

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

**CAM KARBON VE ARAMİD ELYAF KUMAŞ İLE
HİBRİT SARGILANMIŞ BETONLARIN DAYANIMI**

Nurettin ŞENOL

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Handan ADIBELLİ

YOZGAT 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

**CAM, KARBON VE ARAMİD ELYAF KUMAŞ İLE
HİBRİT SARGILANMIŞ BETONLARIN DAYANIMI**

Nurettin ŞENOL

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Handan ADIBELLİ

YOZGAT 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110716004 numaralı öğrencisi Nurettin ŞENOL'un hazırladığı "Cam, Karbon ve Aramid Elyaf Kumaş ile Hibrit Sargılanmış Betonların Dayanımı" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 11/09/2019 Çarşamba günü saat 15:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Handan ADIBELLİ
(Danışman)

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 10.../10.../19. tarih ve 4.8 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

10.../10.../2019

Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI

Müdür



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Kompozit Malzemeler.....	2
2.1.1. FRP Donatılı Beton Kompozit.....	2
2.1.1.1. Hibrit Yapı Malzemesi	3
2.1.1.2. Hibrit Yapıların Faydaları	3
2.2. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme.....	4
2.3. Hibrit Elyafların Kullanım Alanları	4
2.4. Hibrit Elyafın Uygulanması	5
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	6
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	16
4.1. Deney Malzemeleri	16
4.1.1. Aramid Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (AFRP)	16
4.1.2. Düz Cam Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (GFRP)	17
4.1.3. Twill Cam fiber takviyeli polimer kumaş (GFRP)	18
4.1.4. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (CFRP)	19
4.1.5. Epoksi.....	20
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	21
4.2.1. Beton Numunelerin Hazırlanması.....	21
4.2.2. Fiber Takviyeli Polimer Kumaşların Hazırlanması	24
4.2.3. Elyaf kumaşların Numunelere Sarılması	26
4.3. Deneylerin Yapılması	30
4.3.1. Numune Üretimi Deney Düzeneği.....	30
5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	31
5.1. Referans Beton Numuneleri	31

5.2. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kumaş Sargılı Beton Numuneleri (K)	32
5.3. A+K+A, C+K+C, TC+K+TC Sargılı Beton Numuneleri	34
5.4. 2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC Sargılı Beton Numuneleri	37
5.5. K+TC+A Sargılı Beton Numuneleri	41
5.6. K+A K+C K+TC Sargılı Beton Numuneleri	42
6. BULGULAR	47
7. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	5050
ÖZGEÇMİŞ.....	566



CAM, KARBON VE ARAMİD ELYAF KUMAŞ İLE HİBRİT SARGILANMIŞ BETONLARIN DAYANIMI

Nurettin ŞENOL

Bozok Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

2019; Sayfa: 56

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Handan ADIBELLİ

ÖZET

Bu tezde C25 beton sınıfına ait 150x300 mm ölçülerinde üretilen 36 adet beton silindir numunenin 3 tanesi referans beton numunesi olmak üzere ayrılmıştır. Kalan 33 beton silindir numunenin Cam, Karbon ve Aramid elyaf kumaş ile farklı şekilde sargılanmasıyla elde edilen hibrit sargılı betonların aksel basınç altındaki davranışı incelenmiştir.

Çalışmada sabit olarak beton sınıfı C25 alınırken değişken olarak farklı sargı kalınlıkları (tek kat, iki kat, üç kat, dört kat ve beş kat) ve kumaş çeşitleri (CFRP, GFRP ve AFRP) alınmıştır. FRP ile hibrit sargılı betonların mekanik davranışını belirlemek için Yozgat Bozok Üniversitesi Yapı ve Malzeme Laboratuvarında deneysel bir çalışma yürütülmüş ve deneyler sonucunda aksel basınç altında hibrit sargılı beton numunelere ait gerilme – şekil değiştirme ilişkisi tablo ve grafikler yardımıyla sunulmuştur. Bunlara göre hibrit sargının betonun dayanımı önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Bu artımın miktarı kullanılan hibrit sargının çeşidine ve tabaka kalınlığına göre değişiklik göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: FRP, GFRP, AFRP, CFRP, Sargı, Beton, Hibrit, Aksel Basınç Dayanımı.

Strenght Of Hybrid Wrapped Concrete By Glass Carbon and Aramid Fiber Cloth

Nurettin ŞENOL

Bozok University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

2019; Page: 56

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Handan ADIBELLI

ABSTRACT

In this thesis, 3 of the 36 concrete cylinder samples produced in 150x300 mm dimensions belonging to C25 concrete class are separated as reference concrete sample. The behavior of hybrid winding concretes obtained by different winding of remaining 33 concrete cylinder samples with Glass, Carbon and Aramid fiber fabric under axial pressure was investigated.

In the study, while concrete class C25 was taken as constant, different winding thicknesses (single layer, two layer, three layer, four layer and five layer) and fabric types (CFRP, GFRP and AFRP) were taken as variables. An experimental study was carried out in Yozgat Bozok University Construction and Materials Laboratory in order to determine the mechanical behavior of hybrid winded concrete by FRP. According to these, it was found that the hybrid winding significantly increased the strength of the concrete. The amount of this increase varies according to the type and layer thickness of the hybrid winding used.

Keywords: FRP, GFRP, AFRP, CFRP, Concrete Layer, Concrete, Hybrid, Axial Compressive Strength.

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Konumu bana öneren tezimin her aşamasında değerli bilgi ve yardımlarıyla anımda olan danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Handan Adıbelli'ye teşekkürlerimi sunarım.

İlgi ve yardımları dolayısıyla sayın hocam Prof. Dr. Fuat KÖKSAL'a ve Dr. Öğretim Üyesi YuŐa ŐAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalıŐmam boyunca yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Basri Ekrem FİDAN 'a teşekkür ederim.

Bu hayatta desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana olan güvenleri asla bitmeyen kıymetli ve bir o kadar değerli aileme teşekkür ediyorum.

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Aramid Kumaşın Özellikleri.....	17
Tablo 4.2. Cam Elyaf Kumaşın Özellikleri.....	18
Tablo 4.3. Karbon Elyaf Kumaşın Özellikleri	19
Tablo 4.4. Epoksi Teknik Özellikleri [55]	20
Tablo 5.1. Referans Beton Numuneleri İçin Mekanik Özellikler	31
Tablo 5.2. K Sargılı Beton Numuneleri İçin Mekanik Özellikler.....	33
Tablo 5.3. A+K+A, C+K+C, TC+K+TC Numuneleri Mekanik Özellikler.....	35
Tablo 5.4. 2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC Sargılı Beton mekanik özellikleri	388
Tablo 5.5. K+TC+A Sargılı Beton mekanik değerleri.....	41
Tablo 5.6. K+A, K+C, K+TC Sargılı Beton Numuneleri Mekanik özellikleri.....	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Güçlendirme Şekilleri	5
Şekil 4.1. Aramid Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (AFRP)	16
Şekil 4.2. Düz Cam Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (GFRP).....	17
Şekil 4.3. Twill Cam fiber takviyeli polimer kumaş (GFRP)	18
Şekil 4.4. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (CFRP)	19
Şekil 4.5. Tekno Epoksi Yapıştırıcı	20
Şekil 4.6. Boş silindirler.....	21
Şekil 4.7. C25 Hazır Beton Doldurulmuş Silindirler	22
Şekil 4.8. Kür Havuzunda Bekletilen Numuneler.....	22
Şekil 4.9. Numunelerin Başlıklanması.....	23
Şekil 4.10. Numunelerin Zımparalanması	23
Şekil 4.11. Aramid Kumaşın Kesilmesi.....	24
Şekil 4.12. Twill Cam Kumaşın Kesilmesi.....	25
Şekil 4.13. Karbon Kumaşın Kesilmesi	25
Şekil 4.14. Cam Kumaşın Kesilmesi	26
Şekil 4.15. Elyaf kumaşların Numunelere Sarılması	27
Şekil 4.16. Numunelerin Toplu Görünümü.....	28
Şekil 4.17. Numune Sarım İşlemi	29
Şekil 4.18. Sarımı Tamamlanmış Numuneler	29
Şekil 4.19. Numune Üretimi Deney Düzeneği	30
Şekil 5.1. C25 Referans Numuneleri Ait Gerilme - Şekil Değişirme Eğrileri ..	32
Şekil 5.2. Kontrol Beton Numunesi	32
Şekil 5.3. K Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	33
Şekil 5.4. Karbon fiber takviyeli polimer kumaş sargılı beton Numuneleri (K).....	34
Şekil 5.5. A+K+A Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	35
Şekil 5.6. C+K+C Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri.....	36
Şekil 5.7. TC+K+TC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri..	36
Şekil 5.8. A+K+A, C+K+C, TC+K+TC Sargılı Beton Numuneleri.....	37
Şekil 5.9. 2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC Sargılı Beton Numuneleri.....	39

Şekil 5.10. C25 2AK2A Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	39
Şekil 5.11. C25 2CK2C Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	40
Şekil 5.12. C25 2TCK2TC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	40
Şekil 5.13. KTCA Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	41
Şekil 5.14. K+TC+A Sargılı Beton Numuneleri	422
Şekil 5.15. K+A K+C K+TC Sargılı Beton Numuneleri	44
Şekil 5.16. C25 KA Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri....	45
Şekil 5.17. KC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri.....	45
Şekil 5.18. KTC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri	46

KISALTMALAR LİSTESİ

AFRP	: Aramid Elyaf Takviyeli Polimer
CFRP	: Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
FRP	: Fiber Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimer
2A + K + 2A	: İki kat aramid + bir kat karbon + iki kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş
2C + K + 2C	: İki kat düz cam + bir kat karbon + iki kat düz cam fiber takviyeli polimer kumaş
2TC + K + 2TC	: İki kat twill cam + bir kat karbon + iki kat twill cam fiber takviyeli polimer kumaş
A + K + A	: Bir kat aramid + bir kat karbon + bir kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş
C + K + C	: Bir kat düz cam + bir kat karbon + bir kat düz cam fiber takviyeli polimer kumaş
K + A	: Bir kat karbon + bir kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş
K + C	: Bir kat karbon + bir kat düz cam fiber takviyeli polimer kumaş
K + TC	: Bir kat karbon + bir kat twill cam fiber takviyeli polimer kumaş
K + TC + A	: Bir kat karbon + bir kat twill cam + bir kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş
TC + K + TC	: Bir kat twill cam + bir kat karbon + bir kat twill cam fiber takviyeli polimer kumaş

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaratılışından bu zamana kadar ihtiyaçlarını karşılamak ve yaşamını iyileştirmek için değişim ve gelişim içerisinde olmuştur. Doğal malzemeleri kullanarak ihtiyaca yönelik çeşitli tasarımlar yapmışlar ancak ilerleyen zamanla ve artan ihtiyaçla birlikte birçok tasarımın hayata geçirilmesinde tek malzemenin inşaat, endüstri, makine vb. mühendislik alanları başta olmak üzere ihtiyaçları gidermediği görülerek birden fazla malzemenin beraber kullanımı ile kompozit kavramı ortaya çıkmıştır. Böylece dayanım, süneklilik, dayanıklılık vb. alanlarda tek bir malzeme kullanımı ile meydana gelebilecek problemlerin önüne geçilmiştir.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan betonarme en iyi bilinen kompozit türlerinden biridir. Yüksek basınç dayanımı ile beton ve yüksek çekme dayanımı ile donatı karışımı geleneksel betonarmeyi oluşturmaktadır. Ancak liman, iskele, köprü, tünel, otopark, çok katlı yapılar ve benzeri yapılarda donatılar da donma zlme etkisi ile paspayının dökülmesi, deniz suyu gibi çevresel faktörlere maruz kalmaları neticesinde korozyona uğramaktadır. Korozyon, betonarme yapılarda yapı ömrünü kısaltması, güvenliğini tehdit etmesi ve çok sık tadilat gerektirmesi nedeni ile betonarme çeliğine alternatif malzemelerin kullanımına neden olmuştur.

Bu malzemelerden biri yüksek çekme ve korozyon dayanımına sahip lif takviyeli polimerlerdir (FRP). İnşaat sektöründe son yıllarda lif takviyeli polimerlerin (FRP) yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanımı hız kazanmıştır. FRP kompozitler ile güçlendirilen yapı elemanlarının yük taşıma kapasiteleri önemli lde artmaktadır. Yapılarda FRP malzemeler farklı türlerde olup donatı, profil, kumaş vb. şekilde üretilmektedir. FRP kompozitlerin çeşidi kullanım amacı, dayanımı, ekonomi vb ihtiyaçlara göre tercih edilir. Bu çalışmada farklı mekanik özelliklere sahip FRP kumaş ile sargılı betonların dayanımı araştırılmıştır.

Tez alışması altı bölümden oluşmaktadır 1. Bölümde Giriş, 2. Bölümde Genel Bilgiler 3. Bölümde Literatür alışması, 4. Bölümde ise Deneysel çalışmadan bahsedilmiştir. 5. Bölümde Deneysel sonuçları değerlendirilmiş 6. Bölümde ise tez sonuçları genel olarak değerlendirilip önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

2.1.1. FRP Donatılı Beton Kompozit

Ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi, çelik ve betondur. Bununla birlikte olumsuz çevre koşulları altındaki betonarme yapılarda, çelik donatı korozyonu, önemli sorunlara neden olmaktadır. Örneğin, su yapılarında çelik donatıların kullanılması pek önerilmemektedir [1]. Bunun nedeni betonarme yapı içindeki çeliğin korozyona uğramasıdır [2].

Geleneksel çelik donatı kullanılan köprü ve yer altı tankları vb. betonarme yapıları sürekli olarak çevresel koşullara maruz kalmaktadır. Deney sonuçlarına göre çelik donatılı betonarme yapılar, tuz etkisi, donma çözünme ve alkali-silika reaksiyonlarının hasar verici etkilerine karşı duyarlıdır. Yapılarda; korozyona karşı dayanıklı, metalik olmayan donatıların kullanılması ile bazı problemlerin azalabileceği amaçlanmaktadır [3].

