00	2970	27,41	27,41	27,32
8		0,00	0,00	100,00	606	61,84	61,84	38,16	186	18,60	100,00	0,00	46,11	60,63	792,00	2970	26,67	54,07	53,89
4	130	13,00	13,00	87,00	374	38,16	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	29,19	46,11	504,00	2970	16,97	71,04	70,81
2	258	25,80	38,80	61,20		0,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	20,54	32,44	258,00	2970	8,69	79,73	79,46
1	208	20,80	59,60	40,40		0,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	13,56	21,41	208,00	2970	7,00	86,73	86,44
0,5	244	24,40	84,00	16,00		0,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	5,37	8,48	244,00	2970	8,22	94,95	94,63
0,25	112	11,20	95,20	4,80		0,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	1,61	2,54	112,00	2970	3,77	98,72	98,39
0,125	38	3,80	99,00	1,00		0,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	0,34	0,53	38,00	2970	1,28	100,00	99,66
PAN	10	1,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00		0,00	100,00	0,00	0,00	0,00					
TOPLAM	1000	İNCELİK	3,77		980				1000			2980	TÜVENAN İNCELİK MODÜLÜ					5,13	5,11
AGREGA DAĞILIM ORANI	0,53				0,2				0,27				100						



Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan Beton Karışımının Granülometre Eğrisi

. Beton karışımı içerisinde kullanılan agreganın sahip olduğu elek analizi ve granülometre eğrisi Türk Standartlarına (TS 706) uygunluğu şekil 4.1' de görülmektedir. Bu granülometre eğrisi incelendiğinde karışımın eğrisi, A eğrisi ile B eğrisi arasında optimum eğrisine çok yakın bir yerde bulunması karışımın standartlara uygun olduğu görülmektedir.

3.4.1. Beton Santralinden Alınan Silindir Numuneler



Şekil 3.2: Kalıp ve Numune Temini

Çapı 150 mm, boyu 300 mm ölçülerinde ve 7.5 kg ağırlığında standartlara uygun 10 adet silindir kalıp şekil 3.2-a' da görüldüğü üzere temin edildi. Kalıplar temizlendi ve numunelerin rahat çıkabilmesi için kalıplara çimento ile etkileşime girmeyecek nitelikte yağ sürüldü. Yarısı boşaltılmış C-25/30 standardında beton yüklü bir transmikserden deneyler için gerekli olacağı tahmin edilen miktarın 2 katı miktarda taze beton numunesi şekil 3.2-b' de görüldüğü gibi alındı.



Şekil 3.3: Numune Alımı ve Sıkıştırma İşlemi

Transmikserden alınan harc kalıplara 3 tabaka halinde koyuldu ve her tabaka şekil 3.3'de görüldüğü gibi düz daire kesitli çelikten yapılmış, çapı 16 mm boyu 600 mm ve ucu yuvarlatılmış sıkıştırma çubuğu ile 25 defa şişlendi. Sıkıstırma çubugu darbelerinin kalıp en kesit alanına esit sekilde dagılmasına önem verildi, ilk tabakanın sıkıstırılmasında, çubugun kalıp tabanına sertçe çarpmamasına, diger tabakaların sıkıstırılması esnasında da bir önceki tabakaya fazla girmemesine dikkat edildi. Sıkıştırma sonrasında, kalıbın dış kenarlarına, sıkıştırma çubuğu darbelerinden geriye kalan boşluklar doluncaya kadar tokmak ile hafifçe vurularak dayanım kaybına neden olabilecek boşlukların dolması sağlandı. Bu işlem hava kabarcıklarının çıkışı duruncaya kadar devam etti.



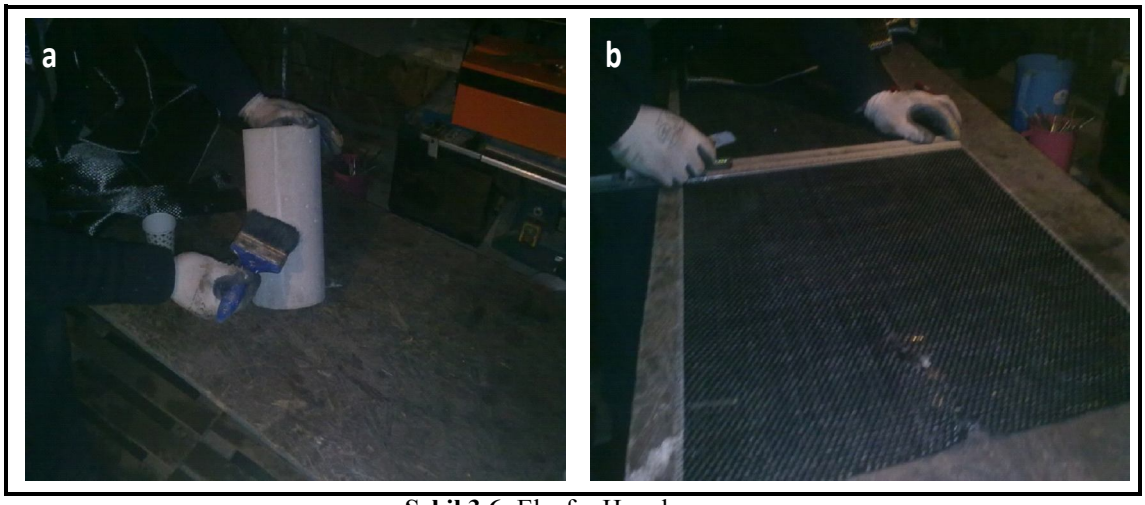
Şekil 3.4: Taze Beton Numunelerinin Bekletilmesi

Kalıpların üst yüzeyinden taşan fazla beton harcı şekil 3.4-a' da görüldüğü gibi çelik bir mala yardımı ile kesme hareketi yaparak alındı ve beton yüzeyi dikkatlice düzeltildi. Hava koşulları uygun olmadığından çalışma kapalı ortamda yapıldı ve numuneler şekil 3.4-b' de görüldüğü gibi harcın sertleşmesi ve kalıptan çıkabilmesi için bir gün bekletildi.



Şekil 3.5: Numunelerin Kürlenmesi ve Kurutulması

Kalıplardan dikkatlice çıkartılan numuneler şekil 3.5-a 'da görüldüğü üzere 22 °C deki bir kür havuzuna bırakıldı. 28 gün kür havuzunda bekleyen numuneler etüv denen fırında maximum kuruluk derecesine ulaşması ve epoksinin sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi için şekil 3.5-b de görüldüğü üzere 105 °C de 24 saat bekletildi.



Şekil 3.6: Elyafın Hazırlanması

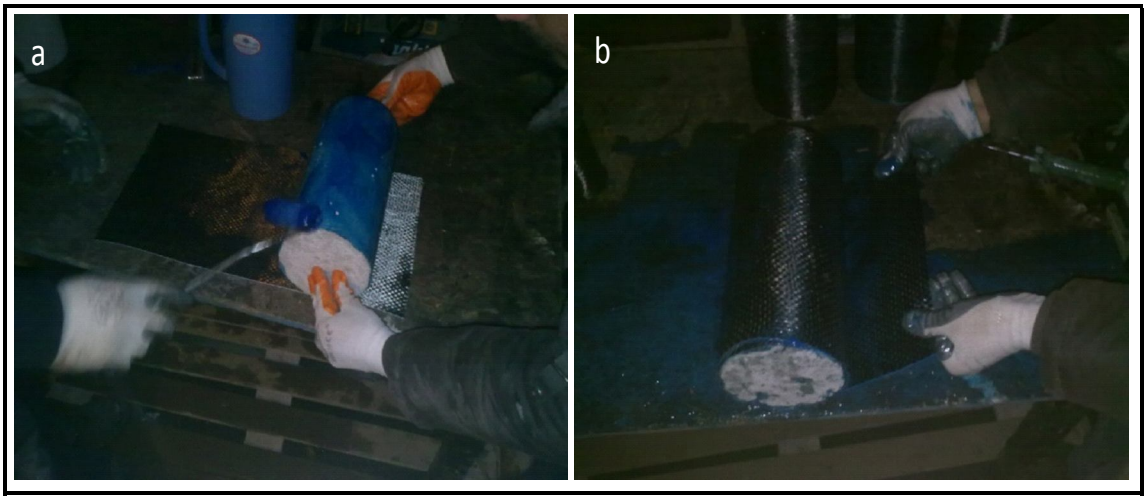
Tamamıyla kuruyan numuneler şekil 3.6-a'da görüldüğü gibi bir fırça yardımı ile toz ve benzeri maddelerden arınması için temizlendi. Sahada bu uygulama kompresör ile hava basılarak da uygulanabilirdi. Burada amaç elyafın uygulanacağı yüzeyin tozdan arınmış, pürüzsüz ve temiz olmasıdır. Gerekli miktarda karbon elyaf şekil 3.6-b' de görüldüğü gibi kesilerek hazırlandı. Numunelerden 4'ü sargısız olacağından SZ-300/X sembolüyle isimlendirildi, 3'ü tek kat sargılı olacağından SL1-300/X sembolüyle isimlendirildi ve kalan son 3'ü çift kat sargılanaacağından SL2-

300/X sembolüyle isimlendirildi. Bu isimlendirme sisteminde X numune sayısını temsil etmektedir.



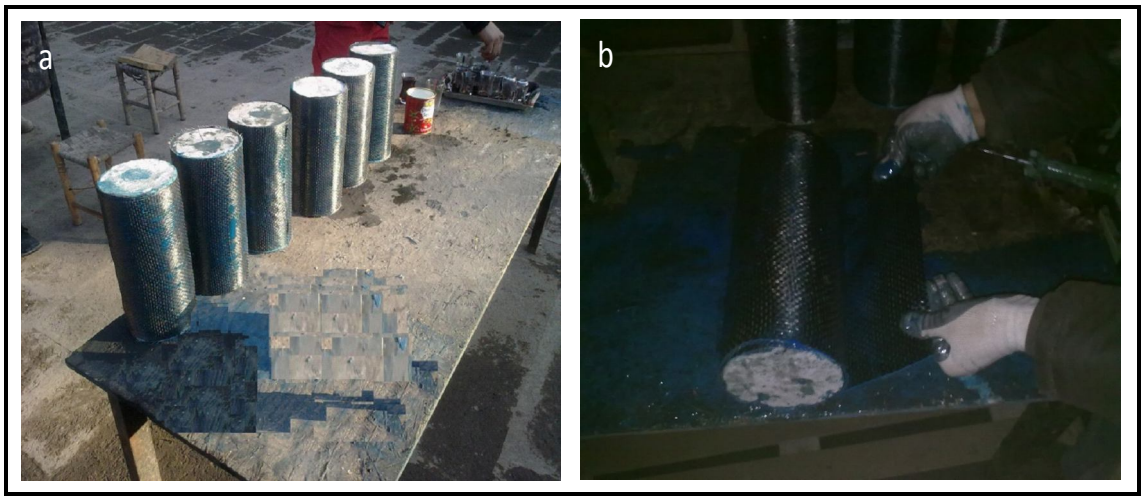
Şekil 3.7: Epoksinin Hazırlanması

Epoksi hazırlığı için Şekil 3.7' de görüldüğü üzere mavi renkli olan epoksi reçinesinin ve saydam renkli olan sertleştirici malzemenin yetecek kadarı gereken oranlarda bir kaba alındı. Karıştırıcı başlıklı bir matkap yardımı ile şekil 3.7-b' de görüldüğü gibi 2 dakika kadar düşük devirde karıştırıldı.



Şekil 3.8. Karbon Elyafın Numuneye Sarılması

Hazırlanan epoksi yapıştırıcısı kısa sürede reaksiyona geçtiğinden zaman kaybetmeden şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir rulo yardımı ile numunelerin yüzeyine sürüldü ve önceden kesimi hazırlanan 6 adet 30*52 cm ölçülerinde karbon elyaf şekil 3.8-b'de görüldüğü gibi karışımın sürüldüğü numunelere sarıldı.



Şekil 3.9: Numunelerin Kurumaları ve İkinci Kat Elyaf Sarımı

Birinci kat karbon elyaf sarım işlemi biten 6 numune kuruması için şekil 3.9-a'da görüldüğü üzere beklemeye alındı. Kuruması tamamlanan 6 karbon elyaf sarılı numuneden herhangi 3'üne şekil 3.9-b' de görüldüğü gibi epoksi karışımı tekrar sürüldü, ikinci kat karbon elyaf sarıldı ve tekrar kuruması için bekletildi. Böylece 150*300 mm ölçülerindeki 10 adet silindir numuneden 4 adet numuneye herhangi bir sarım işlemi uygulanmadı. 3 adet numuneye tek kat karbon elyaf sarıldı ve 3 adet numuneye ise çift kat karbon elyaf sarıldı.