21. yüzyılda geliştirilmiş FRP malzemeler ilk olarak askeri ve uzay sanayinde kullanılmakla birlikte son 30 senedir bina türü yapılarda da kullanılmaya başlanmıştır. Köprülerdeki çelik donatılı betonarme tablaların servis ömrü 25 yıl iken FRP donatılı tablaların servis ömrünün en az 75 yıl olması beklenmektedir. FRP donatılar, köprü kirişlerinde; tabliye ağırlığını azaltma, korozyon etkilerine karşı koruma, tamiratları azaltma özellikleri ile kullanılabilirliği artırmada güzel bir alternatiftir [3].

FRP malzemeler, yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet ve tasarım esnekliği için betonarme yapılarda takviye elemanı olarak ve betonarme yapıların güçlendirilmesinde giderek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. FRP malzemeler, özellikle olumsuz çevresel koşullar altındaki yapılarda ve altyapı korozyon sorunlarını çözmeye yönelik yapılar geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır [4]. Betonarme yapılardaki kullanılan çelik donatıların yerine FRP çubukların kullanılması iyi bir yöntemdir. Bu uygulanan yöntem, çelik çubukların bozulmasından kaynaklanan beton dayanıklılık problemini çözmek ve elektromanyetikten korunmaya yönelik özel yapıların gereksinimleri için kullanılabilir. FRP çubuk takviyeli betonarme yapıların

ve FRP çubukların performansı, inşaat mühendisliği için önemli bir araştırma alanıdır [5].

Son zamanlarda, fiber takviyeli polimerlere (FRP), çelik takviyenin yerini alabilecek bir malzeme olabileceği görülmüştür. FRP malzeme; donatı, teller ve örgü kumaşlarının, kayış ve levhaların üretimi için kullanılması yanı sıra ticari olarak temin edilebilen FRP malzemeler, camdan (G), aramit (A), karbon (C), bazalt (B) liflerin birbirine epoksi reçine, polyester veya vinil-ester ile bağlanması ile üretilir. Bu malzemeler GFRP, AFRP, CFRP ve BFRP olarak ayırt edilebilir [6].

2.1.1.1. Hibrit Yapı Malzemesi

Yapı sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunların dezavantajlarını azaltmak için farklı malzemelerin üretimi ve birlikte kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. [7].

Beton 1850'li yıllardan günümüze inşaat mühendisliğinin ana malzemesidir. Beton işlenmesi kolay, basınca karşı dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük, ağırlığı ve geçirgenliği yüksek bir yapı malzemesidir. Betonun donatıyla kullanımı en yaygın kullanımıdır. Geleneksel donatıya alternatif olarak günümüzde FRP donatıların kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte FRP kumaş kompozit malzemelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Birden fazla çeşit ve sayıda FRP kumaşın betonu sargılaması biçiminde kullanılan hibrit sargılı beton kompozitlerin kullanımı ile ilgili çalışmalar ise daha sınırlı olup araştırma konusudur.

2.1.1.2. Hibrit Yapıların Faydaları

Basınca karşı yüksek mukavemet sağlayan kompozit malzemeler Elyaf kumaşlar ile melez hibrit karma malzemeler oluşur. İki veya daha fazla lif, epoksi benzeri bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılır. Genel olarak karşılaştırıldığında hibrit lifi kombinasyon sağlar. Güçlendirilmiş kompozitler daha iyi sonuçlar verir. Hibrit yapıların mekanik özellikleri; yüksek özellikli korozyon, kuvvet, modül dayanıklılığı ve birçok durumda mükemmel termal stabilite olanağı sağlar [52].

2.2. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme

Hasar görmüş bir yapı elemanı ya da yapıyı hasar öncesi dayanım ve güvenlik düzeyi durumuna yükseltmeye onarım denilmektedir. Yapı elemanı ya da yapının beklenenin üstünde meydana gelen olumsuz durumlarda hasar öncesi güvenlik düzeyinden daha yüksek düzeye çıkarılması işlemine ise güçlendirme denilmektedir [8].

Onarımda hasar görmüş yapının tekrar önceki güvenlik şartlarını sağlaması gerekiyken, güçlendirmede yapının hasar görmüş olması gerekmemektedir. Yapının projelendirildiği ve yapım tarihindeki şartların değişmesinden ötürü de yapılar da güçlendirme yapılabilmektedir. Örneğin 1 Ocak 2019 tarihi itibariyle deprem risk haritasının değişmesi ile bu tarihten önce projelendirilen yapıların güçlendirme ihtiyacı doğmuştur.

Bir yapıda onarım ve güçlendirme işleminin yapılabilmesi için öncelikli olarak yapının hasar çeşidinin ve düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yapı kompozitlerin üretiminde kullanılan lif çeşitleri vardır. Oluşturulan kompozitlerde çözü ve atkı iplikleri dokuma kompozitlerde belli bir sıra ile birbirine geçmektedir. Elyaf matris Spesifik hacim oranları yahut laminasyon konfigürasyonları, UD kompozitlerinden daha fazla enine-boyuna çekme dayanımı, boyutsal stabilite ve kırılma tokluğu yüksek olan malzemelerin üretimi için kullanılır.

Aramid, PBO, UHMWPE ve AuTx gibi performansı yüksek olan elyaflardan oluşan kumaşlar Fiber takviye için çok etkili malzemelerdir [53].

2.3. Hibrit Elyafın Kullanım Alanları

Bilindiği üzere deprem, diğer doğal afetlere göre daha fazla can ve mal kaybının olduğu afettir. Ülkemizde ve tüm dünyada depremden kaynaklı kayıplar ve hasarlar bilinen yapı standartlarının eksikliğinden, tasarım şartlarının eksikliğinden, bilgi eksikliğinden, imar hatalarından veya kurallara uyulmamaktan kaynaklanmaktadır.

Dünyada deprem sonrası oluşan hasarlar depreme daha mukavemetli yapıların yapılması gerektiğini öğretirken aynı şekilde depremden hasar görmüş yapılarında

onarılması gerektiği bilincini aşılıyarak ‘onarım ihtiyaç’ varlığını göstermiştir. Bu gereksinim mühendisliğin içerisinde hızlı büyüyen bir alan haline gelmiştir [54].

2.4. Hibrit Elyafın Uygulanması

Depremden zarar görmüş bir yapıyı güvenlik seviyesine geri getirmek yetersiz olacağından o yapıda hasarın tekrarlanması muhtemeldir. Bu nedenle zarar gören bir yapıda güçlendirme tekniklerinden yararlanılır. Bu uygulamanın amacı yapıda süneklilik, yük kaldırma kapasitesi ve rijitliği artırmaktır.

İnşaat mühendisleri gerekli incelemelerde bulunduktan sonra hasarın olduğu bir duruma karar verdikten sonra statik değerlendirmesini, betonarme kalitesini, imarın zemin etütlerini analiz ederek hasar nedenlerini belirlerler.

Yapının güçlenmesine karar verildikten sonra CFRP, perde ilavesi, elik konstrüksiyon gibi tekniklerden herhangi bir uygulama tercih ederek hasarı giderir [9].



şekil 2.1. Güçlendirme şekilleri

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Lam ve arkadaşları (2006), yaptıkları çalışmada CFRP ile sargılı beton numuneleri sabit hız ve tekrarlı yükleme etkisi altında incelemiştir. Referans beton basınç dayanımları 41,1 MPa ve 38,9 MPa olarak alınmıştır. Sonuçta betonların farklı yükler altında gerilme – şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde oldukça benzer oldukları görülmüştür [10].

Hua ve arkadaşları (2009), CFRP ile sargılı kare kesitli kolonlar incelemiştir. Beton basınç dayanımları 41,1 MPa ve 57,5 MPa olarak verilmiştir. Araştırma sonucunda hasara uğrayıp sargı ile güçlendirilen kolonların süneklilik ve dayanım değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir [11].

Shin ve Bassem (2010), yaptıkları çalışmada basınç dayanımları 39,2 MPa ve 47,3 MPa arasında değişen silindirik numunelere GFRP sargı, çelik tel sargı ve her ikisinin birlikte kullanılması durumunu incelemiştir. Her ikisinin birlikte kullanıldığı durumda dayanım ve süneklilikte büyük artışlar tespit edilmiştir [12].

Kachlakev and McCurry (2000), trafikte artış olması sonucunda kesme dayanımı istenen düzeyde gerçekleşmeyen bir köprünün onarımını incelemiştir. Bu çalışmada köprü üzerindeki dört kiriş temel alarak, 1:1 ölçülerinde laboratuvar ortamında kopyaları üretilmiştir. Alınan numuneler üzerinde; eğilme kapasitesinin arttırmak için CFRP, kesme hasarını azaltmak için ise GFRP sargılama işlemi uygulanmıştır. Çıkan sonuçlara göre FRP ile güçlendirilen kiriş numunelerinin yükleme kapasitelerinde %150 düzeyinde artış olduğu söylemişlerdir. Tek başına GFRP'nin uygulandığı kirişlerde ise etriye kullanılmamıştır. Bununla beraber kirişte çekme kopmasının meydana gelmesine kadar sehim oranının güvenli bir şekilde %100 arttığını söylemişlerdir [13].

Almusallam ve Al-Salloum (2007), betonarme çerçeve ile çevrili donatısız dolgu duvarların, sismik ve tekrarlı yükler altında güçlendirilmesinde FRP kullanımının uygunluğunun ve yeterliliğinin test ettikleri çalışmalarında GFRP sargı kullanmışlardır. Deney sonucunda güçlendirme malzemesi olarak GFRP'nin kullanıldığı dolgu duvarlarda, deformasyon kapasitesinin arttığı ve dolgu duvarın tek parçaymış gibi

hareket ettiği gözlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak GFRP'nin dayanım ve düktiliteyi önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiş olup, güçlendirilmemiş kontrol numunelerine göre deformasyon kapasitesi, üç katına çıktığı söylenebilir [14].

Alkhrdaji ve Nanni (1999), yaptıkları çalışmada, betonarme köprü ayaklarının eğilme kapasitesinin artırılması için CFRP sargı ve donatı uygulamasını araştırmışlardır ve bu yöntemlerin eğilme dayanımı arttırmada etkili olduğunu tespit etmişlerdir. [15].

Yau ve Sheikh (2002), cam fiber sargılı betonarme kolon numunelerine farklı eksenel yükler uygulamışlardır. Numunelerdeki şekil değiştirmelerin artan yüklerle birlikte arttığı, bu artışın karşılanması için, fiber polimer miktarının artırılması gerektiğini görmüşlerdir. Etriye aralığı ve etriye oranındaki artışların kolondaki sünekliliği arttırdığı ve boyuna donatının burkulmasını geciktirdiği gözlemişlerdir. Bunun yanı sıra fiber polimer miktarının azaltılmasının daha yüksek mukavemet özelliklerine sahip fiber polimerlerin kullanılmasıyla olabildiğini tespit etmişlerdir [16].

Perrone ve ark. (2009), tersinir tekrarlanan yatay yükler ve sabit eksenel yük altında düşük dayanımlı betonarme kolonların CFRP sargılama ve CFRP şerit plaka kullanımı ile güçlendirilmesi sonucu eğilme ve enerji yutma kapasitesindeki değişimi incelemişlerdir. [17].

D. Hu ve M. Barbato (2014), yaptıkları çalışmada yalnız eksenel yüke, hem eksenel yüke hem de yatay kuvvete maruz kalan FRP sargılı dairesel kolonların nihai yük taşıma kapasitesini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Alınan Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar literatürlerden elde edilmiş sonuçlarla kıyaslanmıştır [18].

A.F. Ashour (2006), yaptığı çalışmada cam elyaf donatılı 12 adet betonarme kirişi dört noktali eğilmesini incelemiştir. Çalışmada kirişlerde kesme donatısı ve basınç donatısı kullanmış olup kirişler beton basınç dayanımına göre iki gruba ayrılmıştır. Kiriş derinliği ve cam elyaf donatı oranı esas parametreler olarak belirlenmiş olup testlerde eğilme ve kesme göçme modları tespit etmiştir [19].

Qing-Sheng Yang ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan FRP plaka ile sarılmış bir kolonun analitik modelini

oluşturmuş ve yüzeyler arası gerilmeler üzerinde incelemeler yapmışlardır. FRP plaka ve beton malzemeler elastik modellenmiş bunu yanında FRP plakalar ile beton arasında tam aderans kabulü yapılmıştır. Çalışmada kullanılan farklı tipte FRP plakalar için FRP elastisite modülünün beton elastisite modülüne oranları parametre olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak, bu oranın ve FRP kalınlığının artması yüzeyler arası kesme gerilmesinde önemli derecede artış meydana getirdiği tespit edilmiştir [20].

Mirmiran A. ve Shahawy M. (1996) çalışmalarında, FRP –Betonarme kompozit olarak üretilen numuneleri incelemişlerdir. Çalışmada, Çelik tüplerin yerine kullanılan FRP borular, çelik tüpe benzer olarak beton için bir kalıp oluşturmuştur. Biçimini sağlamakla birlikte yüksek dayanım ve süneklik de sağlamışlardır. Sonuç olarak, sargılı betonarme kolonlar için yeni bir pasif sınırlama modeli ve dıştaki sargının yatay rijitlik üzerindeki etkisini belirlemek için yeni bir model geliştirilmiştir [21].

Lim J. C. ve Özbakkaloğlu T. (2014) 30 adet FRP sargılı ve 30 adet sargısız beton numunesini eksenel basınç altında incelemişlerdir. Bu numunelerin mekanik özelliklerinde silis dumanı oranlarındaki değişim belirleyici olurken, su-çimento oranların değişmediği kabul edilmiştir. Numuneler farklı beton sınıflarında üretilmiş olup, yapılan deneyler sonucunda; silis dumanı miktarındaki artışın mukavemet artışında etkili olmadığı ancak eksenel şekil değiştirmede artışa neden olduğu görülmüştür [22].