Şekil 3.10: Son Kat Epoksinin Sürülmesi

Karbon elyaf sarım işlemi uygulanan 6 numunenin yanal yüzeylerine son kat epoksi karışımı şekil 3.10' da görüldüğü gibi sürüldü ve yine kurumaları için bekletildi. Bu bekleme süresi ortam ısısına ve hava koşullarına bağlıdır süreyi kısaltmak amacıyla numuneler açık havada bekletildi.



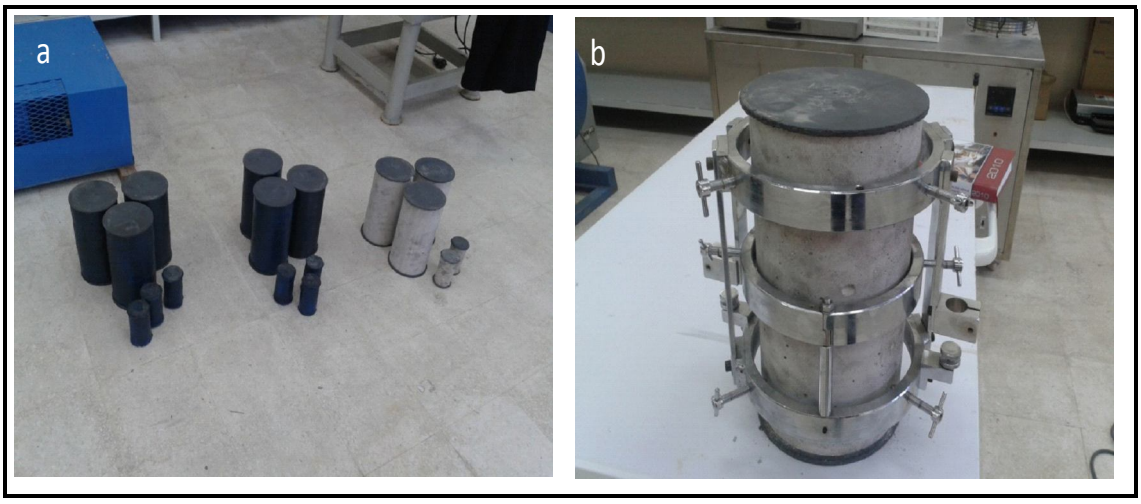
Şekil 3.11: Kükürt-Grafit Başlık Yapımı

Tamamıyla kuruyan 6 numunenin ve herhangi bir sargı işlemi uygulanmayan 4 numunenin alt ve üst yüzeylerinde gözle görünür herhangi bir bozukluk bulunmamasına rağmen deney esnasında eksenel yükün uygulanacağı yüzeyin tam olarak pürüzsüz ve düz olabilmesi için şekil 3.11' de görüldüğü gibi kükürt başlıklama yöntemi ile numuneler başlıklandı. Bu başlıklama sisteminde belli oranlarda kükürt ve grafit tozları şekil 3.11-a' da görüldüğü üzere 150 °C' ye kadar ısıtılarak karışımın sıvı hale geçmesi sağlandı. Derinliği 5 mm çapı 155 mm olan çelik bir kalıbın üzerine bu sıvı döküldü. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri şekil 3.11-b'de görüldüğü gibi çelik kalıba dökülen kükürt grafit sıvısının üstüne düzgünce oturtuldu ve donması sağlandı. 160 °C' deki kükürt sıvısının donarak katı hale geçmesi 3 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleştiğinden sıvı karışım kalıba döküldükten sonra numune zaman kaybetmeden kalıba seri ve dikkatli bir şekilde oturtuldu.



Şekil 3.12. Numunelerin Başlıklanması

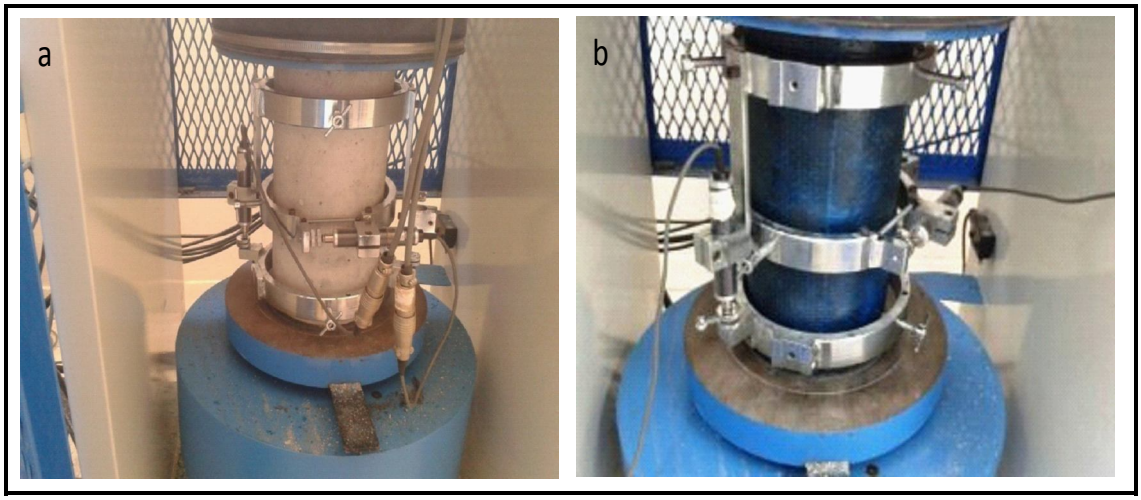
Etrafından taşan sonrada donan kükürt-grafit karışımı şekil 3.12-a' da görüldüğü gibi bir spatula yardımıyla dikkatlice tıraşlanarak temizlendi. Başlıklama işlemi biten 10 numune taşıma sırasında zarar görmemesi için şekil 3.12-b' de görüldüğü gibi oda sıcaklığında bir gün bekletildi.



Şekil 3.13. Numunelerin Deneye Hazırlanması

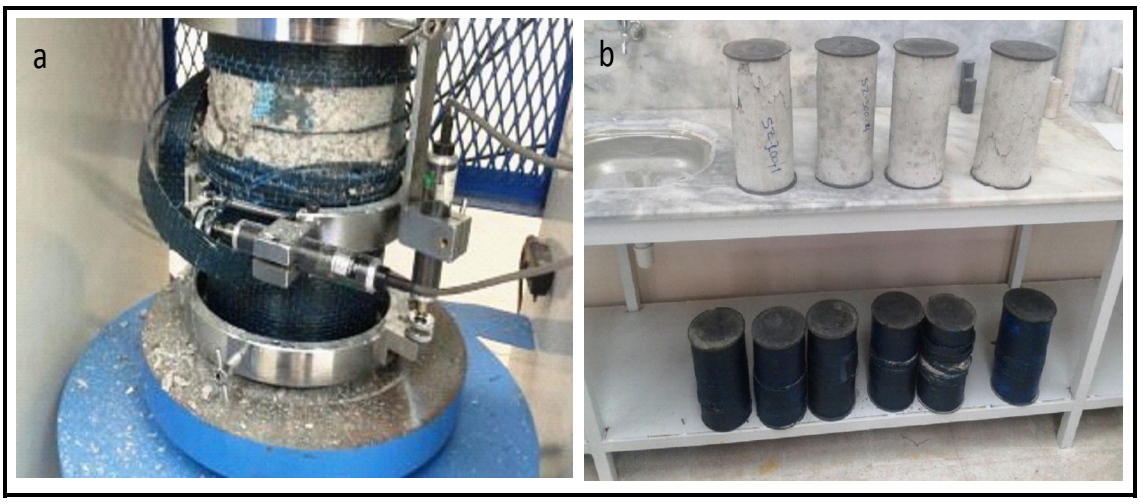
Başlıkları kuruyan numuneler laboratuarda şekil 3.13-a' da görüldüğü biçimde sargısız, tek kat sargılı ve çift kat sargılı olmak üzere gruplara ayrılarak deneye hazır hale getirildi. Bu numunelerden sırasıyla karbon elyaf sargılama işlemi uygulanmayan numuneler ardından tek kat sargılı ve son olarak çift kat sargılı numuneler deneye alındılar. Deney esnasında eksenel yük altında yenilen silindir numunenin boyunda ve çapında meydana gelecek deformasyon değerlerinin elde edilebilmesi için numuneye

Enine ve boyuna olmak üzere 2 adet transducer, numuneye vidalar yardımıyla sabitlenen ve numune ile beraber hareket edecek çelik bir aparata şekil 3.13-b de görüldüğü gibi monte edildi.



Şekil 3.14. Numunelerin Deneye Alınması

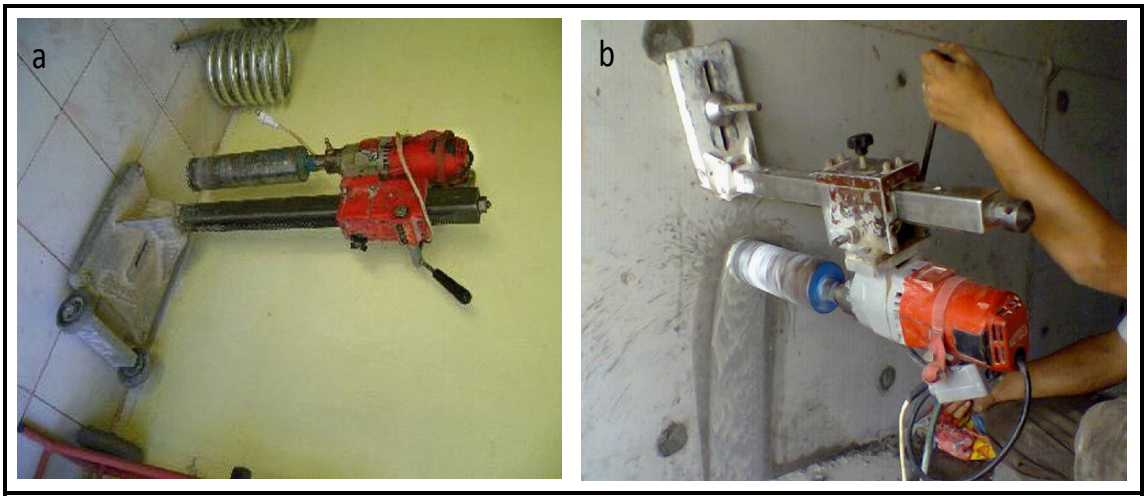
Numuneye monte edilen çelik aparata şekil 3.14' de görüldüğü üzere dikey ve yatay yönde lvdt transducer takıldı. Eksenel yük altında yenilen numune ile beraber hareket eden bu lvdt transducerlardan yatay olan transducer çapsal deformasyon değerlerini, dikey olan transducer ise eksenel deformasyon değerlerini verdi.



Şekil 3.15. Numunelerin Deney Sonrası Durumları

Sargısız olan 4 adet numune, tek kat sargılı olan 3 adet numune ve çift kat sargılı olan 3 adet numune tekrarlı eksenel yük altında şekil 3.15' de görüldüğü gibi sırayla yenildiler.

3.4.2. Bir Yapıdan Alınan Karot Numuneler



Şekil 3.16: Karot Aletinin Kurulumu

Deney çalışmasında numunelerin beton standartlarının aynı olması ve dayanım farkının olmaması için alınacak karotların tümünün aynı yapı elemanından alınmasına dikkat edildi. Karot aletinin diklikten sapmaması için karot aleti yapı elemanına şekil 3.16-b' de görüldüğü biçimde 90° açı ile sabitlendi.



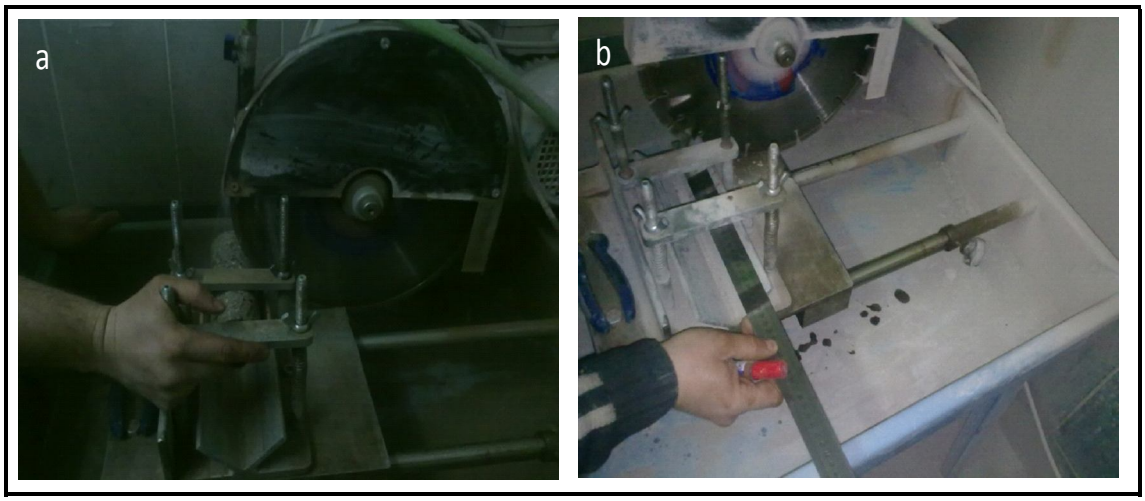
Şekil 3.17. Yapıdan Karotların Alınması

Deney Çalışmasında kullanılacak karot numunelerinin aynı yapı elemanından alınacağından beş katlı bir yapının dördüncü katının perde kolonunun orta bölgesinden şekil 3.17' da görüldüğü üzere 9 adet 65 mm çapında karot çıkarıldı.



Şekil 3.18. Karotların Ölçülendirilmesi

Alınan numuneler laboratuar ortamında şekil 3.18' de görüldüğü üzere kalibrasyonlu kumpas ile 65 mm çapında 130 mm uzunluğunda olacak şekilde ölçülendirildi. Numunelerden 3' üne sargı işlemi uygulanmayacağından SZ-65/X sembolüyle isimlendirildiler, 3'üne tek kat karbon elyaf sarılacağından SL1-65/X sembolüyle isimlendirildiler ve kalan son 3'üne çift kat karbon elyaf sarılacağından SL2-65/X sembolüyle isimlendirildiler. Bu isimlendirme sisteminde X numune sayısını temsil etmektedir.



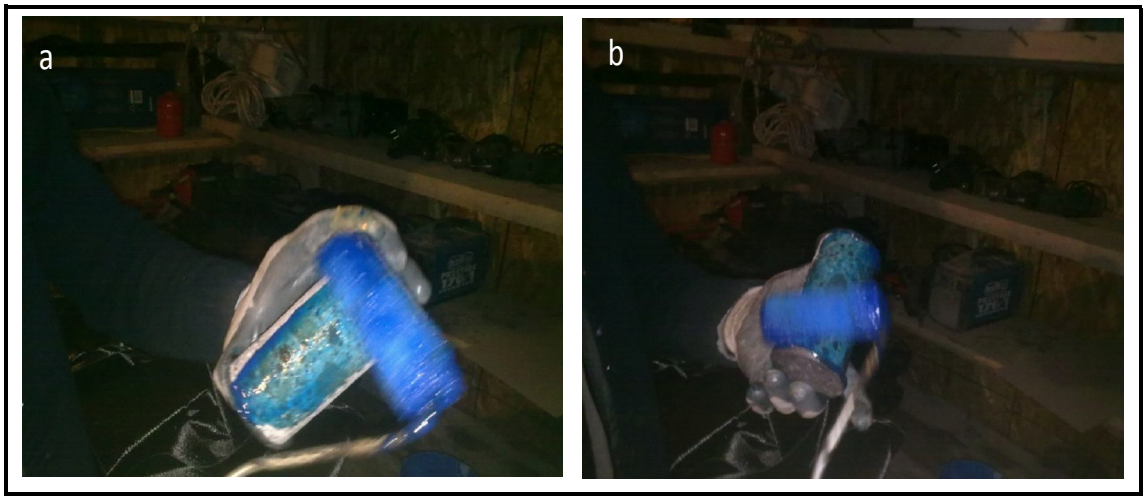
Şekil 3.19. Karot Boylarının Kısaltılması

Karot numunelerinin boyları şekil 3.19' da görüldüğü üzere 130 mm olacak şekilde kısaltıldı. Ve



Şekil 3.20. Karotların Başlıklanması

Silindir eşdeğer dayanımı için boy çap oranı 2 olarak ayarlanan karot numuneleri aynı laboratuarda kükürt başlıklama sistemi ile şekil 3.20' de görüldüğü gibi başlıklandılar.



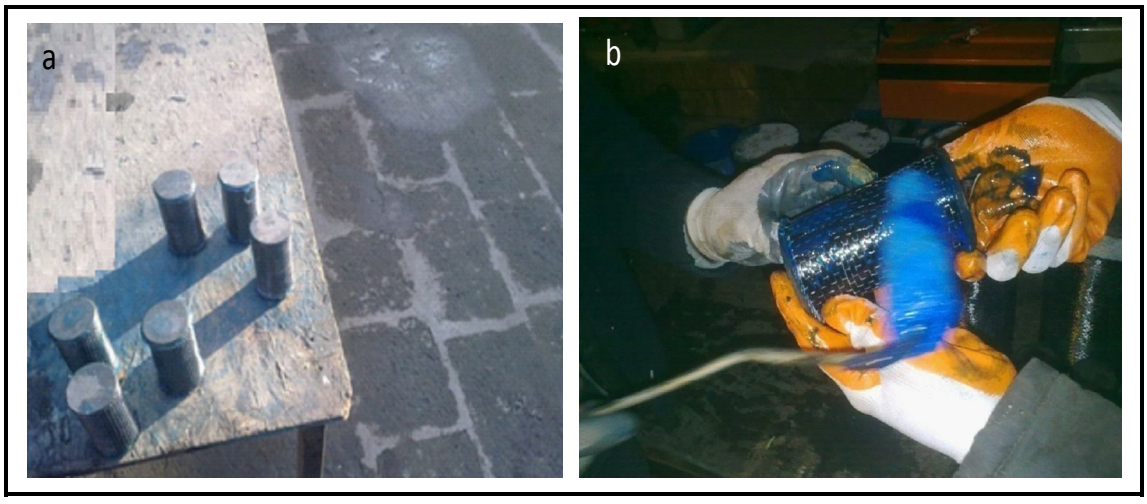
Şekil 3.21. Karotların Elyaf Sarımına Hazırlanması

Kesimleri ve başlıkları hazırlanan dokuz numuneden herhangi 6 adet numuneye yetecek miktarda ve gereken oranlarda bir kaba alınan epoksi ve sertleştirici karışımı düşük devirli matkap ile karıştırılarak hazırlandıktan sonra şekil 3.21' de görüldüğü gibi bir rulo fırça yardımı ile numunelere sürüldü.



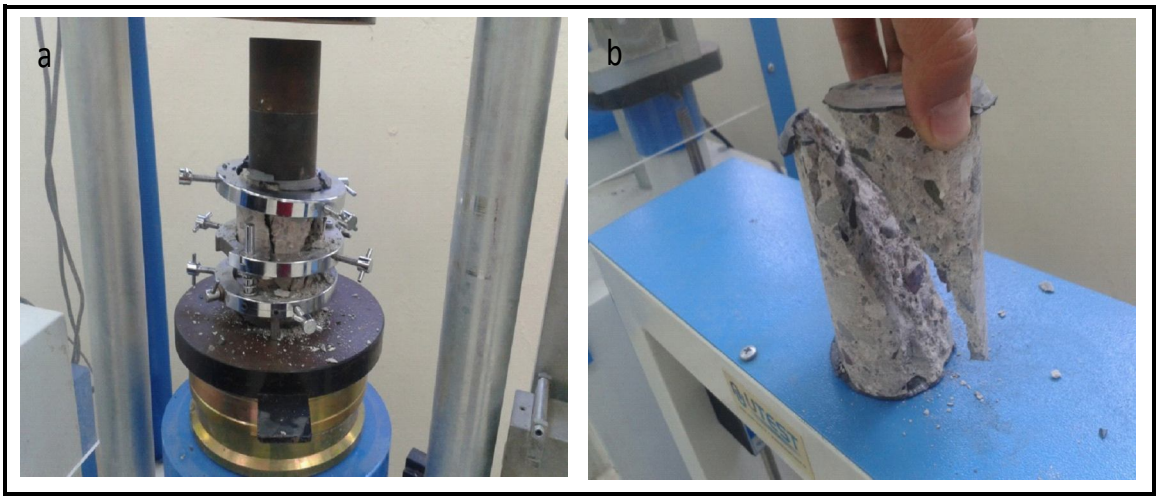
Şekil 3.22. İlk Kat Elyaf Sarılması

Numunelere yetecek sayıda ve gerekli ebatlarda ölçülendirilip kesimi hazırlanan karbon elyaflar, epoksi sürülen 6 numuneye şekil 3.22' de görüldüğü gibi boşluk kalmayacak şekilde sarıldı.



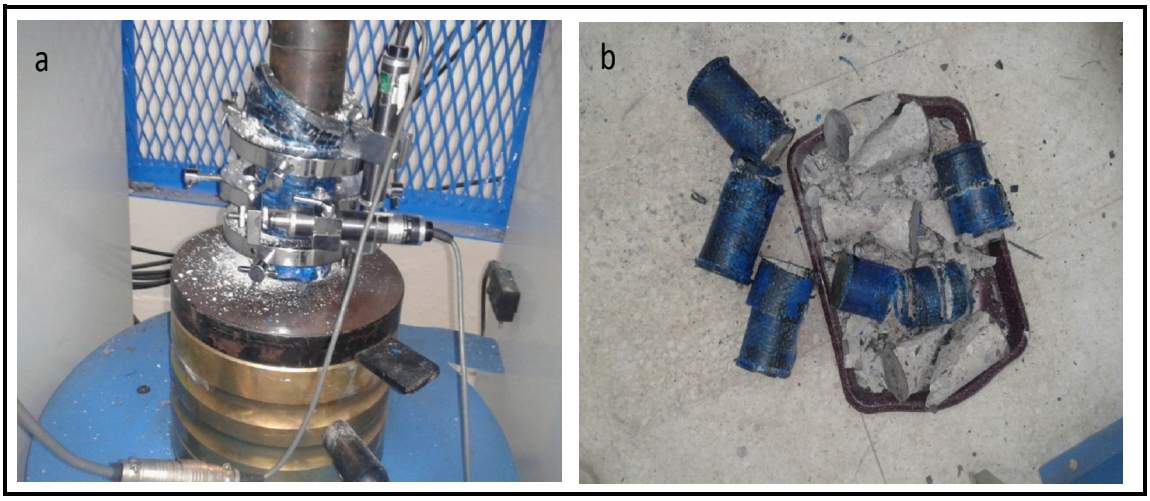
Şekil 3.23. İkinci Kat Elyaf Sarımı

İlk kat karbon elyaf sarım işlemi tamamlanan 6 numuneden kuruması tamamlanan herhangi 3 numuneye şekil 3.23-b' de görüldüğü gibi ikinci kat karbon elyaflar sarıldı ve tekrar kurumaları için bekletildi.



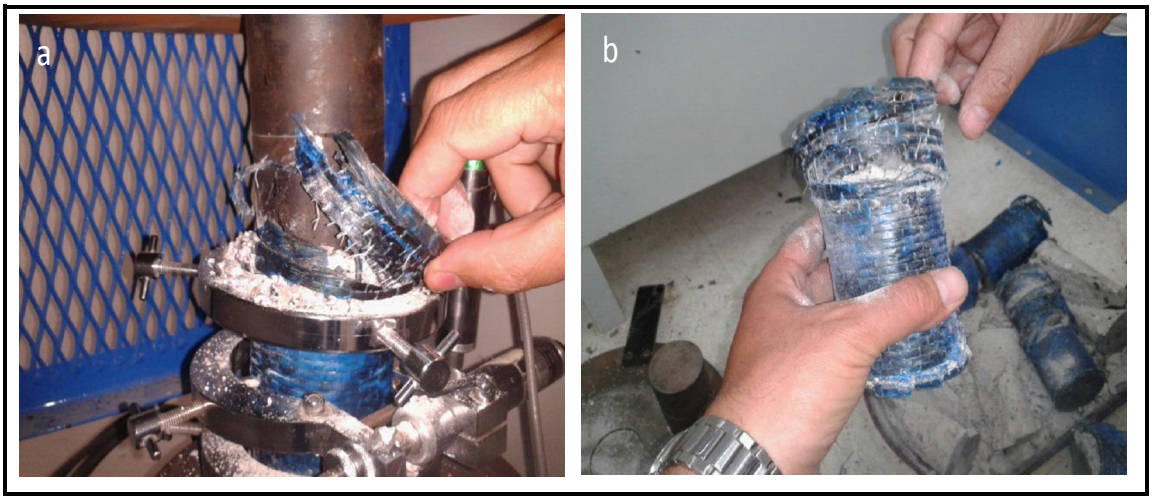
Şekil 3.24. Karot Numunelerin Deneye Alınması

Numunelere eksenel ve çapsal deformasyon değerlerinin Karot Numunelerin Deneye Alınması gözlemlenmesi için şekil 3.24-a' da görüldüğü gibi çelik bir aparat montelendi. Bu aparata çapsal deformasyon değerlerini gözlemlemek için enine ve eksenel deformasyon değerlerini gözlemlemek için de dikine olmak üzere 2 adet lvdt transducer takıldı.