Güler S. (2014) yaptığı çalışmada, CFRP, AFRP ve GFRP sargılı ultra yüksek performanslı 100x200 mm ölçülerinde, 36 adet silindirik beton numunesi ve 6 adet silindirik referans beton numunesi olmak üzere toplam 42 adet numuneye eksenel basınç testi incelemesi yapmıştır. Alınan sonuçlara göre dayanım açısından en iyi davranış sargı sayısı fazla olan CFRP sargılı beton numunelerde görmüştür. Düktilite açısından GFRP sargılı betonlar diğer sargılı beton numunelerine kıyasla daha iyi davranış gösterdiğini tespit etmiştir [23].

Aydın F. ve Sarıbiyık M. (2011) yaptıkları çalışmada yüksek basınç dayanımlı beton ile dolu GFRP kutu profilleri kür özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda hibrit olarak kullanılan betona kür yapılması ile yapılmaması durumu arasında az miktarda dayanım kaybı oluştuğunu tespit etmişlerdir. [24].

Lou ve Xiang (2010) kesit içerisinde GFRP ve çelik donatı içeren 12 adet hibrit betonarme kirişi deneysel olarak yüklemeye tabi tutulmuş ve eğilme etkisi altındaki davranışını ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bu deneyde hibrit betonarme kirişlerin FRP donatılı betonarme kirişlere göre daha sünek bir davranış gösterdiğini gözlemişlerdir. FRP donatılı betonarme kirişe çelik donatı eklenmesiyle birlikte hibrit betonarme kirişlerin sünekliğinin önemli derecede arttığı sonucuna varmışlardır [25].

Qu ve ark. (2009) çalışmalarında hibrit GFRP-çelik donatı içeren betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. Bununla beraber hibrit kirişlerin yük-deplasman ilişkilerini ve taşıma gücü değerlerini elde etmek için teorik bir model geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, geliştirdikleri yöntemle elde ettikleri deplasman ve taşıma gücü değerlerini deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve oldukça uyumlu söylemişlerdir [26].

Sarıbıyık A. (2017) FRP sargılı betonlarda elyaf türü ve sargı sayısının beton davranışına etkileri araştırılmıştır. Beton basınç dayanımı ortalama 30,25 MPa olarak alınmıştır. Sargılı betonda dayanım ve deformasyon değerinin sargı kat sayısı arttıkça arttığı görülmüştür. Ayrıca sargının hibrit olarak kullanılmasının tek tür sargı ile güçlendirmeye göre daha etkili olduğu söylenmiştir. [27].

W. C. Oreta ve J. M. C. Ongpeng (2011) yaptıkları deneyde 20,82 basınç dayanımına sahip betonları CFRP ve GFRP kompozitler ile farklı katmanlarda sararak güçlendirmiş ve tekrarlı ve tekdüze yükleme altında testler yapmışlardır. Güçlendirilmiş betonlar tekrarlı ve tekdüze yükleme durumunda aynı performansı sergilemiş olup, bir kat CFRP ile güçlendirilen betonların dayanımına iki kat GFRP ile güçlendirilerek erişmişlerdir. Karbona göre cam elyaf kullanımı ile daha ekonomik güçlendirme sonuçları ortaya koymuşlardır [28].

Mohsin R. D. (2018) çalışmasında, çelik elyaf, cam elyaf, polivinyl alkol elyaf, polypropylene elyaf veya nano monofilament katkılı ve hacim fraksiyonunun (0.5, 1.0 ve 2%) olduğu elyafli betonun mukavemet ve kırılma enerjisine etkisi araştırmıştır. Otuz altı prizmatik ve buna beraber standart silindirler imal edilerek karşılaştırmalar yapmıştır. Alınan sonuçlara göre, farklı elyaf türleri arasında, mekanik özelliklerde en yüksek iyileşme, basınç ve çekme mukavemetinin % 24 ve % 107 oranında iyileştiği

1% çelik elyaf katkısı ile üretilen betonda görülmüştür. Bunlara bakıldığında, hibrit elyaflar arasında, normal beton ile karşılaştırıldığında basınç mukavemetinde %33, çekme mukavemetinde %137 lik en yüksek değerleri betona 1% çelik elyaf ve 1% polyvinyl alkol elyaf eklendiğinde olduğunu bulmuştur. Çekme mukavemetinde iyileşme olmasına rağmen (16% lik) **cam elyafın 1%** kullanmıştır. Kırılma enerjisi ve basınç dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını tespit etmiştir [29].

Yarimoğlu M. (2018) yaptığı çalışmada, (GFRP) profillerle çelik donatının birlikte kullanılması ile elde edilen hibrit kirişlerde eğilme dayanımını incelemiştir. İçerisi beton dolu numunelerin boş numunelere göre hem dayanım hem de sünekliğini arttırdığını tespit etmiştir. [30].

Deskoviç ve ark. (1995) bu çalışmada karbon elyaf takviyeli plastik laminat (CFRP) ile bir cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) kutu kirişlerden oluşan hibrit elemanın mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuçlara göre, FRP elemanlardan oluşan hibrit yapı betonun dayanım, süneklik ve maliyet gibi özelliklerinin daha avantajlı olduğunu tespit etmişler ve hibrit yapı elemanlarının kullanılmasını önermişlerdir [31].

Mirmian ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada beton ve elyaf takviyeli polimer hibrit yapılar üzerinde basınç ve eğilme testleri yapmışlardır, beton ve elyaf takviyeli plastiklere sahip hibrit yapıların (FRP), sünek özelliklere, yüksek sertlik ve mukavemete sahip verimli sistemler olarak kabul etmişlerdir. Ayrıca yapılan deneyler neticesinde kesme mukavemetlerinin de yüksek olduğu görmüşlerdir. [32].

Ribeiro ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada GFRP ile sıkıştırılmış hibrit kirişler üzerinde deneysel araştırma yapmışlardır. Deneysel sonuçları tahmin etmek için sonlu elemanlar metodu ile uygulanan bir model geliştirmişlerdir. Hibrit yapının eğilme davranışı incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre hibrit kirişlerin dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. [33].

Hulatt ve ark. (2003) çalışmada, T profil kirişin alt kısmında CFRP üst kısmında ise GRFP malzemelerin kullanarak hibrit yapı betonun dayanımını incelemiştir. Sonuçlara bakıldığında hibrit kiriş üzerinde yapılan deneysel çalışmada betonda rijitlik

azalmasının olduğunu görmüşlerdir. FRP kompozitlerde olumsuz bir etkinin olmadığı söylemişlerdir [34].

Fam ve ark. (2003) yaptıkları araştırmada, GFRP profil elemanların bir kısmını tam bir kısmını ise az miktarda beton ile doldurularak hibrit malzemenin aksel basınç kuvveti ve eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre hibrit kirişlerin bir kısmının yada tamamının beton ile dolu olması rijitliğe çok fazla etki etmemiş olup eğilme dayanımının ise düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. İçerisi tamamen dolu olan kirişlerde çekme bölgesinde kırılmalar olduğu bir kısmı beton dolu olan kirişlerde ise betonların kenarlarında kısmi kırılmaların olduğunu incelemişlerdir [35].

Wenlxiao ve Zhishen (2004) hibrit FRP beton kiriş malzemelerde eğilme testi yaparak alınan verileri incelemişlerdir. Hibrit kirişin çekme bölgesine donatılar yerleştirilerek dikdörtgen kesitte 150-200 mm kenar uzunluklarında malzemeler kullanmışlardır. Cam fiber ve karbon fiber malzemeleri ise FRP malzemeler olarak seçmişlerdir. Hibrit kiriş yapılar için rijitliğin geliştirilmesinin sonuçları olumlu etkileyeceği kanaatine varmışlardır [36].

Tianhong ve ark. (2006) I kesitli (FRP) profiller ve E şekilli (FRP) profiller üzerinde çalışma yapmışlardır. Oluşan hibrit kirişin kalıp malzemesi olarak kullanılabiliceini görmüşlerdir. E şeklindeki profiller, inşaatı daha elverişli kılan kalıcı kalıplar olarak işlev görür. Üç FRP-beton hibrit kiriş ve bir saf FRP ışıını test edildi.

Altta beton derinliği ve CFRP (karbon elyafı ile güçlendirilmiş polimer) tabakaların takviyesinde etkilenen performans karşılaştırılmasında incelenmiştir.

Testlerde, I şekilli profillerin ağındaki kayma çatlama arızası, incelenen ana arıza modudur. I kesitli FRP profil malzeme kullanarak betonla birlikte hibrit malzeme üzerinde bir çalışma yapmışlardır. FRP profillerin kalıp görevi görmesi sistemi avantajı hale getirmişler. Hibrit kirişte kullanılan CFRP ve GFRP malzemenin rijitliğini artırdığını tespit etmişlerdir. [37].

Correia ve ark. (2009) bu çalışmada, çok açıklıklı GFRP beton hibrit kirişlerin eğilme davranışı ile ilgili deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. GFRP profillerle

desteklenmiş hibrit malzemelerin beton elemanlara uygulanabilirliğini ve teknik avantajlarını göstermiştir. Bu çalışmanın amacı, GFRP beton hibrit malzemenin eğilme davranışını incelemektir. Deneysel sonuçlarda hibrit elemanın yüksek dayanım ve rijitliği sayesinde yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmasının uygun olacağını söylemişlerdir. Sehim davranışları ve kopma dayanımları incelendiğinde sonuçların olumlu olduğunu söylemişlerdir [38].

Aydın F. (2010) bu çalışmada, cam fiber takviyeli polimer (GFRP) kompozit ve beton ile oluşturulan hibrit yapının mekanik özelliklerini incelemiştir. Yüksek basınç dayanımına sahip olan beton ile yüksek çekme özelliğine sahip cam fiber takviyeli polimer (GFRP) malzeme ile oluşan hibrit yapıyı incelemiştir.

[39].

El Refai ve ark. (2015) araştırmada, 3 tanesi GFRP, 3 tanesi çelik ve GFRP eğilme donatıları ile donatılmış olan 6 adet kirişi eğilme altında deneysel olarak inceleme yapmışlardır. Denge üstü donatılı hibrit kirişler, GFRP donatılı olanlardan daha yüksek dayanım ve süneklik gösterdiği tespit etmişlerdir. Yüksek efektif donatı oranına sahip hibrit kirişlerin deplasmanları CSA S806-12 denklemiyle doğru olduğunu söylemişlerdir. Hibrit donatılı kirişlerin deforme olabilir, modifiye edilmiş deforme olabilirlik faktöründen faydalanılarak değerlendirilmişlerdir [40].

Yinghao ve Yong (2013) bu çalışmada, yüksek dayanımlı betonlu cam elyaf ve çelik donatılı hibrit kirişlerin eğilme davranışını araştırmışlardır. Donatı katmanlarının düzenlenmesinin etkisini doğrulamak ve hibrit donatılarla beton yapıların tasarımını desteklemek suretiyle hibrit kirişlerin eğilme dayanımı, yük deplasman ve çatlak davranışları deneysel olarak araştırmışlardır. Bir tanesi kontrol olarak dört kiriş üzerinde test etmişlerdir. Donatı tabakalarının düzenlenmesi başlıca parametreler olarak söylemişlerdir. En büyük yük kapasitesi ve kırılma modları tahmininde teorik modeller önermişlerdir [41].

Yoo ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, ultra yüksek performanslı hibrit düz çelik lif katkılı betonların eğilme davranışını incelemiştir. 13 mm, 19.5 mm ve 30 mm boylarında üç farklı çelik lif denemeleri yapmışlardır. Deneme sonuçlarına bakılarak

uzun ve orta boy liflerin birlikte kullanılmasının çatlak sonrası dayanım, deformasyon kapasitesi, tokluk ve çatlak davranışını etkili olarak geliştirdiğini, bunun yanında uzun ve kısa liflerin hibrit kullanımının performansı azalttığını belirlemiştir [42].

Kassem ve ark. (2011) karbon, cam ve aramid lif takviyeli polimer (CFRP, GFRP, AFRP) donatılı 24 adet betonarme kirişi deneysel olarak yüklemeye tabi tutmuşlardır. Bu kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını ayrıntılı bir şekilde irdelemiştir. Bu araştırma sonucunda deneysel olarak yüklemeye tabi tutulan tüm kirişlerin betonun ezilme birim kılmasına erişince taşıma gücüne ulaştığını tespit etmişlerdir [43].

Denvid Lau ve Hoat Joen Pam (2010) çalışmada çelik donatılı, tamamı FRP donatılı ve her iki donatının kullanılmasıyla elde edilmiş toplam 12 adet kiriş üzerinde deney yapılmıştır. Hibrit kirişlerin, tamamı FRP donatılı kirişlere göre davranışının daha sünek olduğunu tespit etmişlerdir. Bunu yanında tamamı FRP donatılı kirişlerden denge üstü donatılı olanların daha sünek davranış gösterdikleri belirtilmiştir [44].

Cullazoğlu (2014), farklı tipte FRP donatılı kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını bilgisayar programı aracılığı ile analiz denemesi yapmıştır. Bunun yanında hibrit FRP-çelik donatılı kirişlerin eğilme etkisi altındaki analizleri yapmıştır. Hibrit kirişlerdeki donatı oranının ve FRP donatısı tipinin kirişlerin davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonucuna göre, hibrit donatılı kirişlerin FRP donatılı kirişlerle karşılaştırıldığında sünekliğin ve rijitliğin hibrit donatılı kirişlerde daha fazla olduğunu söylemiştir [45].