Şekil 3.25. Eksenel Basınç Altında Yenilen Numuneler

Dokuz karot numuneden önce sargısız olan 3 adet karot numune, ardından tek kat karbon elyaf sargılı 3 numune ve son olarak çift kat karbon elyaf sargılı 3 numune Dicle Üniversitesi Laboratuarında şekil 3.25' de görüldüğü gibi eksenel yük altında basınç deneyine tabi tutuldu.



Şekil 3.26. Basınç Altında Karbon Elyafın Davranışı

Eksenel yük altında yenilen numunelere sargılanan karbon elyafın numuneyi bırakış şekli ve yırtılma yönü şekil 3.26' da incelendiğinde, eksenel yük altında çapsal yönde deformasyona uğrayan ve genleşen numune kullanılan tek yönlü karbon elyafı yatay yönde baskı uygulayarak elyafların bağlantı yerlerinin yırtılmasına ve kopmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle üçüncü deneyde küp numunelerden çıkarılan karot numunelere sarılan karbon elyafın ikinci katı ilk katının zıtı yönde sarılması kararı verildi. Küp numunelerden çıkarılan karot numunelerin sayısının fazla olması karbon elyafın farklı sarım teknikleri ile sarılmasına olanak sağlamıştır.

3.4.3. Beton Santralinden Alınan Küp Numuneler



Şekil 3.27. Küp Kalıpların Temizlenmesi ve Yağlanması

150*150 mm ölçülerindeki küp numune kalıpları şekil 3.27-a' da görüldüğü üzere kir toz benzeri maddelerden temizlendikten sonra bir fırça yardımı ile tüm kalıplar harcın kalıba yapışmaması ve numunelerin kalıptan rahat çıkabilmesi için şekil 3.27-b' de görüldüğü gibi yağlandılar.



Şekil 3.28. Harcın Küp Kalıplara Koyulması

C-25/30 hazır beton yüklü beton mikserinin orta kısmından alınan beton harcı her bir kalıba iki aşamada koyuldu ve her aşamasında sıkıştırma çubuğu ile şişlendi. Şişlenerek dolan kalıpların dış kenarları şekil 3.28-a' da görüldüğü gibi tokmak ile hafifçe vurularak dayanım kaybına neden olabilecek boşlukların dolması sağlandı. Kalıpların üst yüzeylerinden taşan harc çelik bir mala yardımı ile temizlendi.



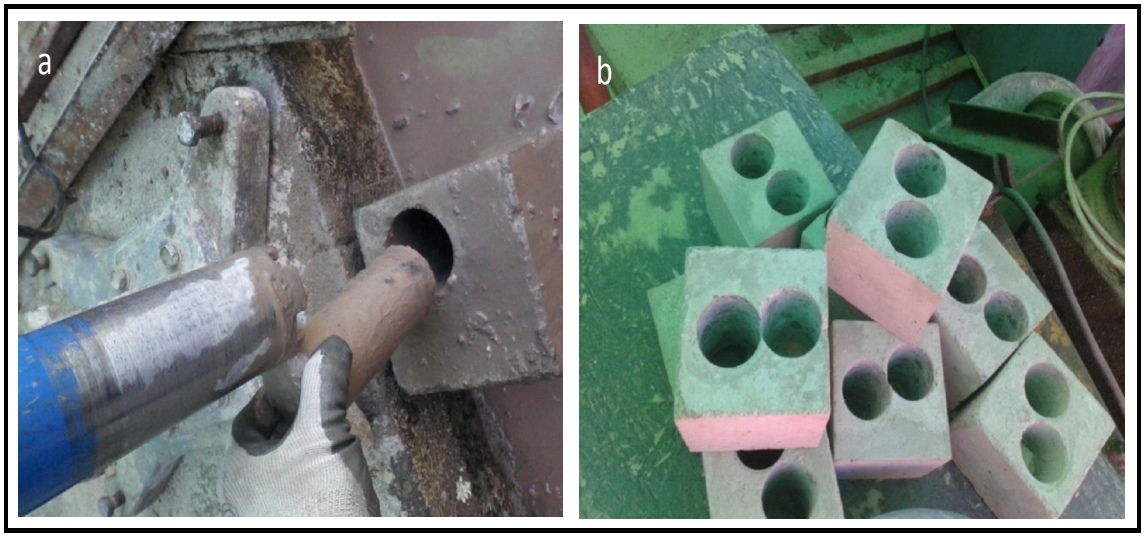
Şekil 3.29. Numunelerin Kalıptan Çıkarılması

Üzerleri naylon ile örtülerek bir gün bekletilen numuneler şekil 3.29' da görüldüğü üzere kompresör yardımı ile kalıplardan çıkartıldı. Kalıpların tekrar kullanılabilmesi için kalıplar tel fırça ile temizlendi.



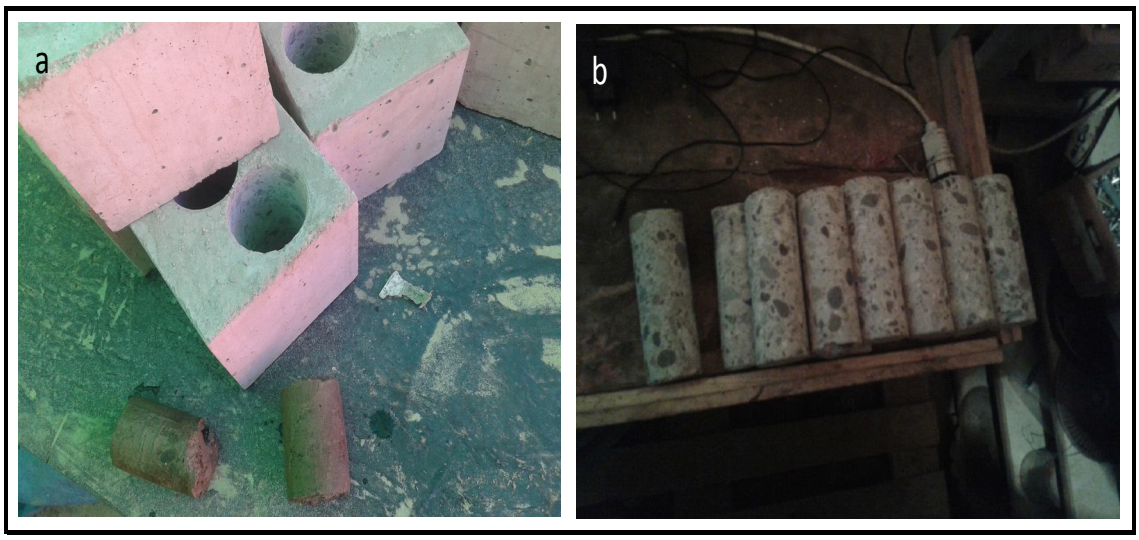
Şekil 3.30. Küp Numunelerin Kürlenmesi

Kalıplardan dikkatlice çıkarılan numuneler 28 gün bekletilmek üzere şekil 3.30' da görüldüğü üzere 24 °C ' lik kür havuzuna bırakıldı.



Şekil 3.31. Küp Numunelerden Karot Çıkarılması

Karbon elyaf güçlendirme yönteminde karbon elyafın sarılacağı köşelerin en az 10 mm çapında yuvarlatılması gerekir. Köşelerin yuvarlatılması 150*150 mm ölçülerinde küp numunelerde numuneye zarar verebileceğinden her bir küp numuneden şekil 3.31' de görüldüğü üzere ikişer karot numunesi çıkarıldı. Küp numunelerden 55 mm' lik karot aleti ile 18 adet karot numunesi çıkarıldı.



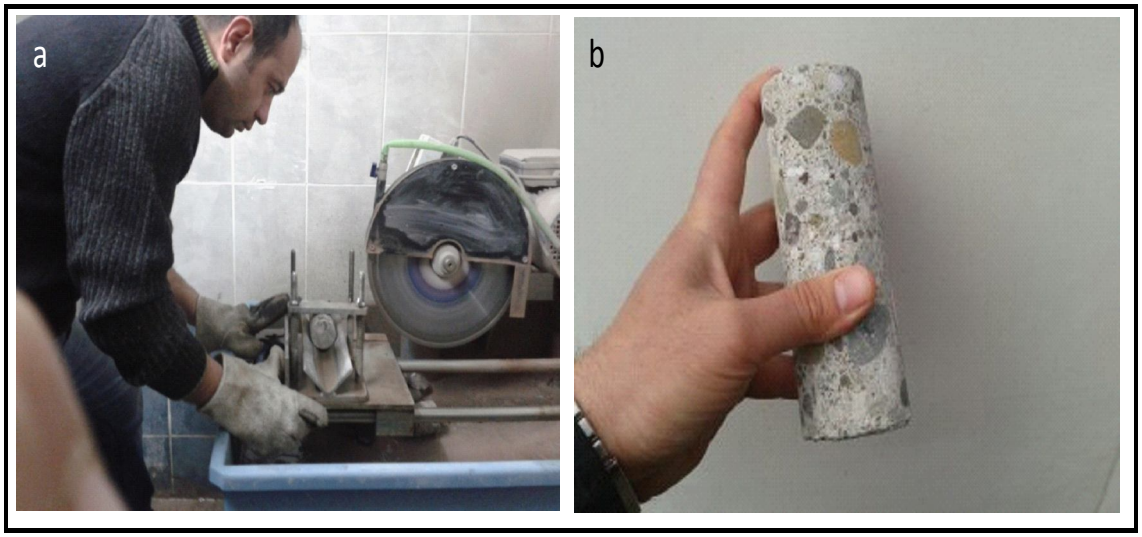
Şekil 3.32. Elde Edilen Karotlar

Çıkarılan 18 karot numuneden 4 karot şekil 3.31-a' da görüldüğü üzere çalışma sırasında zarar gördü bu nedenle küp numunelerden şekil 3.32-b' de görüldüğü üzere 14 adet 55*150 mm ölçülerinde karot numunesi elde elde edildi.



Şekil 3.33. Karot Numunelerin Ölçülendirilmesi

Çıkarılan 55*150 mm ölçülerindeki 14 karot numunenin boy çap oranının 2 katı olması için şekil 3.33' de görüldüğü üzere kalibrasyonlu kumpas ile ölçülendirildi.



Şekil 3.34. Karot Numunelerin Kesilmesi

Ölçülendirme işlemi biten 14 karot numune laboratuar ortamında boyu çapının minimum 2 katı olması için şekil 3.34' de görüldüğü gibi boyları 150 mm den 115 mm ye kısaltıldı.



Şekil 3.35. Karot Numunelerin Başlıklanması

Karot numunelerinin deney sırasında basma kuvvetinin uygulanacağı yüzeylerinin düzgün ve pürüzsüz olabilmesi için şekil 3.35' de görüldüğü gibi kükürt başlıklama sistemi ile tüm numunelerin alt ve üst yüzeyleri başlıklandı.



Şekil 3.36. Karbon Elyafın Hazırlanması Ve Numunelere Uygulanması

Başlıkları yapılan 14 adet karot numuneden 3 numuneye sargı işlemi uygulanmayacağından ‘SZ.55/X’ sembolüyle, 2 numune yatay yönde tek kat sargılı olacağından ‘SL1.55/X’ sembolüyle , 3 numunenin ilk katları ve ikinci katları yatay yönde çift kat sargılı olacağından ‘SL2.55/X(YY)’ sembolüyle, 3 numunenin ilk katları yatay ikinci katları dikey olacak şekilde çift kat sargılı olacağından ‘SL2.55/X(YD)’ sembolüyle ve kalan 3 numunenin ilk katları dikey ikinci katları yatay olacak şekilde yine çift kat sargılı olacağından ‘SL2.55/X(DY)’ sembolüyle isimlendirilerek numunelere yazıldı ve gruplara ayrıldı. Bu isimlendirme sisteminde X numune sayısını belirtmekte, parantez içindeki Y yatay yönde sargılanacağını D ise dikey yönde sargılanacağını belirtmektedir. Karbon elyaf şekil 3.36’ da görüldüğü üzere gerekli sayıda ve gerekli ölçülerde kesilerek sarım için hazırlandı.



Şekil 3.37. Numunelere İkinci Kat Karbon Elyaf Sarılması

Standartlara uygun şekilde karıştırılarak hazırlanan epoksi yapıştırıcısı ve hızlandırıcı karışım numunelere sürüldükten sonra şekil 3.37’ de görüldüğü gibi karbon elyaflar isimlendirildikleri şekil ve doğrultuda numunelere sarıldı. Numunelerin ikinci kat sarım işlemleri için, Numune üzerlerine epoksi sürüldü ve karbon elyaf numunelere isimlendirildiği doğrultuda boşluk kalmamasına dikkat edilerek tekrar sarıldı.



Şekil 3.38. Karot Numunelerin Deney İçin Hazırlanması

Böylece şekil 3.38-a' da görüldüğü üzere 150*150 mm ölçülerindeki küp numunelerden çıkarılan 14 adet 55*110 mm ölçülerinde silindir karot numuneden 3 numuneye herhangi bir sarım işlemi uygulanmadı. 2 adet numuneye tek kat yatay yönde elyaf sarıldı. 3 adet numuneye ilk katı yatay ikinci katı yine yatay sargılı olmak üzere çift kat karbon elyaf sarıldı. 3 adet numuneye ilk katı yatay ikinci katı dikey sargılı olmak üzere çift kat karbon elyaf sarıldı. 3 adet numuneye ilk katı dikey ikinci katı yatay olmak üzere yine çift kat karbon elyaf sarıldı. Karbon elyaf sarım işlemi uygulanan numunelerin yüzeylerine son kat epoksi sürülerek şekil 3.38' de görüldüğü üzere kurumaları için bekletildi. Deney aşamasına hazır hale gelen 14 numunenin çapsal deformasyon değerlerinin gözlemlenmesine uygun yeterli laboratuar imkânları bulunmadığından eksenel basınç altında deneye alınıp, kırılmaları ileriki bir çalışma için ertelenmiştir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI

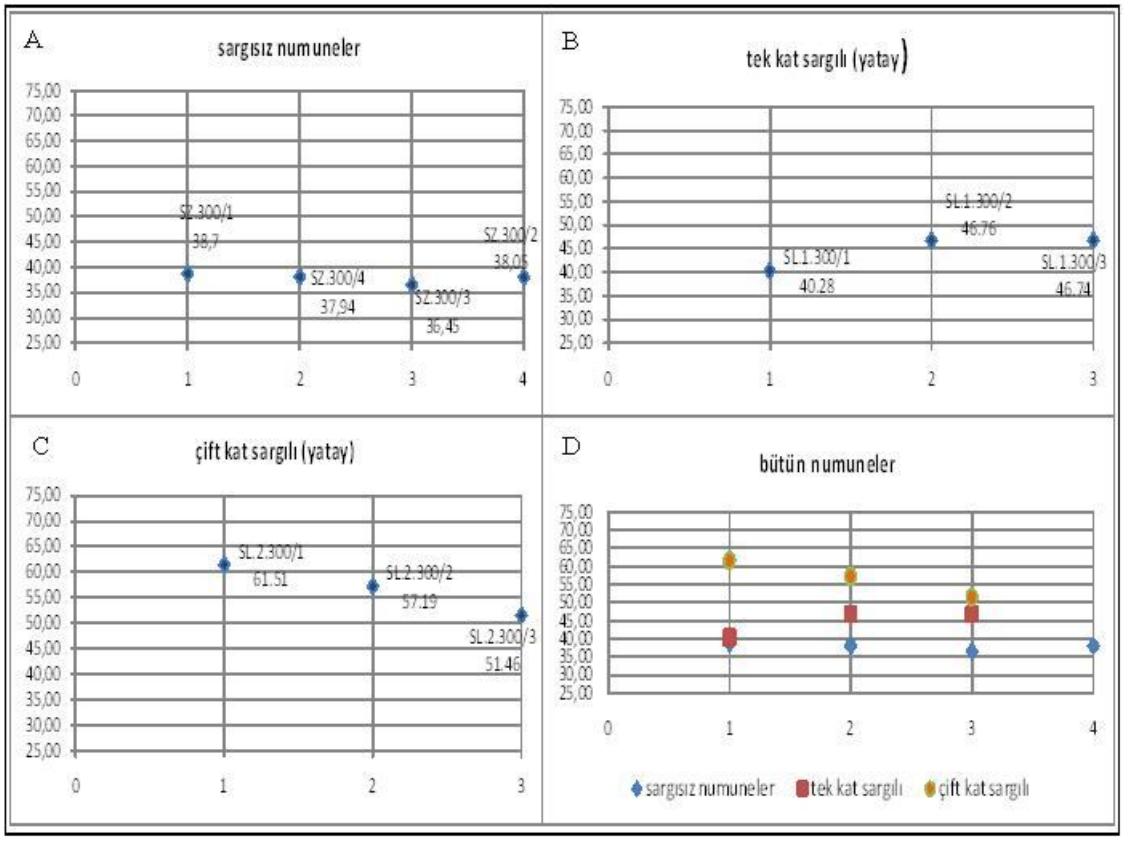
4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. 150*300 mm Ölçülerinde Silindir Numunelerin Deney Sonuçları

Deney esnasında 150*300 mm ölçülerindeki silindir beton numunelere uygulanan yüklemenin hızı, dayanımı ve numunelerin göstermiş olduğu eksenel ve çapsal deformasyon değerleri çizelge 4.1' de numunelerin isimlendirildikleri sembollerle görülmektedir. LVDT transducerlar sargısız olan ikinci numune (SZ-300/2)' ye yanlış monte edildi bu nedenle ilk yükleme deformasyon değerleri alınamadı. Tek kat sargılı olan ikinci numune (SL1-300/1) ve çift kat sargılı olan birinci numune (SL2-300/1) ilk yükleme sonunda dağıldığından tekrar yükleme yapılamadı ancak diğer numunelere ikinci yükleme yapılarak numunelerin davranışları incelenmiştir. Karbon elyaf sarılan numunelerin göstermiş olduğu çapsal deformasyon değerleri sargısız olan numunelerin gösterdiği deformasyon değerlerine oranla daha fazla çıkmıştır.

Çizelge 4.1: 150*300 Silindir Numunelerin Deney Sonuçları

150*300 SİLİNDİR KALIPLARDAN ALINAN NUMUNELER											
Numune isimleri	SZ-300/1	SZ-300/2	SZ-300/3	SZ-300/4	SL1-300/1	SL1-300/2	SL1-300/3	SL2-300/1	SL2-300/2	SL2-300/3
AĞIRLIK	12447,5	12490	12440	12445	12716,5	12725	12817	12829,5	12891,5	12893
1. Deney	YÜKLEME HIZI KN/s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	P1 (KN)	683,885	672,343	644,053	670,514	711,893	826,319	825,897	1086,981	1010,556	909,36
	σ1 (MPA)	38,7	38,05	36,45	37,94	40,28	46,76	46,74	61,51	57,19	51,46
	Єx1 (% Ax)	0,23	0	0,377	0,272	0,385	1,554	0,06	0,607	1,592	0,941
	Єd1 (% Diam)	0,515	0	0,536	0,64	2,753	2,697	2,34	0,061	1,633	2,271
2. Deney	YÜKLEME HIZI KN/s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	P2 (KN)	505,007	530,853	452,909	476,049	531,123	Numune	699,085	Numune	430,041	878,114
	σ2 (MPA)	28,58	30,04	25,63	26,94	30,05	Dağıldı 2.	39,56	Dağıldı 2.	24,34	49,69
	Єx2 (% Ax)	0,318	0,013	0,329	0,329	0,48	yükleme	0,563	yükleme	1,046	0,792
	Єd2 (% Diam)	0,977	0,353	0,723	0,723	1,33	yapılamadı	1,135	yapılamadı	1,763	0,097



Şekil 4.1. 150*300 silindir numunelerin deney sonuç grafikleri

Eksenel yük altında yenilen silindir numunelerin dayanım değerleri şekil 4.1' de grafiksel olarak verilmiştir. Grafik A' da karbon elyaf sargılanmayan numunelerin grafik B' de karbon elyafın tek kat sargılandığı numunelerin ve grafik C' de karbon elyafın çift kat sargılandığı numunelerin dayanım değerleri verilmiştir. Numunelerin dayanımlarının mukayese edilebilmesi için tüm numunelerin mukavemet dayanımları grafik D' de verilmiştir.

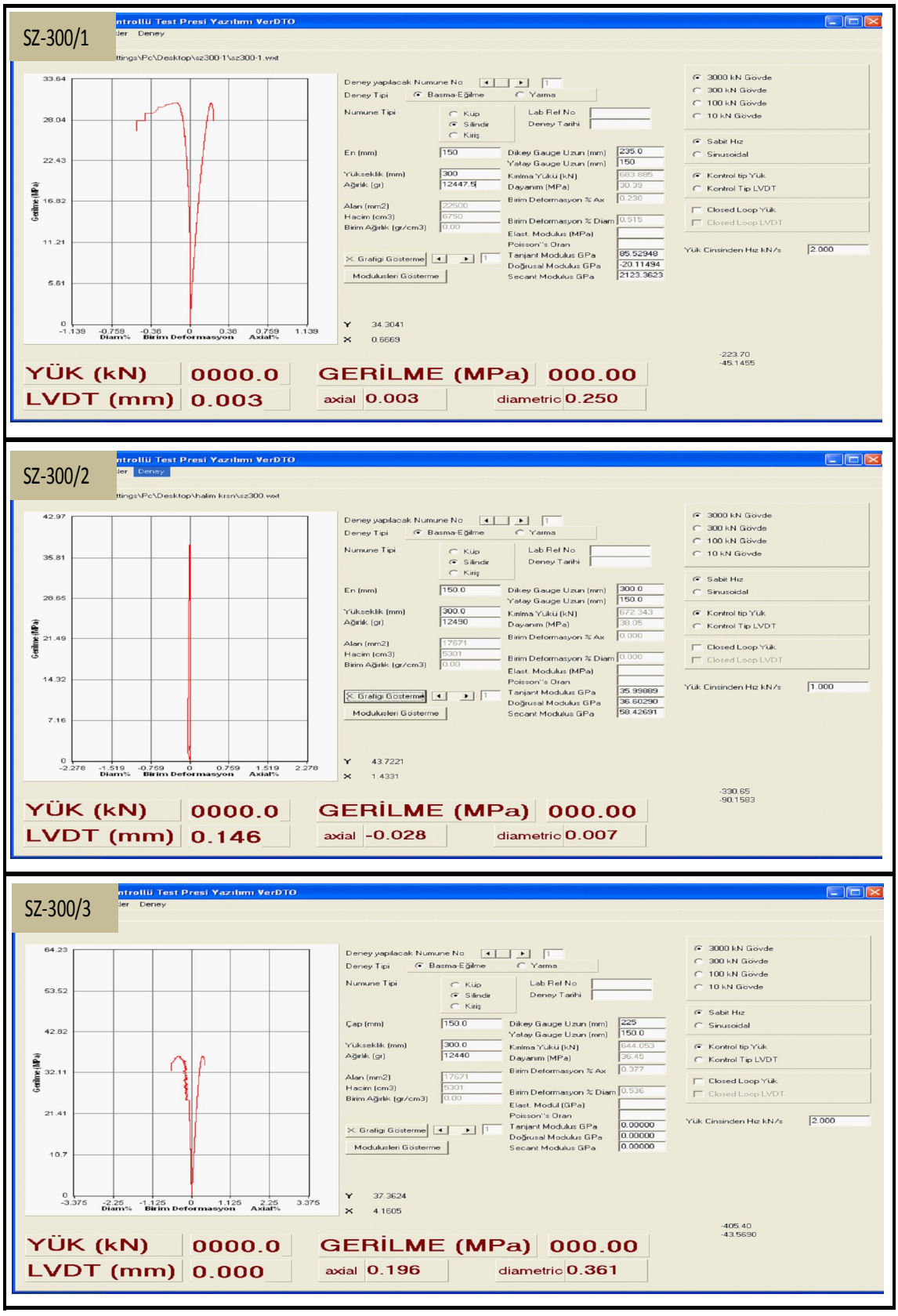
ORTALAMA	150*300 SİLİNDİR NUMUNELERİN İLK YENİLME SONRASI DEĞERLERİNİN ORTALAMALARI								
		Sargısız numuneler			Tek kat sargılı			Çift kat sargılı	
	P1ort. (KN)		667,699			788,036			1002,299
	σ1ort. (MPA)		37,785			44,593			56,720