C. Barris ve ark. (2009), çalışmada FRP donatıların betonarme elemanlarda kullanımının çelik donatının korozyonuna alternatif olarak kullanmışlardır. Bununla beraber yüksek elastisite modülüne sahip cam elyaf donatılarla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada donatı ve etkili derinlik-yükseklik oranları değişken olarak kullanmışlardır. Bu parametrelerin kirişlerin kısa zaman eğilme davranışı üzerine etkisi araştırmışlardır. Yönetmelik formülasyonları ve diğer tahmin modelleri servis ve nihai limit durumları incelenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, kirişlerde servis yüküne kadar davranışın iyi uyum gösterdiğini ancak yük taşıma kapasitesi tahminlerinin deneysel sonuçlardan daha düşük çıktığını görmüşlerdir. [46].

Nakano ve ark. (1993), çalışmada aramid fiberli, karbon fiberli ve nervürlü çelik donatılar kullanılarak test yapmışlardır. Donatı oranının ve donatı elastisite modülünün artmasıyla ilk çatlak sonrası eğilme rijitliğinin arttığı belirtmişlerdir. [47].

R.A. Hawileh (2015), çalışmada çelik ve AFRP donatılı altı hibrit kirişin yük-sehim davranışlarını karşılaştırmak için sonlu eleman modellerini oluşturmuştur. Aynı zamanda AFRP donatı çapının, FRP malzeme tipinin beton basınç dayanımının, aderans dayanımının etkisini analitik tespit etmek için 15 model daha oluşturmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında yük-sehim grafikleri arasında iyi bir uyum olduğunu tespit etmiştir. Sonlu eleman modellerindeki beton ile donatı arasındaki aderans dayanımının deneysel çalışmadan elde edilmiş aderans dayanımından daha iyi olduğu söylemiştir. AFRP donatı çapının artmasıyla yük taşıma kapasitesinin arttığı fakat süneklikte azalma olduğunu söylemiştir. CFRP donatı ve çelik donatının birlikte kullanıldığı zaman kirişlerin diğer kirişlere göre daha yüksek performans gösterdiğini söylemiştir. Beton basınç dayanımının hibrit kiriş performansına az da olsa katkısının olduğunu söylemiştir [48].

Aiello ve Ombres (2002), çalışmada AFRP ve çelik donatı kullanarak oluşturdukları hibrit kirişlerin eğilme performansını incelemişlerdir. Parametre olarak donatı yerleşimi ve donatı oranı seçmiş olup hedeflenen dayanıma ve sünekliğe ulaşmışlardır. Hibrit kirişlerde çatlak genişliğinin ve derinliğinin FRP donatılı kirişlerdekilere oranla daha düşük olduğunu söylemişlerdir [49].

Ten J. G. ve Hu Y. M. (2007) denemede FRP sargılı boşluklu çelik boruları incelemişlerdir. Mukavemet ve sünekliği artırmak için betonarme kolonlarla yaygın olarak kullanılan sargılamayı, çelik borularda incelemek için ise çelik borularda eksenel basınç testleri yapılmışlardır. Yapılan bu deneyler sonlu elemanlarla modellemişlerdir. Bu deneyler sonucunda hem deneysel hem de analitik sonuçlar, FRP sargının dairesel içi boş boruların güçlendirilmesi ve takviye edilmesi için çok faydalı bir teknik olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla beraber FRP sargılı altı silindirin alt kısımları için sonlu eleman sonuçları FRP sargılama işleminin, ayakların tabana yakın kısmındaki çökmeleri engellemek veya azaltmak için etkili bir metot olduğunu söylemişlerdir [50].

Ritchie P. ve ark. (1991) çalışmada, FRP sargı ile dıştan güçlendirilmiş 16 adet kiriş üzerinde test yapmışlardır. İnce tabakalı, cam, karbon ve aramid elyaflar iki parçalı bir epoksi kullanılarak kirişlerin çekme yüzeylerine yapıştırmışlardır. FRP plaka ile güçlendirilmiş kirişlerin rijitliklerinde %17 - %19 artış olurken, yük taşıma kapasitelerinde %40 - %97 artış olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sırasında genellikle FRP plakalar ile kaplanmış kirişlerin uç bölgelerinde deformasyonlar olduğunu görmüşlerdir. FRP plakalar ile kaplanmış kirişlerin rijitliklerini ve maksimum kuvvetini tahmin etmek için tekrarlanan analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Maksimum moment bölgesinde başarısız olan kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitelerinin tahmin edilen değer ile %5'lik bir fark gösterdiği tespit etmişlerdir [51].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yozgat Bozok Üniversitesi Yapı Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerde hibrit sargılı betonların aksenal basınç altındaki dayanımları araştırılmıştır. Araştırmada beton sınıfı sabit olurken kumaş türü ve kumaş tabaka sayısı değişken olarak seçilmiştir.

4.1. Deney Malzemeleri

Deneyisel çalışmada kullanılan ana malzemelerden biri olan silindirik beton numuneler Hazır beton santralinde üretilmiştir. Hybrid sargıda her bir katmanı oluşturmak için kullanılacak birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip elyaf kumaşlar, Aramid, Cam, Karbon ve Twill Cam olarak temin edilmiştir.

4.1.1. Aramid Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (AFRP)

Aramid fiber takviyeli polimer kumaş birim ağırlığı 360 gr/m^2 olan sarı renkli elyaf veya dupont olarak bilinir. Özellikle yangına dayanıklı giyim ve aksesuarlarda özellikle de çarpma dayanımı yüksek olduğundan balistik amaçlı zırhlı giysilerde kullanılmaktadır.



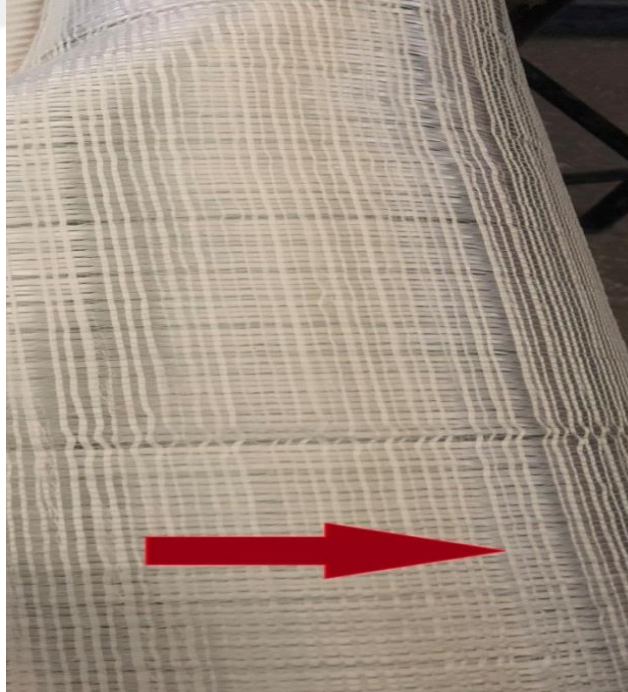
Şekil 4.1. Aramid Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (AFRP)

Tablo 4.1. Aramid Kumaşın Özellikleri

Özellikler	Aramid fiber takviyeli polimer
Fiber Tipi	Yüksek dayanımlı aramid fiberleri
Fiber doğrultusu	Dokuma, ipliklerin gevşemesini önleyen özel örgü lifleriyle donatılmıştır.
En (cm)	60 cm
Boy (cm)	25 m
Ağırlığı (gr/m ²)	430 gr/m ²
Çekme Kopma Sınırı (Mpa)	3300-4500 Mpa
Kopma Uzaması	0,048

4.1.2. Düz Cam Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (GFRP)

Ağırlığı 200 gr/m² olan Düz Cam Fiber Takviyeli Polimer kumaş hafif olması ve yüksek çekme dayanımından ötürü deniz araçları ve havacılık sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 4.2. Düz Cam Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (GFRP)

4.1.3. Twill Cam fiber takviyeli polimer kumaş (GFRP)

Twill Cam Fiber Takviyeli Polimer kumaş olarak 300 gr/m² olan elyaf kumaş kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Twill Cam fiber takviyeli polimer kumaş (GFRP)

Tablo 4. 2. Cam Elyaf Kumaşın Özellikleri

Lif Tipi	Cam
Lif Dayanımı	3800 Mpa
Elastisite Modülü	230 N/mm ²
Alan Ağırlığı	200-300 gr/m ²
Elyaf Kalınlığı	0,166
Stil	Örgülü UD

4.1.4. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (CFRP)

Karbon fiber takviyeli polimer kumaş olarak, birim ağırlığı 300 gr / m² olan tek yönlü karbon elyaf kullanılmıştır. Karbon elyaf hafif ve dayanımının yüksek olmasından dolayı başlıca betonarme yapıların güçlendirilmesinde, uçak, roket, uydularda ve yarış arabalarının iskeletlerinde kullanılan ve ithal olması nedeniyle pahalı olan bir malzemedir.



Şekil 4.4. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kumaş (CFRP)

Tablo 4. 3. Karbon Elyaf Kumaşın Özellikleri

Lif Tipi	Karbon
Lif Dayanımı	3900 Mpa
Lif Rijitliği	230
Alan Ağırlığı	300 gr/m ²
Elyaf Kalınlığı	0,166
Stil	Örgülü UD

4.1.5. Epoksi

Karbon, Twill, Aramid ve Cam elyafın silindir numunenin yüzeylerine yapıştırılmasında iki bileşenli Epoksi kullanılmıştır.

Tablo 4.4. Epoksi Teknik Özellikleri [55]

Genel Bilgiler	
Renk	Gri(karışım)
Karışım yoğunluğu	1,65 kg/litre
Karışım oranı	1 birim A bileşeni: 1 birim B bileşeni(ağırlıkça)
Ambalaj	5 kg set
Uygulama bilgileri	
Sarfiyat	1 m ² plaka yapıştırmak için 3-4 kg
Raf ömrü	Açılmamış orijinal ambalajında 12 ay
Kap ömrü	30 dk (20 °C)
Temizlenebilme süresi	45 dk (20 °C)
Yeniden kaplanabilme süresi	2-7 gün
Tam mukavemet	7 gün
Performans bilgileri	
Yapışma (çeliğe ve betona)	> 4 N/ mm ²
Eğilmeye çekme dayanımı (TS EN 196-1)	>25 N/ mm ²
Basınç dayanımı (TS EN 196-1)	>90 N/ mm ²



Şekil 4.5. Tekno Epoksi Yapıştırıcı

4.1.6. Beton

C25 beton sınıfına ait 36 adet silindir beton numunesi hazır beton santralinden temin edilmiştir. Hazır betonu oluşturan bileşenler agrega, çimento, su ve katkı karışım tasarımına göre oluşturulmuştur.

4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Yapmış olduğumuz bu çalışmada C 25 Beton sınıfından 150x300 mm ölçülerinde 36 adet hibrit sargılı silindir beton numunesi Yozgat Bozok Üniversitesi Yapı Malzemeleri laboratuvarında hazırlanmıştır.

4.2.1. Beton Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmada kullanılacak silindir numuneler 150x300mm ölçülerinde boş silindir kaplara doldurulan C25 sınıfına ait hazır beton ile 36 adet olarak hazırlanmıştır. Numuneler içlerindeki hava boşluklarını azaltmak amacıyla silindir kaplara 3 defada ve her defasında 25 kez şişlenerek doldurulmuş daha sonra sarsma tablasında sarsılmıştır.



Şekil 4.6. Boş silindirler



Şekil 4.7. C25 Hazır Beton Doldurulmuş Silindirler

Numuneler hazırlandıktan sonra 1 gün kurumaya bırakılmış ve daha sonra 28 gün kür havuzunda bekletilerek prizini alması sağlanmıştır.



Şekil 4.8. Kür Havuzunda Bekletilen Numuneler

Prizini tamamlayan numuneler Yozgat Bozok Üniversitesi Yapı ve Malzeme Laboratuvarına getirilerek numuneye preste basınç altında kalacak numuneye yükün üniform dağılabilmesi için başlık yapılmıştır. Başlık işlemleri tamamlanan numunelerin yüzeyleri zımpara makinesi ile hafifçe zımparalanıp hafif nemli bir bezle silinerek sargıya hazır hale getirilmiştir.



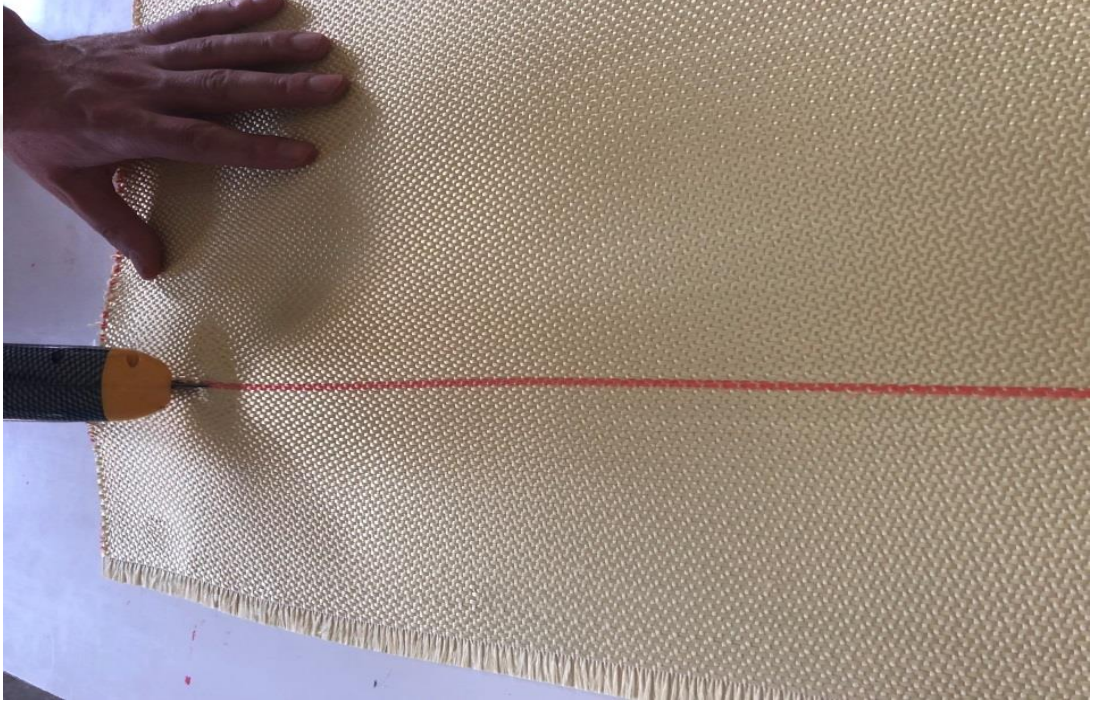
Şekil 4 9. Numunelerin Başlıklanması



Şekil 4.10. Numunelerin Zımparalanması

4.2.2. Fiber Takviyeli Polimer Kumaşların Hazırlanması

Beton numuneleri kuruma ve prizi alma aşamasını tamamlarken numunelerin sargı işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan Aramid, Cam, Karbon ve Twill Cam fiber takviyeli polimer kumaşlar 300x150mm ölçülerinde silindirin hacmi ve 130 mm bindirme boyu göz önüne alınarak Kevlar makası yardımıyla 300x600mm ölçülerinde kesilerek hazır hale getirildi. Bindirme boyu seçiminde literatür etkili oldu.



Şekil 4.11. Aramid Kumaşın Kesilmesi

3 adet referans, 3 adet iki kat aramid + bir kat karbon + iki kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet iki kat düz cam + bir kat karbon + iki kat düz cam fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet iki kat twill cam + bir kat karbon + iki kat twill cam fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat aramid + bir kat karbon + bir kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat düz cam + bir kat karbon + bir kat düz cam fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat karbon fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat karbon + bir kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat karbon + bir kat düz cam fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat karbon + bir kat twill cam fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat karbon + bir kat twill cam + bir kat aramid fiber takviyeli polimer kumaş, 3 adet bir kat twill cam + bir kat karbon + bir

kat twill cam fiber takviyeli polimer kumaş sarılarak güçlendirilen numunelerin basınç dayanımları ve deformasyonları incelenmiştir. Kumaş türü ve sargı sayısına bağlı değişkenler karşılaştırılmıştır



Şekil 4.12. Twill Cam Kumaşın Kesilmesi



Şekil 4.13. Karbon Kumaşın Kesilmesi



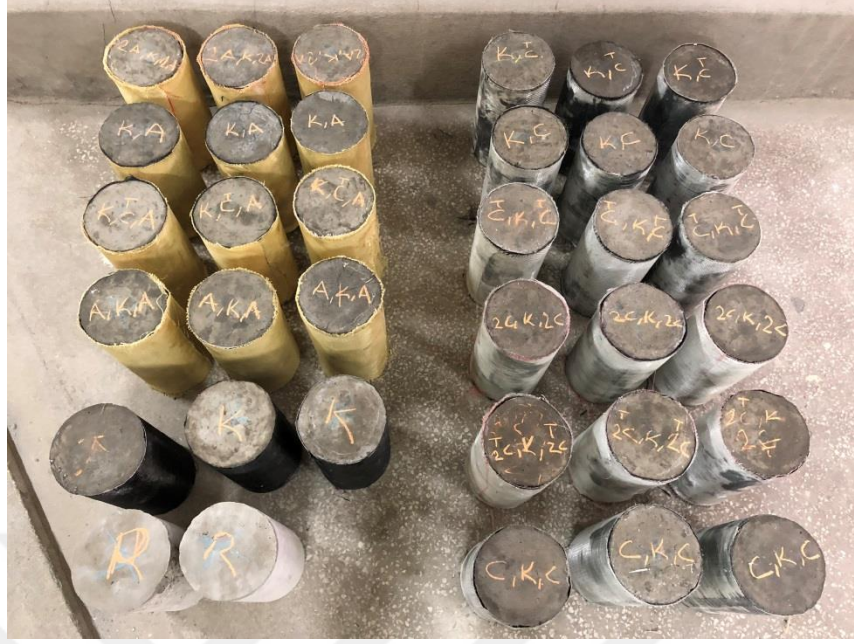
Şekil 4.14. Cam Kumaşın Kesilmesi

4.2.3. Elyaf kumaşların Numunelere Sarılması

28 günün ardından kür havuzundan çıkarılan numunelerin kuruması için oda sıcaklığında bir müddet bekletildi. Sonrasında kurumaya bırakılan numunelerin uç kısmının düzgün, pürüzsüz olması ve aynı zamanda pres makinesinin uç kısmının parçaya dengeli yük basması için çimento ve kum karışımından başlıklar yapılmıştır.



Şekil 4.15. Elyaf kumaşların Numunelere Sarılması



Şekil 4.16. Numunelerin Toplu Görünümü

Kurumuş, pürüzlülüğü giderilmiş ve başlığı takılmış numunelerin yapıştırılma işlemi için Epoksi reçine yüksek mukavemetli, suya dayanıklı solventsiz yapıştırıcı standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. İki bileşenli, solventsiz, tiksotropik özellikli, epoksi esaslı doyumma reçinesi ve yapıştırıcısıdır. FRP kumaşların beton yüzeye yapıştırılarak uygulanmasında kullanılır. Yapıştırıcı olan Epoksi ve priz süresini hızlandıran sertleştirici bulunmaktadır. Karışım kullanma kılavuzunda belirtildiği üzere devri az olan matkapla karıştırılarak yapılmıştır.

Karışımı tamamlanan epoksi yapıştırıcısı erken reaksiyona girdiği için 1150gr/3850 gr oranı göz önüne alınarak 3 numune yapıştırma miktarı kadar hazırlanmıştır.

Hazırlanan epoksi; numune yüzeyinin zımparalanıp, hafif nemli bir bez ile silindikten sonra yüzeyine boyacı rulosu ve spaltula yardımıyla sürülmüştür. Daha sonrasında hazırlanan kumaşlar numune yüzeyine hava boşluğu kalmayacak şekilde yapıştırılmıştır.



Şekil 4.17. Numune Sarım İşlemi



Şekil 4.18. Sarımı Tamamlanmış Numuneler

4.3. DeneYlerin Yapılması

DeneYler Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında gerçekteştirildi.

4.3.1. Numune Üretimi DeneY Düzeneği

Hazırlanan numuneler yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan pres makinesine bağlantı işlemleri yapılmıştır. Robutest programı yardımı ile numunenin basınca karşı dayanımı, yanal ve düşey deformasyonu ölçülmüştür.



Şekil 4.19. Numune Üretimi DeneY Düzeneği

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Farklı mekanik özelliklere sahip elyafların mekanik özellikleri birbirinden farklı en az iki tanesi kullanılarak oluşturulan hibrit kompozit sargılı betonların aksel basınç altındaki davranışını belirlemek için Yozgat Bozok Üniversitesi yapı mekaniği laboratuvarında yapılan deneylerin sonuçları bu bölümde verilmektedir. Deneysel çalışmada 500 t yük kapasiteli hidrolik basınç pres kullanılmış ve yük – deformasyon ve buna bağlı olarak gerilme – şekil değiştirme değişimi incelenmiştir.

Sarımı ve güçlendirmesi tamamlanan numune üç aksel basınç test makinesinde sabit hız altında teste tabi tutulmuş ve kırımı gerçekleşinceye kadar bekletilmiştir. Kırılan numunelerde yüzeye sarılan kumaşlarda herhangi bir sıyırma oluşmamış, numunenin orta kısmında lifler koparak beton yüzeyinden ayrıldığı gözlemlenmiştir.

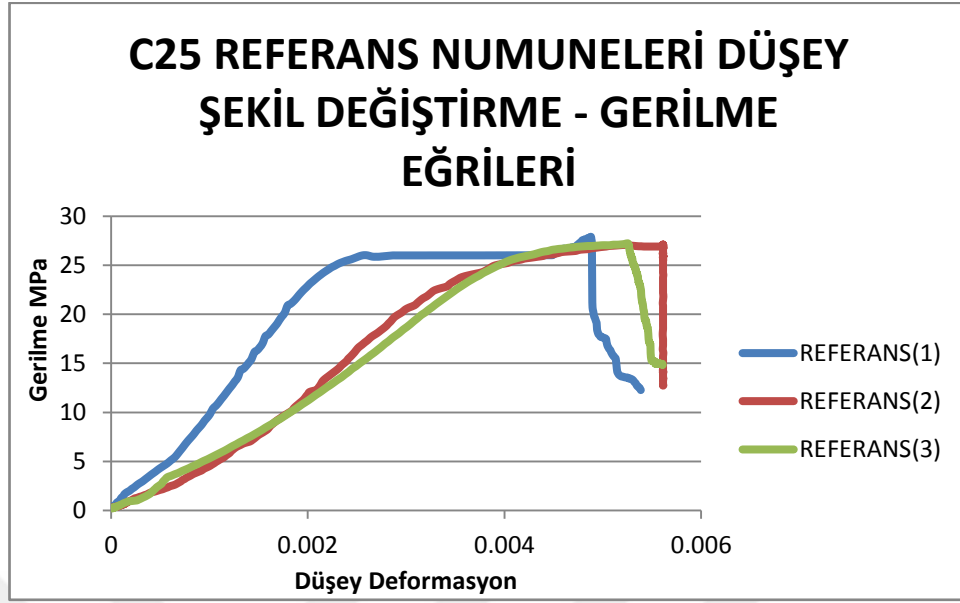
Deneyimizde, sarım çeşidine göre farklılık gösterse de genellikle aksel kuvvet arttıkça numune üst kısmı yana doğru genişleme eğilimi göstermiştir. Numune üzerinde bulunan sargı oluşabilecek yanıl defarmasyonları engellemeye çalışmıştır. Dolayısıyla sargı hem dayanımı hem de sünekliliği artırmıştır.

5.1. Referans Beton Numuneleri

C 25 sınıfına ait kontrol beton numuneleri aksel basınç değeri 500 tonluk pres makinesi ölçülmüş ve Yük deformasyon değeri elde edilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak Gerilme-Şekil grafikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.1. Referans Beton Numuneleri İçin Mekanik Özellikler

Numune Türü	Yük KN	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Yatay Deplasman (mm)	Yatay Şekil Değişirme	Gerilme (Mpa)	Nihai Gerilme Ort. (Mpa)	Ortalama Nihai Yük	Ort. Yatay Şekil Değişirme	Ort. Düşey Şekil Değişirme
C25 (1)	491.08	0.8618	0.00538625	0.411	0.00274	27.9	27.4	482.682	0.027126	0,005536875
C25 (2)	477.465	0.8985	0.00561562	2.571	0.01714	27.1				
C25 (3)	479.500	0.8974	0.00560875	9.225	0.06150	27.2				



Şekil 5.1. C25 Referans Numuneleri Ait Gerilme - Şekil Değişirme Eğrileri



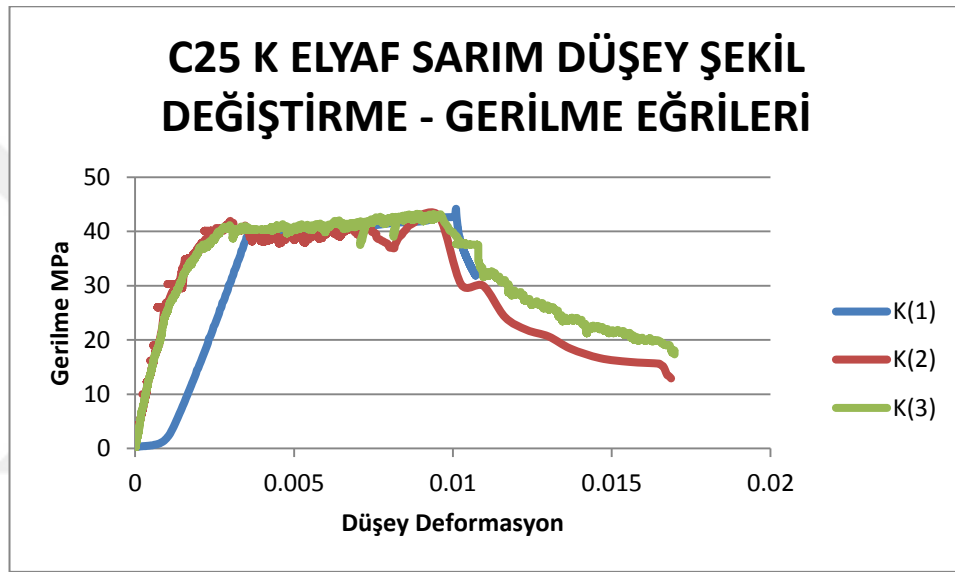
Şekil 5.2. Kontrol Beton Numunesi

5.2. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kumaş Sargılı Beton Numuneleri (K)

3 Adet C25 Beton numuneye sarılmış Karbon fiber takviyeli polimer kumaş ile hazırlanan numuneler aksenal basınç altında test edilerek yük defarmasyon değerleri ölçülmüştür. Bu değerlere bağlı olarak da Gerilme-Yatay şekil değiştirme Gerilme-Düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. K Sargılı Beton Numuneleri İçin Mekanik Özellikler

Numune Türü	Yük KN	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Yatay Deplasman (mm)	Yatay Şekil Değişirme	Gerilme (MPa)	Nihai Gerilme Ort. (MPa)	Ortalama Nihai Yük	Ort. Yatay Şekil Değişirme	Ort. Düşey Şekil Değişirme
K (1)	777.556	1.7146	0.01071625	0.010	6.6666667	44.0	43.23	763.874	3.33459	0.0148543
K (2)	752.191	2.6990	0.01686875	0.005	3.3333000	42.6				
K (3)	761.875	2.7165	0.01697812	0.584	0.0038933	43.1				