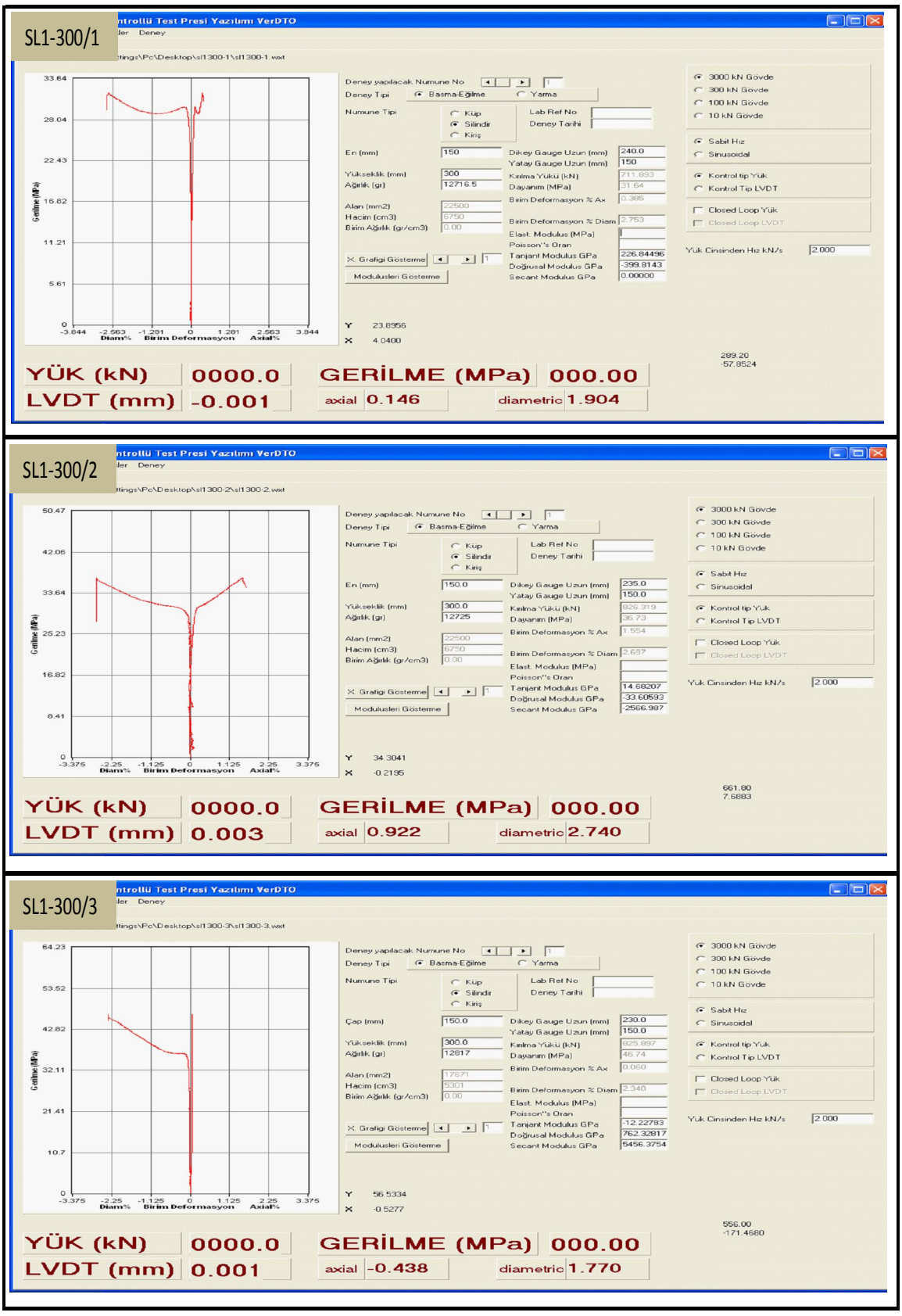
Şekil 4.2. Silindir Numunelerin İlk Yüklemedeki Yenilme Yüklerinin ve Dayanımlarının Ortalamaları

Silindir 10 beton numuneden 4 sargısız numunenin, 3 tek kat sargılı numunenin ve 3 çift kat sargılı numunenin yenilme dayanım değerlerinin ortalamaları ve yenilme yükleri şekil 4.2' de verilmiştir. Numunelerin yenilme dayanım ortalamaları şekil 4.2' de görüldüğü üzere grafiksel olarak da gösterilmiştir.

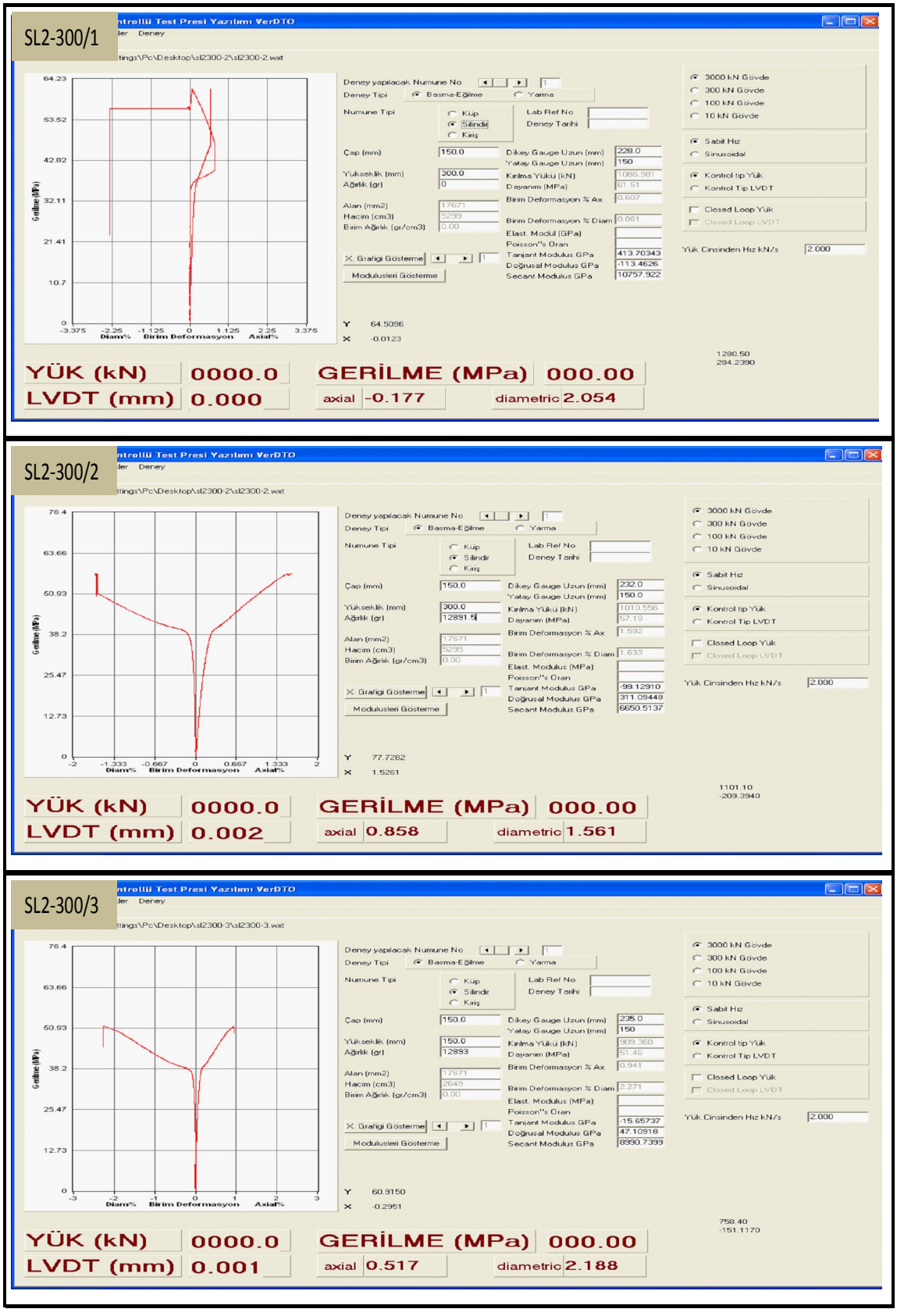
Karbon elyaf sarılmayan numunelerin yenilirken göstermiş olduğu davranışlar şekil 4.3' de verilmiştir. Karbon elyafın tek kat sarıldığı numunelerin yenilirken göstermiş olduğu davranışlar şekil 4.4' de verilmiştir. Karbon elyafın çift kat sarıldığı numunelerin göstermiş olduğu davranışlar şekil 4.5' de verilmiştir. Her numune için ayrı olarak verilen çapsal ve eksenel deformasyonların grafiksel olarak gösterildiği şekiller numunelerin eksenel yük altında yenilmeleri sonucu alınan ilgili deney yazılım program raporlarıdır. Deformasyon davranışların gösterildiği grafiklerde eksi yöndeki eğri çapsal deformasyon, artı yöndeki eğri ise eksenel yöndeki deformasyon değerlerine göre çizilmiştir.



Şekil 4.3. Sargısız Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışı



Şekil 4.4: Tek Kat Sargılı Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışı



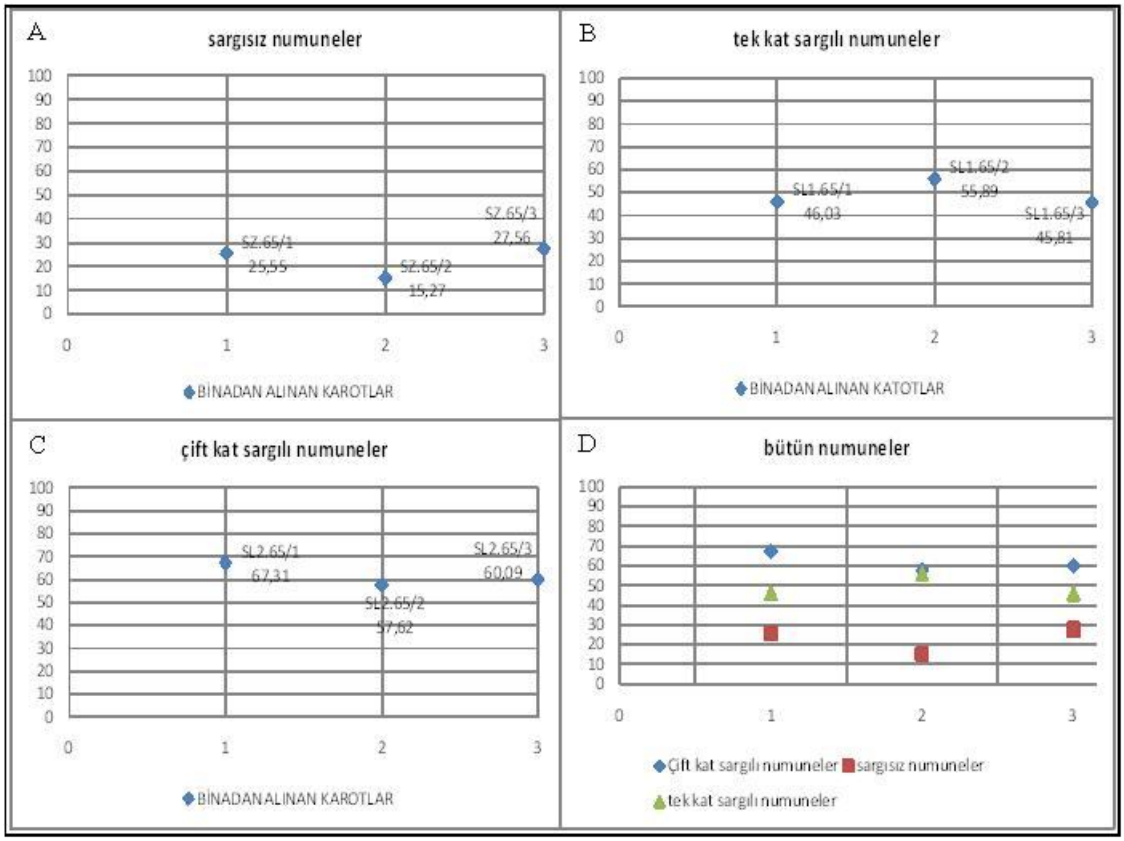
Şekil 4.5. Çift Kat Sargılı Silindir Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışı

4.3.2. 65*130 mm Ölçülerindeki Karot Numunelerin Deney Sonuçları

Deneyde 65*130 mm ölçülerindeki karot numunelere uygulanan yüklemenin hızı, ağırlığı ve numunelerin göstermiş olduğu deformasyon değerleri çizelge 4.2' de numunelerin önceden isimlendirildikleri sembollerle görülmektedir. Karot numunelerden sargısız olan numuneler çizlgede görüldüğü üzere ilk yükleme sonunda dağıldığından tekrar yükleme yapılamamıştır. Tek kat sargılı olan numunelerden ikinci (SL1-65/2) ve üçüncü (SL1-65/3) numuneler ikinci yükleme sonunda dağılmış, birinci (SL1-65/1) numune ise üçüncü yükleme sonunda dağılmıştır. Çift kat sargılı olan numunelerden birinci (SL2-65/1) numune üçüncü yüklemeden sonra dağılmış ve ikinci (SL2-65/2) numune ikinci yüklemeden sonra dağılmış, üçüncü (SL2-65/3) numune ise dördüncü yüklemede bile dağılmadığı ve hasar görmesine rağmen direnebildiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2: Bir Yapıdan Alınan 65*130 Karot Numunelerin Deney Sonuçları

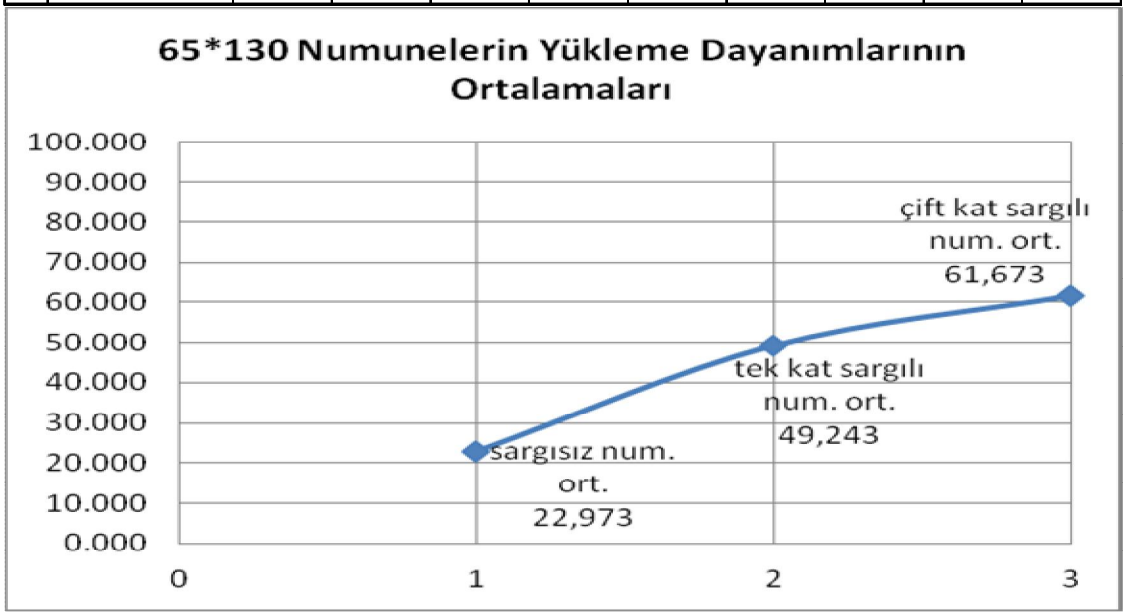
BİNADAN ALINAN 65*130 KAROT NUMUNELER										
	Numune isimleri	SZ.65/1	SZ.65/2	SZ.65/3	SL1.65/1	SL1.65/2	SL1.65/3	SL2.65/1	SL2.65-2-YY	SL2.65-3-YY
	AĞIRLIK		891	942	937	979	945	980	946	990
	YÜKLEME HIZI (kN/s)	2	1	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1. yükleme	P1 (KN)	84,771	50,67	91,435	152,727	185,455	152,01	223,349	191,196	199,378
	σ1 (MPA)	25,55	15,27	27,56	46,03	55,89	45,81	67,31	57,62	60,09
	Єx1 (% Ax)	0,794	0,51	0,507	3,137	0,706	5,206	2,965	0,584	5,352
	Єd1 (% Diam)	0,022	0,168	0,667	3,994	2,756	1,668	0,155	2,814	1,542
2. yükleme	P2 (KN)	Numune Dağıldı 2. yükleme yapılamadı		Numune Dağıldı 2. yükleme yapılamadı	122,727	94,163	90,574	154,019	155,167	167,943
	σ2 (MPA)				36,99	28,38	27,3	46,42	46,76	50,61
	Єx2 (% Ax)				1,509	3,261	4,069	1,631	3,296	3,347
	Єd2 (% Diam)				0,735	0,572	3,064	0,378	0,593	0,4
3. yükleme	P3 (KN)				76,794	Numune Dağıldı 3. yükleme yapılamadı	Numune Dağıldı 3. deneme yapılamadı	115,407	Numune Dağıldı 3. yükleme yapılamadı	117,416
	σ3 (MPA)				23,14			34,78		35,39
	Єx3 (% Ax)				3,666			1,497		2,596
	Єd3 (% Diam)				0,107			0,94		0,283
4. yükleme	P4 (KN)				Numune Dağıldı 4. yükleme yapılamadı			Numune Dağıldı 4. yükleme yapılamadı		83,542
	σ4 (MPA)									25,176
	Єx4 (% Ax)									5,579
	Єd4 (% Diam)									0,129



Şekil 4.6. Bir Yapıdan Alınan 65*130 Numunelerin Deney Sonuç İlişkileri.

Eksenel yük altında yenilen karot numunelerin dayanım değerleri şekil 4.6' da grafiksel olarak verilmiştir. Grafik A' da karbon elyaf sargılanmayan karot numunelerin, grafik B' de karbon elyafın tek kat sargılandığı karot numunelerin ve grafik C' de karbon elyafın çift kat sargılandığı karot numunelerin dayanım değerleri verilmiştir. Numunelerin dayanımlarının mukayese edilebilmesi için tüm karot numunelerin mukavemet dayanım değerleri grafik D' de verilmiştir.

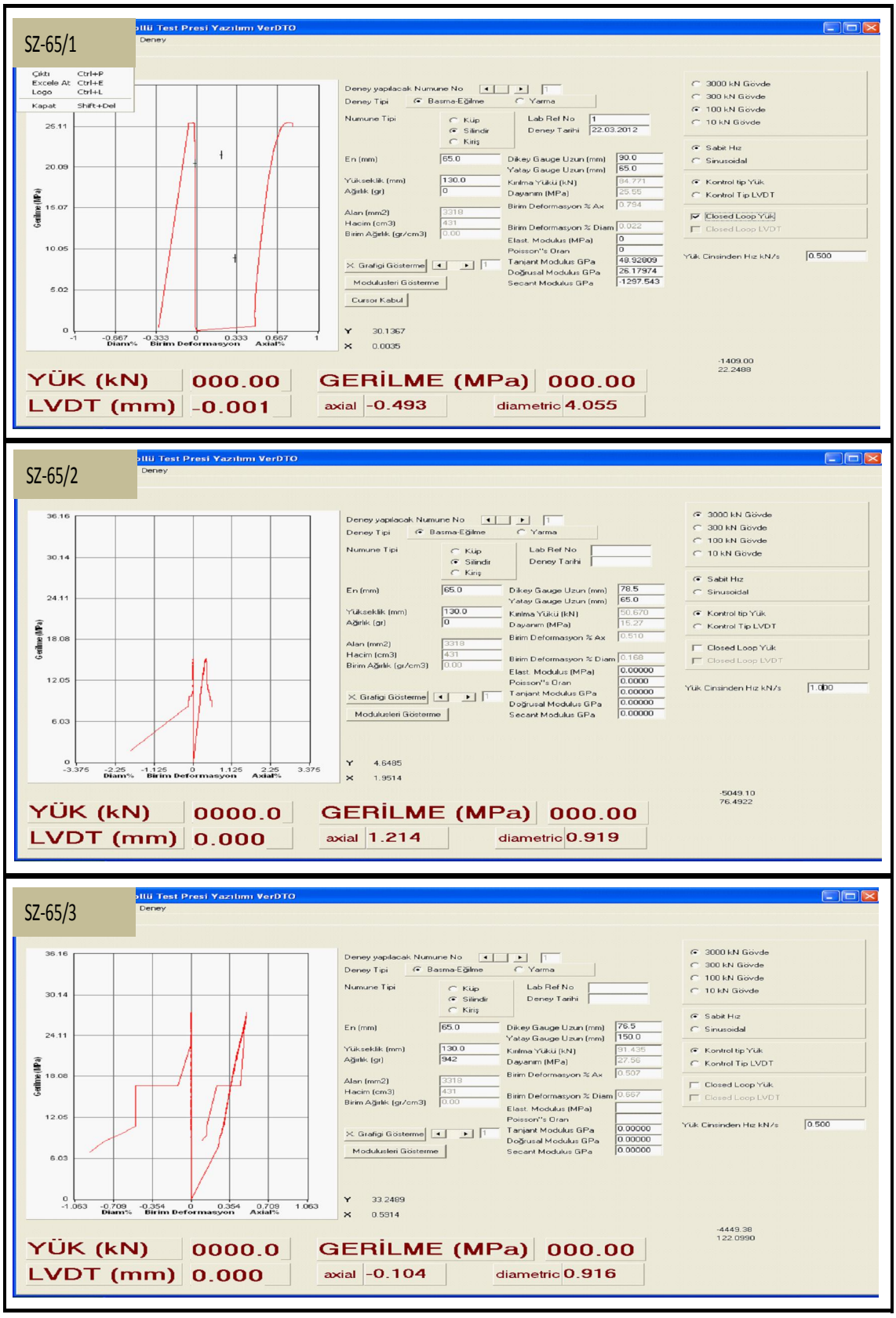
ORTALAMA	KAROT NUMUNELERİN YÜKLEME AĞIRLIKLARININ VE DAYANIMLARININ ORTALAMALARI			
		Sargısız numuneler	Tek kat sargılı	Çift kat sargılı
	P1ort. (KN)	75,625	163,397	204,641
	σ1ort. (MPA)	22,793	49,243	61,673



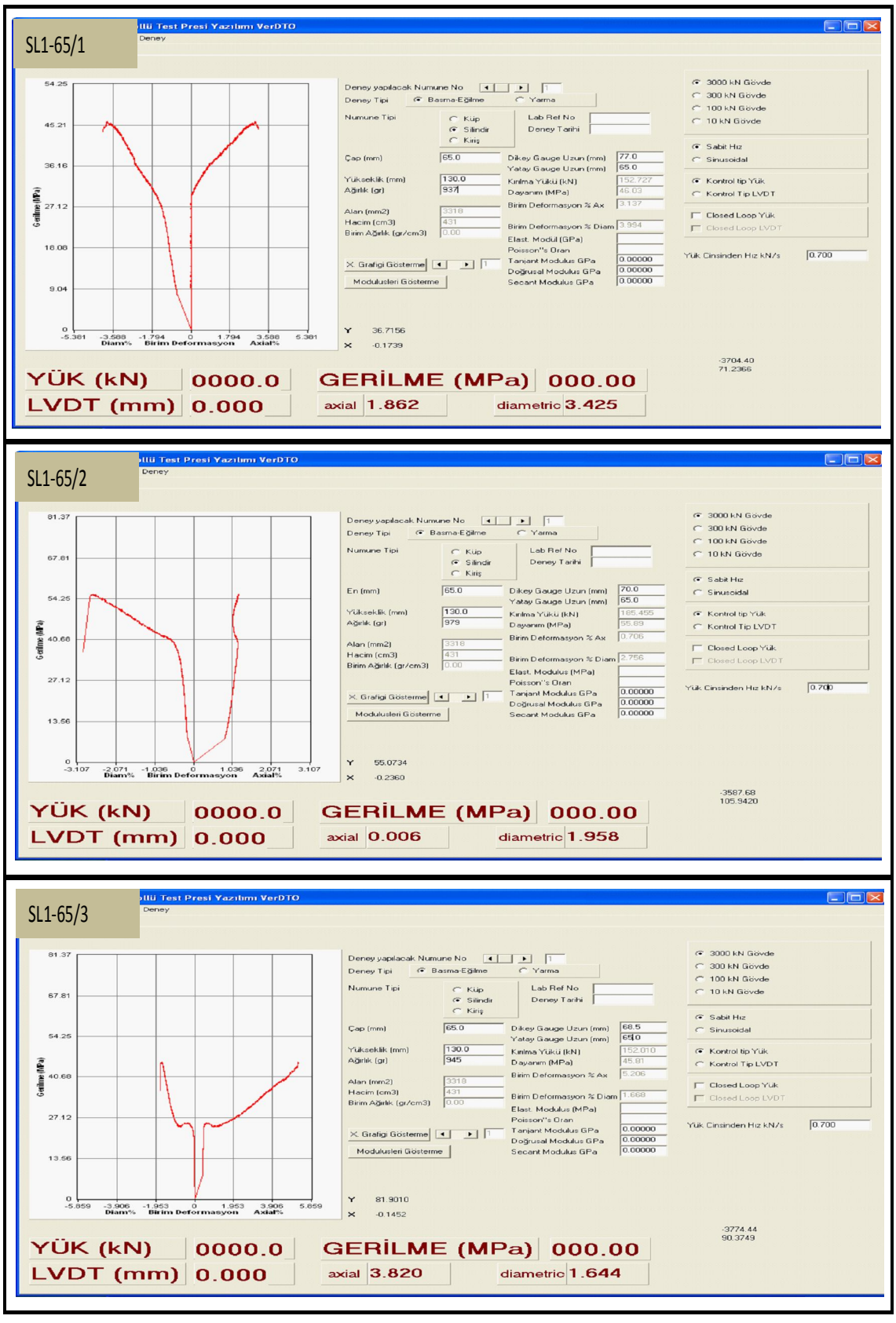
Şekil 4.7. Karot Numunelerin İlk Yüklemedeki Yenilme Yüklerinin ve Dayanımlarının Ortalamaları

Bir yapıdan alınan dokuz 9 karot numuneden 3 sargısız numunenin, 3 tek kat sargılı numunenin ve 3 çift kat sargılı numunenin yenilme dayanım değerlerinin ortalamaları ve yenilme yükleri şekil 4.7' de verilmiştir. Numunelerin yenilme dayanım ortalamaları şekil 4.7' de görüldüğü üzere grafiksel olarak da gösterilmiştir.