Şekil 5. 3. K Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.4. Karbon fiber takviyeli polimer kumaş sargılı beton Numuneleri (K)

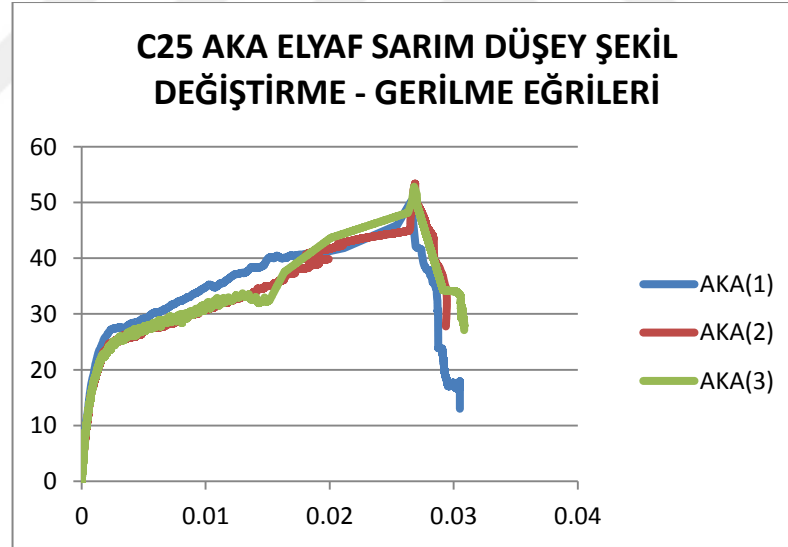
5.3. A+K+A, C+K+C, TC+K+TC Sargılı Beton Numuneleri

3'er adet C25 betona sarılı (A+K+A, C+K+C, TC+K+TC) numuneler aksenal basınç altında test edilerek Yük – Deformasyon değerleri test edilmiş, bu değerlere bağlı olarak Gerilme –Yatay şekil değiştirme Gerilme –Düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

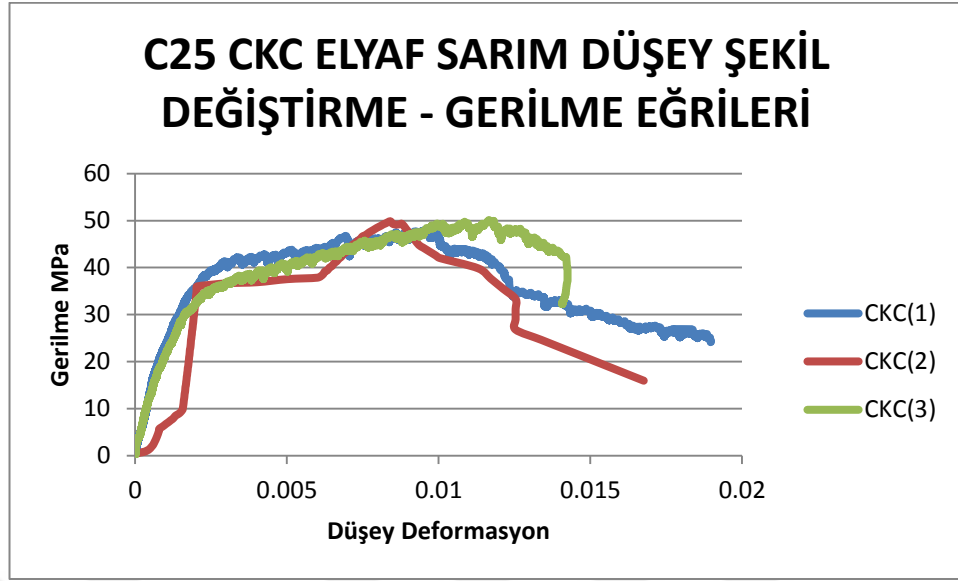
Karbon kumaşının; Aramid, Cam ve Twill Cam Kumaşları arasında olduğu durumlarda Numunenin göstermiş olduğu farklı gerilme değerleri incelendi.

Tablo 5.3. A+K+A, C+K+C, TC+K+TC Numuneleri Mekanik Özellikler

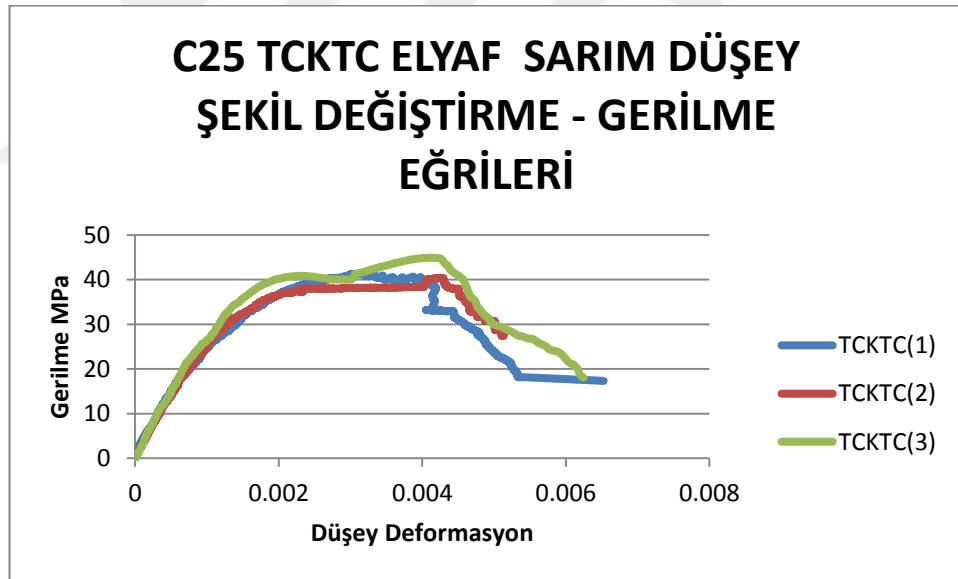
Numune Türü	Yük KN	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Yatay Deplasman (mm)	Yatay Şekil Değişirme	Gerilme	Nihai Gerilme Ort. (MPa)	Ortalama Nihai Yük	Ort. Yatay Şekil Değişirme	Ort. Düşey Şekil Değişirme
A+K+A (1)	883.644	4.8994	0.03049681	0.5233	0.00348866	50.2	52.15	917.898	0.0126087	0.0302632
A+K+A (2)	939.877	4.7120	0.02945000	0.4713	0.00314241	53.4				
A+K+A (3)	930.174	4.9348	0.03084301	0.4370	0.00291340	52.8				
C+K+C (1)	849.039	3.0350	0.01896875	0.4416	0.00294461	48.1	49.26	870.253	0.0033293	0.0166246
C+K+C (2)	879.477	2.6813	0.01675818	0.5140	0.00342666	49.8				
C+K+C (3)	882.244	2.2795	0.01424687	0.2425	0.00361680	49.9				
TC+K+TC (1)	730.054	1.0443	0.00652687	0.1350	0.00090000	41.3	42.06	743.735	0.0007680	0.0059699
TC+K+TC (2)	710.684	0.8217	0.00513600	0.0910	0.00060666	40.2				
TC+K+TC (3)	790.469	0.9995	0.00624687	0.0120	0.00080000	44.7				



Şekil 5.5. A+K+A Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.6. C+K+C Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.7. TC+K+TC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.8. A+K+A, C+K+C, TC+K+TC Sargılı Beton Numuneleri

5.4. 2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC Sargılı Beton Numuneleri

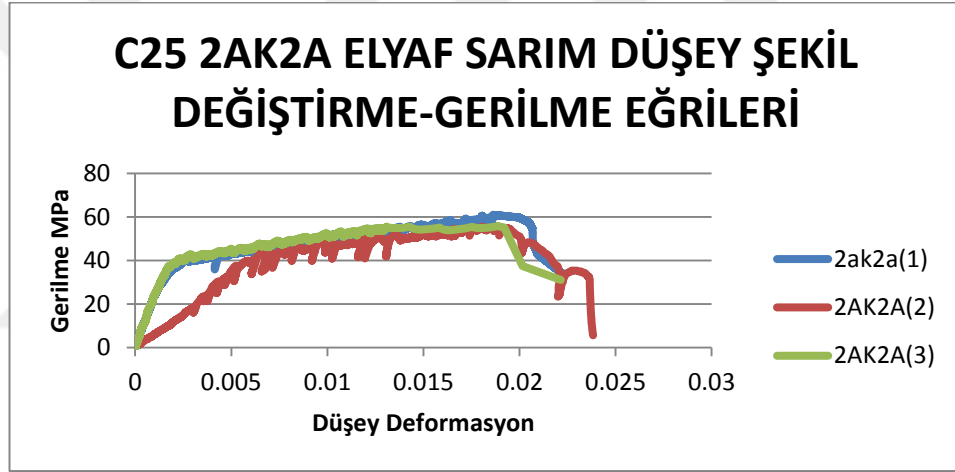
3'er adet C25 betona sarılı (2A+K+2A, 2 C+A+2C, 2TC+K+2TC) numuneleri aksel basınç altında test edilerek Yük – Deformasyon değerleri test edilmiş, bu değerlere bağlı olarak Gerilme –Yatay şekil değiştirme Gerilme –Düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Bu deneyde Karbon kumaşı 2'şer Kat Aramid, Cam ve Twill cam ile sarılarak numunede oluşan farklı Gerilme değerleri incelendi ve aynı zamanda 2 Katla Aramid, Cam ve Twill kumaşın gerilmeye olan etkisi görüldü.

Tablo 5.4. 2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC Sargılı Beton mekanik özellikleri

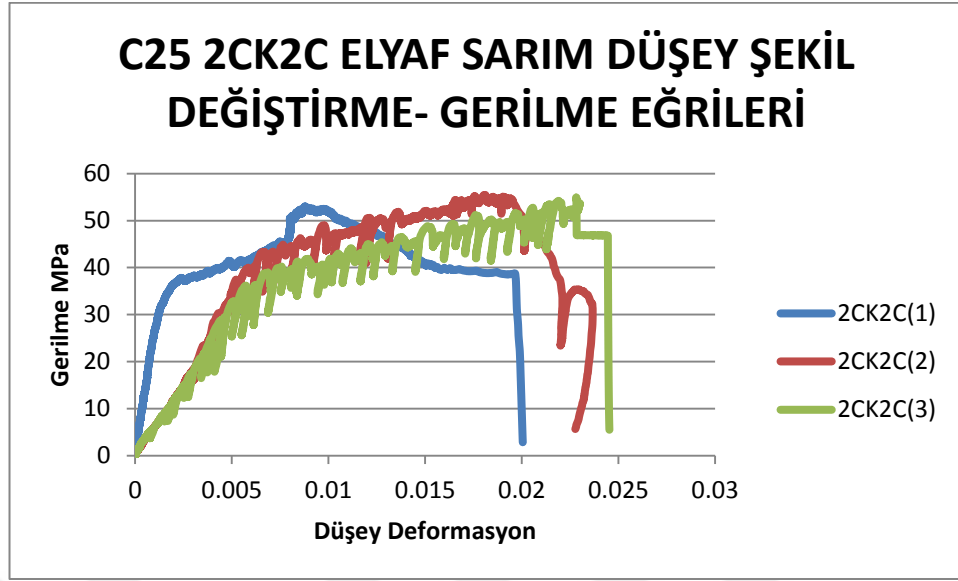
Numune Türü	Yük KN	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Yatay Deplasman (mm)	Yatay Şekil Değişirme	Gerilme	Nihai Gerilme Ort. (MPa)	Ortalama Nihai Yük	Ort. Yatay Şekil Değişirme	Ort. Düşey Şekil Değişirme
2A+K+2A (1)	1078.710	3.5764	0.0223529	2.7972	0.01864800	61.1	58.33	1030.437	0.0141115	0.0227791
2A+K+2A (2)	1029.820	3.8130	0.02383125	1.6300	0.01086667	58.3				
2A+K+2A (3)	982.782	3.5445	0.02215312	1.9230	0.01282000	55.6				
2C+K+2C (1)	933.436	3.2080	0.02005	1.7000	0.01133333	52.8	54.26	958.801	0.01186	0.0227493
2C+K+2C (2)	976.326	3.7865	0.02366562	1.6300	0.01086667	55.3				
2C+K+2C (3)	966.641	3.9252	0.02453256	2.0070	0.01338000	54.7				
2TC+K+2TC (1)	816.557	2.4609	0.01538062	5.1880	0.03458667	46,4	45.9	807.842	0.061717	0.0159885
2TC+K+2TC (2)	795.521	2.5896	0.016185	12.2910	0.08194000	45.2				
2TC+K+2TC (3)	811.450	2.6240	0.0164	10.2940	0.06862667	46.1				



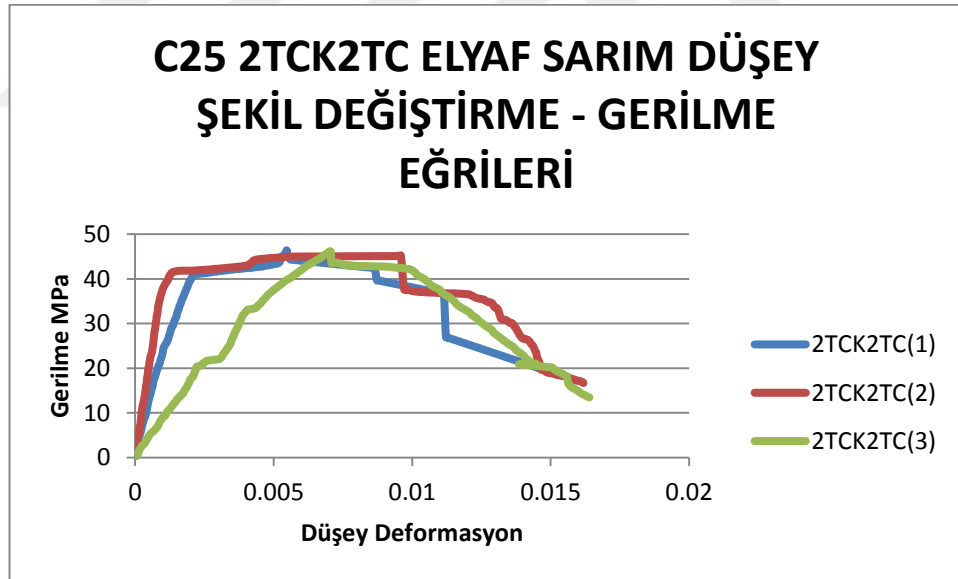
Şekil 5.9. 2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC Sargılı Beton Numuneleri



Şekil 5.10. C25 2AK2A Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.11. C25 2CK2C Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



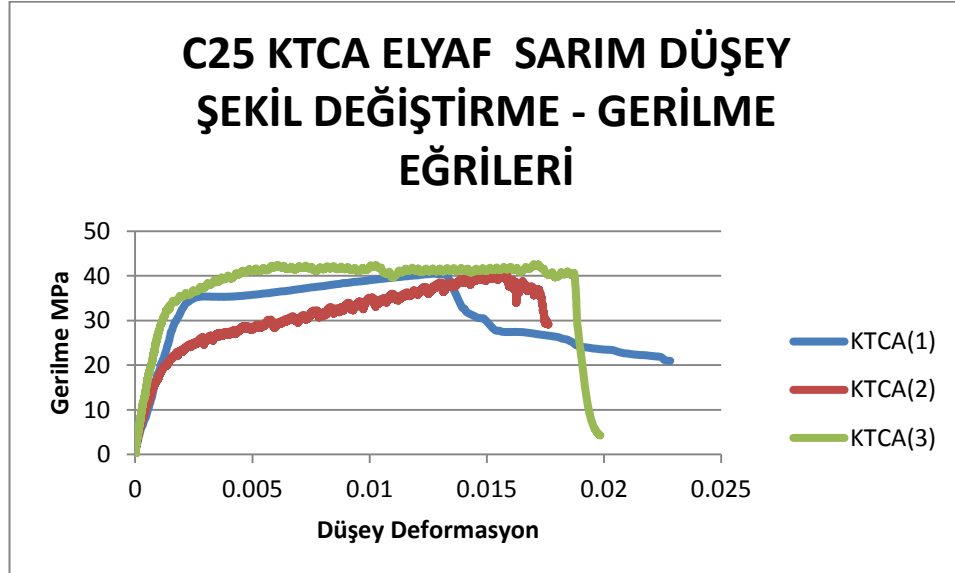
Şekil 5.12. C25 2TCK2TC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri

5.5. K+TC+A Sargılı Beton Numuneleri

3'er adet C25 betona sarılı (K+TC+A) numuneleri aksenal basınç altında test edilerek Yük – Deformasyon değerleri test edilmiş, bu değerlere bağlı olarak Gerilme –Yatay şekil değiştirme Gerilme –Düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.5. K+TC+A Sargılı Beton mekanik değerleri

Numune Türü	Yük KN	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Yatay Deplasman (mm)	Yatay Şekil Değiştirme	Gerilme	Nihai Gerilme Ort. (MPa)	Ortalama Nihai Yük	Ort. Yatay Şekil Değiştirme	Ort. Düşey Şekil Değiştirme
K+TC+A (1)	712.990	3.6525	0.02282812	12.892	0.08594667	40.4	41.16	726.825	0.03168	0.0201031
K+TC+A (2)	716.679	2.8215	0.01763437	1.356	0.00904000	40.6				
K+TC+A (3)	750.807	3.1755	0.01984687	0.012	0.00008000	42.5				



Şekil 5.13. KTCA Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri



Şekil 5.14. K+TC+A Sargılı Beton Numuneleri

5.6. K+A K+C K+TC Sargılı Beton Numuneleri

3'er adet C25 betona sarılı (K+A K+C + K+TC) numuneler aksenal basınç altında test edilerek Yük – F

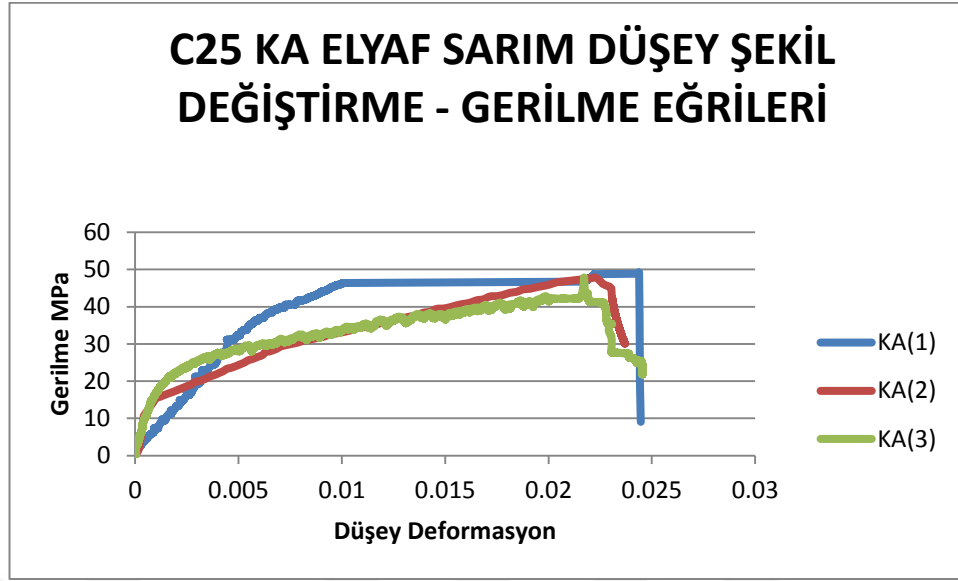
Deformasyon değerleri test edilmiş, bu değerlere bağlı olarak Gerilme –yatay şekil değiştirme Gerilme –Düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır ve aynı zamanda Aramid, Cam ve twil cam kumaşının Karbon kumaşla oluşturduğu Gerilme Değerleri tespit edilip karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 5.6. K+A, K+C, K+TC Sargılı Beton Numuneleri Mekanik özellikleri

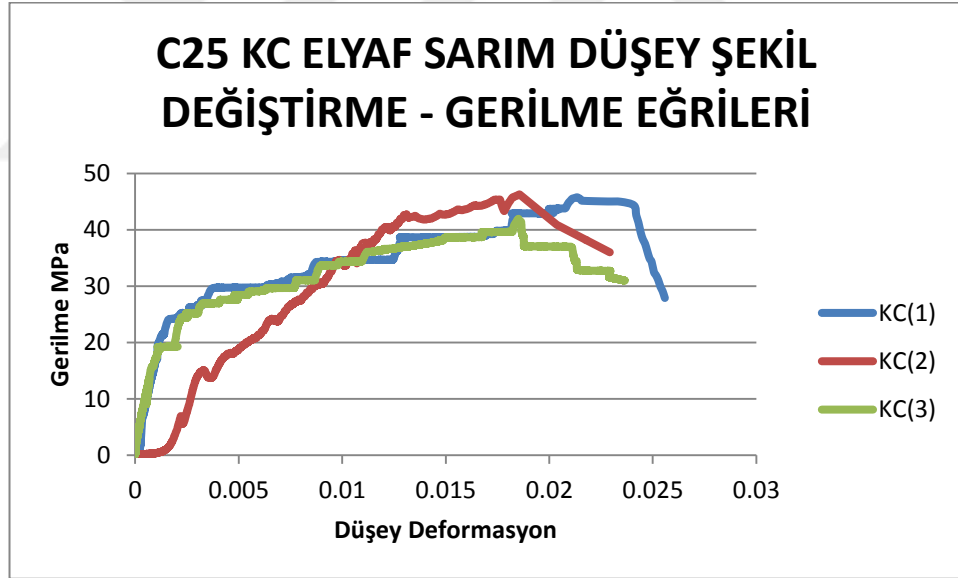
Numune Türü	Yük KN	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Yatay Deplasman (mm)	Yatay Şekil Değişirme	Gerilme	Nihai Gerilme Ort. (MPa)	Ortalama Nihai Yük	Ort. Yatay Şekil Değişirme	Ort. Düşey Şekil Değişirme
K+A (1)	865.980	3.9147	0.024466	4.2350	0.028233	49.2	48.27	849.630	0.575027	0.024244
K+A (2)	840.492	3.7953	0.02372	0.0025	1.666670	47.7				
K+A (3)	842.420	3.9275	0.024546	4.527	0.030180	47.8				
K+C (1)	805.688	4.0930	0.025581	0.0100	6.666670	45.6	44.5	786.164	2.226379	0.024049
K+C (2)	814.450	3.6675	0.022921	0.9643	0.006428	46.1				
K+C (3)	738.355	3.7835	0.023646	0.9060	0.006040	41.8				
K+TC (1)	711.145	2.5720	0.016075	0.0050	3.333330	40.3	38.96	688.393	1.555922	0.014363
K+TC (2)	682.091	2.0520	0.012825	0.0020	1.333330	38.6				
K+TC (3)	671.945	2.2705	0.014190	0.1660	0.001106	38.0				



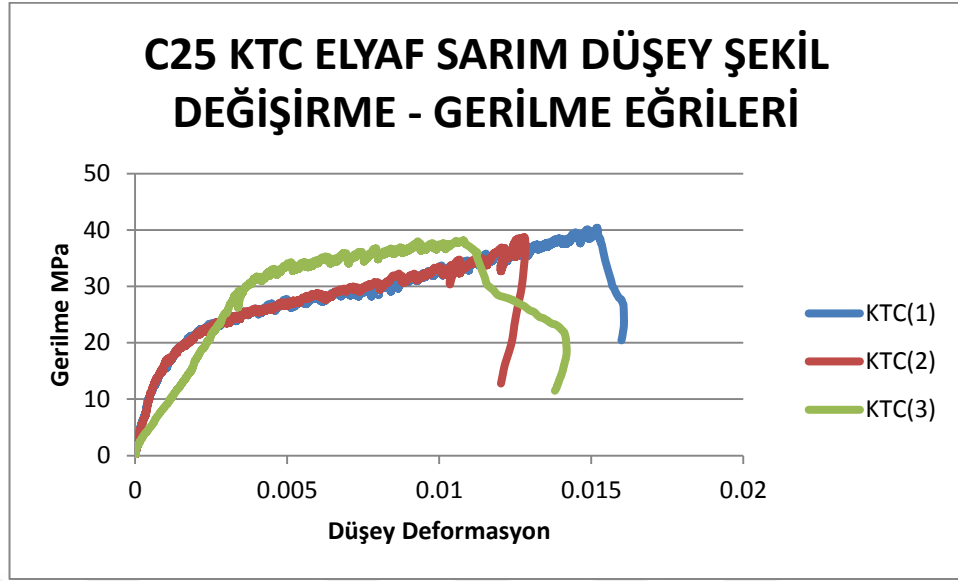
Şekil 5.15. K+A K+C K+TC Sargılı Beton Numuneleri



Şekil 5.16. C25 KA Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.17. KC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri



Şekil 5.18. KTC Beton Numunelerine Ait Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri

6. BULGULAR

C 25 beton sınıfına ait 36 adet 150*300 ebatlarında silindir numunenin Aramid, Karbon, Cam elyafları ile farklı kombinasyonlarda sarılarak silindirde oluşturduğu dayanım ve deformasyon değerleri irdelenmiştir.

Tek kat karbona sarılan numunenin referans numuneye göre yaklaşık %58 lik dayanımını artırdığı görülmüştür.

Aramid fiber takviyeli polimer kumaşın Karbon kumaşı ile A+K şeklindeki sarımı yapılarak Aramid elyafının dayanıma olan katkısı göz önüne alınmıştır. Karbon fiber takviyeli kumaş ile Aramid fiber takviyeli kumaşın oluşturduğu numunenin K numunesi dayanımı ile karşılaştırdığımızda numune değerimize göre %65 lik dayanımda artış gözlemlenmiştir. Karbon kumaşın Cam (K+C) ve Twill cam(K+TC) oluşturduğu sarım şeklindeki dayanım artış oranı ise sırası ile yaklaşık %63,%55 olduğu gözlemlenmiştir. Buradan Aramid fiber takviyeli polimer kumaşın Twill ve Cam kumaşa göre daha fazla dayanım artırdığı görülmüştür.

Karbon fiber takviyeli polimer kumaşın Aramid, Twill Cam ve Cam elyaf ile (A+K+A, C+K+C, TC+K+TC) şeklinde oluşturduğu sarımda göstermiş olduğu dayanımlara bakarak Karbon elyafının ortada olması durumundaki oluşan farklar incelenmiştir. Aynı zamanda referans betonu ile dayanım farkıda gözlemlenmiştir. Numuneye karşın göstermiş oldukları dayanımları sırası ile %92,%85 ve %60 tır.

Aramid elyaf ile oluşturulan sargının Twill ve Cam sargıyla oluşturulan sargıya göre daha fazla dayanım sağlandığı gözlemlenmiştir.

Karbon fiber takviyeli kumaşın çift kat olarak Aramid, Twill ve Cam elyaf ile sarılan (2A+K+2A, 2C+K+2C, 2TC+K+2TC) numunelerdeki dayanımlarına bakıldı. Çift sargılı numunelerin referans numunesi dayanımı ile olan artış miktarı sırası ile %115,%104 ve %71 dir. Karbon fiber takviyeli kumaşın tek kat Aramid, Twill ve Cam elyaf ile oluşturduğu dayanıma göre artış olduğu gözlemlendi. Tek kat sarıma göre yaklaşık olarak %25 dayanım gücünün arttığı görülmüştür.