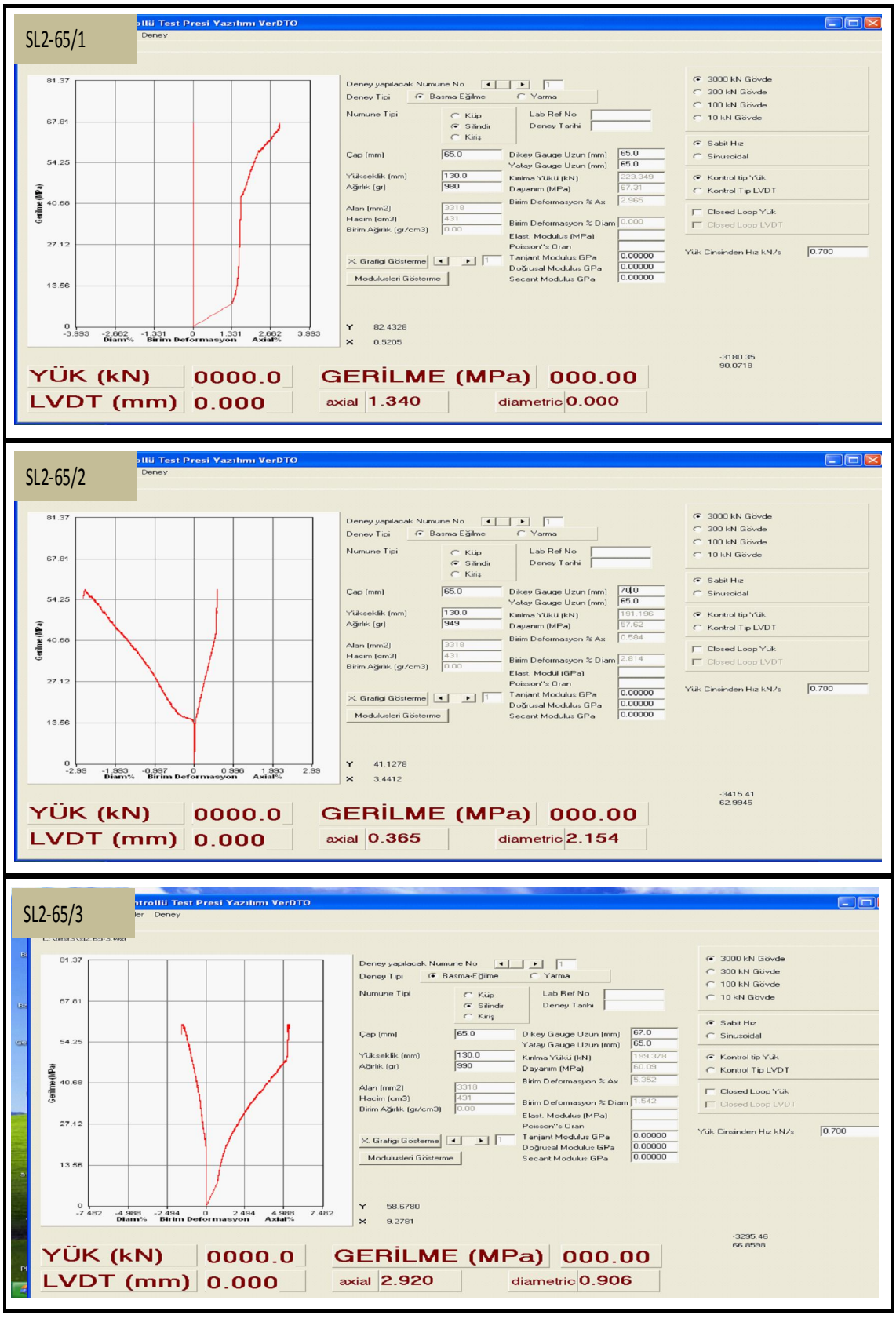
Karbon elyaf sarılmayan numunelerin yenilirken göstermiş olduğu davranışlar şekil 4.8' de verilmiştir. Karbon elyafın tek kat sarıldığı numunelerin yenilirken göstermiş olduğu davranışlar şekil 4.9' da verilmiştir. Karbon elyafın çift kat sarıldığı numunelerin göstermiş olduğu davranışlar şekil 4.10' da verilmiştir. Her numune için ayrı olarak verilen çapsal ve eksenel deformasyonların grafiksel olarak gösterildiği şekiller numunelerin eksenel yük altında yenilmeleri sonucu alınan ilgili deney yazılım program raporlarıdır. Deformasyon davranışların gösterildiği grafiklerde eksi yöndeki eğri çapsal deformasyon, artı yöndeki eğri ise eksenel yöndeki deformasyon değerlerine göre çizilmiştir.



Şekil 4.8. Sargısız Karot Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışları



Şekil 4.9. Tek Kat Sargılı Karot Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışları



Şekil 4.10. Çift Kat Sargılı Karot Numunelerin Eksenel Yük Altındaki Davranışları

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada çapı 150 mm uzunluğu 300 mm olan 10 adet standart silindir beton numune ve bir binadan alınan 9 adet karot numune test edilmiştir. Bu numunelerin bir kısmı sargısız (SZ) olmak üzere diğerleri tek yönlü karbon elyaf ile yatay yönde sargılanarak tek kat sargılı (SL1) ve iki kat sargılı (SL2) olarak laboratuar ortamında deneye alınmıştır. Deneyler neticesinde çizelge 4.1 ve çizelge 4.2' de görüldüğü üzere numunenelerin kırılma yükleri ve dayanım değerleri incelendiğinde sargılanan numuneler sargılanmayan numunelerden beklendiği gibi hem mukavemet hemde süneklilik bakımından daha iyi bir dayanım göstermiştir.

Karbon elyaf sargılanan numuneler sargılanmayan numunelere oranla beklendiği gibi enerji tüketme kapasitesi olarak kabul edilen çapsal deformasyon miktarı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Epoksi ile kemikleşen karbon elyaf yük altında yenilip deforme olarak genleşmek isteyen numuneyi zorlayarak engel olur ancak karbon elyafın yırtılarak numuneyi serbest bırakması sonucu numune aniden maruz kaldığı yüksek yük altında yenilerek daha fazla çapsal deformasyona uğrar. Deney çalışmasında şekil 3.25' de görüldüğü üzere yenilen karot numuneleri incelenecek olursa karbon elyafın yırtıldığı numunenin üst kısmında numune maruz kaldığı yük karşısında dağılmış ancak elyafın sağlam kaldığı alt kısmda ise betonun özelliği hala korunmaktadır. Bu nedenle sargı sayısını artırmak yerine gerilme yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde bant şeklinde ek güçlendirmelerin yapılması sonraki çalışmalarda daha olumlu sonuçlar ortaya çıkaracağı düşünülmektedir.

Çizelge 4.4 ve çizelge 4.6' da görüldüğü üzere SL1.300/2, SL2.300/1, SZ.65/1, SZ.65/2 numuneler gevrek kırılma ile ilk yüklemede dağıldığından tekrarlı yükleme yapılamıştır. Şekil 5.1 ve şekil 5.2' de görüldüğü üzere karbon elyaf sargılanmayan numunelerin, tek kat karbon elyaf sargılanan numunelerin ve çift kat karbon elyaf sargılanan numunelerin kendi aralarında kırılma yüklerinin ve dayanım değerlerinin ortalamaları verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde karbon elyaf ile sargılanarak güçlendirilen düşük beton standardına sahip numuneler, beton standardı yüksek olan silindir numunelere oranla daha sünek ve oransal olarak dayanım bakımından daha iyi performans göstermiştir. Silindir numunelerin ortalamalarına bakıldığında karbon elyaf

sarılan numuneler % 25 oranında dayanım sergilemesine rağmen düşük dayanıma sahip karot numunelerde ise bu oran % 130 olarak gözlemlenmiştir. Karbon elyaf ile güçlendirme metodu mukavemet değerleri belli bir düzeyin üzerinde olan hasarlı ve nispi olarak zayıf yapılarda etkisinin daha fazla olacağı kanısına varılmıştır.

Şekil 3.9-c ve şekil 3.14' de görüldüğü üzere yenilen numunelerin kırılma doğrultuları, karbon elyafın numuneyi bırakış şekli göz önüne alındığında tek yönlü karbon elyaf yerine çift yönlü karbon elyaf kullanılmış olması durumunda çok daha iyi bir güçlendirme sağlanabileceği anlaşılmıştır. Şekil 3.9' da görüldüğü üzere elyafın yırtılma şekli göz önüne alındığında deneylerde çift kat sargılanan karbon elyafın ikinci kat sargı işlemi ilk katının (dikey) zıtı yönünde yatay olacak şekilde sargılanmış olması daha iyi bir güçlendirme sağlanabilmesine olanak vereceği beklentisini ortaya çıkarmıştır.

6.KAYNAKLAR

ARIOĞLU, E. VE ARIOĞLU, N. 1998. Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirmesi. Evrim Yayınevi, İstanbul, 1998.

Akdere, K. 2006, Çift Eğrilikli Betonarme Kolonların Karbon Fiber Elyaf Şeritlerin Boyuna ve Enine Donatı Olarak Kullanılması Yolu ile Güçlendirilmesi ve Onarılması Gazi Üniversitesi, Ankara, s. 1-7

Bayülke, N. 1998. Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, III. Baskı, İMO. İzmir Şubesi.

Celep, Z. ve Kumbasar, N. 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

Çetinkaya, N. Kaplan, H. Şenel, M. 2004. Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (Frp) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi, Pamukkale Ünv. Denizli, s. 291-298

Demirel, B. ve Gönen, T. 2007. Karbon Fiber Takviyeli Betonda Fraklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi, Fırat Ü. DAUM Dergisi, 6 (1), s. 12

Ersoy, U. 2007. Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Uygulama ve Araştırmalar, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

İlki, A. ve Kumbasar, N. 2002. Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, s. 2598-2616.

Mert, N. Ve Elmas, M. 2007. Fiber Takviyeli Polimerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi, Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Özcan, Z. 2005. Betonarme Kirişlerin Kompozit Malzemeler ile Güçlendirilmesi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Şimşek O. 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, Ankara.

Taşdemir, M.A. ve Özkul M.H. 2002. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri, Prof. Dr. Kemal Özdeni Anma Semineri. İstanbul.

TS-EN 12350, Taze Beton Deneyleri Standardı.

TS-EN 12390, Sertleşmiş Beton Deneyleri Standardı.

TS 706 EN 12620 Beton Agregaları

Yılmaz, A.D. ve Seyhan, E.C. 2005. Onarım ve Güçlendirme Uygulama Örnekleri, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Yılmaz, E. 2004. Çelik lif takviyeli öndöküm beton paneller ile kolon güçlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

09.07.1980 yılında Diyarbakır ilinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2006 yılında Doğu Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2008 yılında Ağrı İl Özel İdaresinde inşaat mühendisi olarak göreve başladı. 2009 yılında askerliğini yaptı. 2011 yılında Diyarbakır Büyükşehir Belediyesinde inşaat mühendisi olarak göreve başladı. Halen Diyarbakır Büyükşehir Belediyesinde görevine devam etmektedir.