Bir diğler sarım şekli olan(K+TC+A) Twill fiber takviyeli polimer kumaşın Karbon ve Aramid kumaş arasında gstermiş olduğu dayanım değeri olđıldı. Referans betonu dayanımına gbre yaklaşık % 55 dayanım artışı ggzlemlendi.

Genel olarak GFRP, CFRP sargılı numuneler dűřey ve yatay şekil değiştirmeleri artırmıştır.

Beton basınca karşın dayanımı arttıka A+K+A ve 2A+K+2A numune sarım kıyaslanmasında dűřey ve yatay deformasyonlarında artış ggzlemlendi.

Referans numunesine gbre karşılaştırmalar;

$$K=\%57,66$$

$$A+K+A=\%90,14$$

$$C+K+C=\%79,56$$

$$TC+K+TC=\%53,65$$

$$2A+K+2A=\%112,77$$

$$2C+K+2C=\%97,81$$

$$2TC+K+2TC=\%67,51$$

$$K+A=\%76,27$$

$$K+C=\%62,40$$

$$K+TC=\%41,97$$

$$K+TC+A=\%50$$

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada Fiber takviyeli polimer Karbon, Aramid ve Cam kumaşın 150*300 silindir betona farklı birleştirme şekilleri ile oluşturulmuş ve Eksenel basınç altında bırakılarak göstermiş olduğu değerler incelenmiştir.

Sonuçları genel olarak aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

-Sargılı betonun dayanımı sargı sayısına ve sargı malzemesine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

-Karbon fiber takviyeli polimer kumaşa sargılı Aramid fiber takviyeli polimer kumaş C25 betonun dayanımını en fazla artıran kumaştır.

-Sarım sayısı arttıkça betondaki dayanım artar.

- Sarım sayısı arttıkça beton sarımda oluşan deformasyonlarda artar.

-Düşey ve yatay deformasyonlardaki artışta da en çok Aramid etkili olmuştur.

-Numune yüzeyine sarılan fiber takviyeli polimer elyaf dayanım artırımı konusunda daha iyi sonuçlar verir.

-Cam elyafın kırılma özelliği daha fazla olduğundan dayanım değerleri düşüktür.

KAYNAKLAR

1. ZY Sun, Y Yang, WH Qin, ST Ren, G Wu, Experimental study on flexural behavior of concrete beams reinforced by steel-fiber reinforced polymer composite bars. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 31, (24), 1737–1745, 2012.
2. Mohammed S. Issa, Ibrahim M. Metwally, Sherif M. Elzeiny, Influence of fibers on flexural behavior and ductility of concrete beams reinforced with GFRP rebars, *Engineering Structures* 33, 1754–1763, 2012.
3. A. Lapko, M. Urbanski. Experimental and theoretical analysis of deflections of concrete beams reinforced with basalt rebar. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 15, 223- 230, 2015.
4. Pu Zhang, Hong Zhu, Gang Wu, Shaoping Meng and Zhishen Wu. Flexural Performance of HFRP-RC Composite T-Beams with Different Interfaces. *Journal of Composites for Construction* 21, (3), 2017.
5. Wenjie Ge, Jiwen Zhang, Dafu Cao, Yongming Tu. Flexural Behaviors of Hybrid Concrete Beams Reinforced With Bfrp Bars and Steel Bars. *Construction and Building Materials* 87, 28–37, 2015.
6. Zorislav Soric, Tomislav Kisicek, Josip Galic. Deflections of concrete beams reinforced with frp bars. *Materials and Structures* 43, 73-90, 2010.
7. Cripps, A., 2002, *Fiber Reinforced Polymer Composites In Construction*, Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), February.
8. Bayülke, N. (1995). *Depremelerde hasar gören yapıların onarımı ve güçlendirilmesi*. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.
9. Bayülke, N. (1998). Structural damage in 27 June 1998 Adana-Ceyhan earthquake, General Directorate of Disaster Affairs, ERD.
10. Lam L., Teng J.G., Cheung C.H., Xiao Y., FRP-confined concrete under axial cyclic compression *Cement and Concrete Composites*, 28, 949–958, 2006.

11. Hua Wei, Zhimin Wu, Xia Guo, Fumin Yi, Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with CFRP, *Engineering Structures*, 31 2495-2505, 2009.
12. Moochul Shin, Bassem Andrawes, Experimental investigation of actively confined concrete using shape memory alloys, *engineering structures* 32, 656-664, 2010.
13. Kachlakev, D. and McCurry, D. D., Behavior of full-scale reinforced concrete beams retrofitted for shear and flexural with FRP laminates, *Composites: Part B*, 31, 445-452, 2000.
14. Almusallam, T. H. and Al-Salloum, Y. A., Behaviour of FRP Strengthened Infill Walls under In-Plane Seismic Loading. *Journal of Composites for Construction*, May/June, 308-318, 2007.
15. Alkhardji, T. and Nanni, A., "Flexural strengthening of bridge piers using FRP composites", Center for Infrastructure Engineering Studies (CIES), University of Missouri-Rolla, 1999.
16. Sheikh, S.A., and Yau, G., Seismic Behaviour of Concrete Columns Confined with Fiber-Retrofit Polymers, *ACI Structural Journal*. 99, 72-80, 2002.
17. Perrone, M., Barros, J.A.O. and Aprile, A., A CFRP based strengthening technique to increase the flexural and energy dissipation capacities of RC columns", *Journal of Composites for Construction*. 2009.
18. Hu, D., Barbato, M. Simple and efficient finite element modeling of reinforced concrete columns confined with fiber-reinforced polymers. *Engineering Structures* 113–122, 2014.
19. Ashour, A.F. Flexural and shear capacities of concrete beams reinforced with GFRP bars. *Construction and Building Materials* 20 1005–1015, 2006.
20. Yang, Q.S., Qin, Q.H., Zheng, D.H. Analytical and numerical investigation of interfacial stresses of FRP-concrete hybrid structure. *Composite Structures* 57 221-226, 2002.
21. Mirmiran A. and Shahawy M., A New Concrete Filled Hollow FRP Composite Column, *Composites Part B, Engineering*, 27, p. 263-268, 1996.

22. Lim J. C., Özbakkaloğlu T., Influence Of Silica Fume On Stress-Strain Behavior Of FRP-Confined HSC, *Construction and Building Materials*, 63, p. 11-24, 2014.
23. Güler S., Axial Behaviour Of Ultra High Strength Of FRP-Wrapped Circular Ultra High Performance Specimens, *Structural Engineering Mechanics*, 50, 6, 709-722, 2014.
24. Aydın F. ve Sarıbyık M. Gfrp Kutu Profiller İle Betonun Hibrit Kullanımının Beton Kürüne Etkilerinin İncelenmesi. **ISSN:1306-3111**. e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0211, 2011.
25. Lou, T., Xiang, Y., Numerical Analysis of Second-Order Effects of Externally Prestressed Concrete Beams, *Structural Engineering and Mechanics*, Cilt 35, Sayı 5, ss. 631-643, 2010.
26. Qu, W., Zhang, X., Huang, H., 2009, "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Hybrid (GFRP and Steel) Bars", *Journal of Composites for Construction*, Cilt 13, Sayı 5, ss. 350-359.
27. Sarıbyık A., Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), 383-391, 2018.
28. Oreta W. C. and Ongpeng, J. M. C. "Modeling the confined compressive strength of hybrid circular concrete columns using neural networks," *Comput. Concr.*, vol. 8, no. 5, pp. 597–616, 2011.
29. Mohsin R., D., Investigation Of The Fracture Energy Of Concrete Strengthened By Hybrid Fibers University Of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Sciences. M.Sc. Thesis in Civil Engineering. 2018.
30. Yarımoğlu M., Cam Lif Takviyeli Polimer (Gfrp) Kutu Profil İle Sarılmış Hibrit Kirişlerin Eğilme Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2018.

31. Deskovic, N. and Thanasis, C., Triantafillou and Urs Meier, Innovative Design of FRP Combined with Concrete: Short-Term Behavior, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, No. 7, pp. 1069-1078, 1995.
32. Mirmiran, A., Samaan, M., Cabrera S. and Shahawy M., Design, manufacture and testing of a new hybrid column *Construction and Building Materials*, Vol. 12, No. 1, pp. 39-49, 1998.
33. Ribeiro, M.C.S., Tavares, C.M.L., Antqnio, J.M.F., Marques, A.O.T., Static Flexural Performance of GFRP-Polymer Concrete Hybrid Beams, *Key Engineering Materials*, Volumes 230-232, *Advanced Materials Forum I*, 148-151, 2003.
34. Hulatt, J. and Hollaway, L., Thorne The use of advanced polymer composites to form an economic structural unit, *Construction and Building Materials* 17, 55–68, 2003.
35. Fam, A., Schnerch, D. and Rizkalla, S., Fibre-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, *Proceedings of the Sixth International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-6)*, pp. 685-694, 2003.
36. Wenlxiao, L. and Zhishen, W., Flexural performance of newly developed hybrid FRP concrete beams, *FRP Composites in Civil Engineering, Australia, CICE 2004*; 819-826, 2004.
37. Tianhong, L., Peng, F. and Lieping, Y., Experimental Study On FRP Concrete Hybrid Beams, *Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006)*, Miami, Florida, USA, December 13-15, 2006.
38. Joao, R. Correia, Fernando, A. Branco, Joao G. Ferreira, Flexural Behaviour of Multi-Span GFRP-Concrete Hybrid Beams, *Engineering Structures* 31, 1369-1381, 2009.
39. Aydın, F., Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton ile Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, *Sakarya*, 2011.

40. El Refai, A.,Abed F.,Al Rahmani, A. Structural performance and servicibility of concrete beams reinforced with hybrid (gfrp and steel) bars, *Construction and Building Materials*, 96, 518-529, 2015.
41. Liu Y, Yong Yuan Y., Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams, *Composites: Part B* 45, 22-31, 2013.
42. Yoo D.Y., Kim S.W., Park J.J. Comparativeflexural behaviour of ultra-high-performance concrete reinforced with hybrid straight steel fibers *Construction and Building Materials*, 132, 219-229, 2017.
43. Chakib Kassem, Ahmed Sabry Farghaly and Brahim Benmokrane. Evaluation of Flexural Behavior and Serviceability Performance of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars. *Journal of Composites for Construction* 15(5), 682-695, 2011.
44. Denvid Lau, Hoat Joen Pamb. Experimental study of hybrid FRP reinforced concrete beams. *Engineering Structures* 32, 3857–3865, 2010.
45. F. Cullazoğlu, FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme ve Kesme Etkisi Altındaki Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Niğde, 2014.
46. Barris, C., Torres, L., Turon, A., Baena, M., Catalan, A., “An Experimental Study of the Flexural Behaviour of GFRP RC Beams and Comparison with Prediction Models”, *Composite Structures*, Cilt 91, Sayı 3, ss. 286-295, 2009.
47. Nakano, K., Matsuzaki, Y., Fukuyama, H. & Teshigawara, M., Flexural performance of concrete beams reinforced with continuous fibre bars. In *ACI Int. Symposium 1993, Fibre Reinforcement for Concrete Structures*, Ed. A. Nanni, Detroit, MI, pp. 743-751, 1993.
48. Hawileh, R.A. Finite element modeling of reinforced concrete beams with a hybrid combination of steel and aramid reinforcement. *Materials and Design* 65 831-839, 2015.
49. Aiello, M., Ombres, L. Structural performances of concrete beams with hybrid (fiber-reinforced polymer–steel) reinforcements. *J Compos Constr ASCE* 6(2):133–40, 2002.

50. Teng, J. G., & Hu, Y. M. Behaviour of FRP-jacketed circular steel tubes and cylindrical shells under axial compression. *Construction and Building Materials*, 21(4), 827-838, (2007).
51. Ritchie P., Thomes D., Lu l., Connelly G., External Reinforcement Of Concrete Beams Using Fiber Reinforced Plastics, *Structural Engineering*, 88, 490-500, 1991.
52. Cyriac, G., Paul, B., Akhil, K. T., & Shunmugesh, K. The Effect of Fiber Loading on the Mechanical Behaviour of Carbon-aramid Hybrid Composites. *Polymers and Polymer Composites*, 25(3), 225-228, 2017.
53. Nadlene, R., Sapuan, S. M., Jawaaid, M., Ishak, M. R., & Yusriah, L. A review on roselle fiber and its composites. *Journal of natural fibers*, 13(1), 10-41, 2016.
54. Büyüköztürk, O., & Hearing, B. Failure behavior of precracked concrete beams retrofitted with FRP. *Journal of composites for construction*, 2(3), 138-144, 1998.
55. <https://www.teknoyapi.com.tr/tr/urunler/arama/teknobond-200-epoksi-macun/05/05/2019>

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Nurettin

Soyadı: ŞENOL

Doğum Tarihi: 25/11/1987

Doğum Yeri: YOZGAT

Akademik Çalışma Hayatı: Öğrenim hayatına 1995/1999 yılları arası Yozgat/Merkez Cumhuriyet ilköğretim okulunda başladı. Orta Öğrenimimi Celal Atik Orta Okulunda 1999/2002 de tamamladı. Liseyi Yozgat Anadolu Lisesinde okudu ve 2006 yılında mezun oldu. Daha sonra 9 Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fen Bilimleri öğretmenliği bölümünü kazandı ve 2011 yılında mezun oldu.2012/2017 Tarihleri arasında Milli Eğitim Bakanlığında Öğretmen ve İdareci olarak görev yaptı. 2013/2016 Yılları Arası Bozok Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2017 yılında Yozgat DSİ 123. Şube müdürlüğüne atandı ve halen orada görev almaktadır.

Adres: Yozgat DSİ 123.Şube Müdürlüğü Merkez/YOZGAT

Telefon: 0530 112 1066

E Posta: nurettinsenol@dsi.gov.tr