T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAM VE KARBON ELYAF KUMAŞLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Tasnim ALHALLAAK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1.Genel 2
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Tezin İçeriği 4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Onarım ve Güçlendirme 5
2.1.1. Onarım 5
2.1.2. Güçlendirme 6
2.1.2.1. Güçlendirme ilkeleri 7
2.2. Polimerik Lifler 11
2.2.1. Cam elyaflar 12
2.2.1.1. Cam elyafların özellikleri 13
2.2.1.2. Cam elyafların üretimi 14
2.2.2. Karbon elyaflar 16
2.2.2.1. Karbon elyafların özellikleri 17
2.2.2.2. Karbon elyafların üretimi 19
2.3. Literatür Taraması 22
3. MATERYAL ve YÖNTEM 30
3.1. Materyal 30
3.1.1- Çimento 30
3.1.2. Agrega 30
3.1.3. Karbon elyaf 32
3.1.4. Cam elyaf 32
3.1.5. Epoksi 32
3.2 Karışım Tasarımı 34
3.3 Deney Numunelerin Hazırlanması 34
3.2. Deneysel Çalışma 36
3.2.1. Eğilme dayanım deneyi 36
3.2.2. Basınç dayanım deneyi 39
3.2.3. Kırılma şekillerinin incelenmesi 40
4. ARAŞTIMA BULGULARI ve TARTIŞMA 46
4.1. Basınç Dayanım Performans Değerleri 46
4.2. Eğilme Dayanım Performans Değerleri 47
4.2.1. Elyaf kumaş takviyesinin düşük dayanımlı numunelerin (DD) eğilme performansın üzerindeki etkisi 47
4.2.2. Elyaf kumaş takviyesinin orta dayanımlı numuneler (OD) eğilme performansın üzerindeki etkisi 52
4.2.3. Elyaf kumaş takviyesinin yüksek dayanımlı numuneler (YD) eğilme performansın üzerindeki etkisi 58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 65
5.1. Sonuçlar 65
5.2. Öneriler 68
KAYNAKLAR 70
ÖZGEÇMİŞ 75

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CAM VE KARBON ELYAF KUMAŞLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN EĞİLME DAVRANIŞIN İNCELENMESİ

Tasnim ALHALLAAK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ
İkinci Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÖZEN
Yıl: 2022, Sayfa: 74

Bu çalışmada karbon ve cam elyaf kumaşın çimentolu kompozitlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması ve bu değişimlerin sargılanmamış olan çimentolu kompozitlerin eğilme davranışı ile karşılaştırılması hedeflenmektedir. Çalışmada örgü (waven) çok eksenli tipinden cam ve karbon elyafları kullanılmıştır. Eğilme dayanımı deneyinde yüksek, orta ve düşük dayanımlı 40*40*160 mm boyutlarındaki prizma numuneler kullanılmıştır. 0.3 S/Ç oranına sahip 634.26 kg/m³ çimento dozajına, 0.4 S/Ç oranına sahip 535.26 kg/m³ çimento dozajına ve 0.65 S/Ç oranına sahip 432.65 kg/m³ çimento dozajına sahip yüksek, orta ve düşük dayanımlı olan karışımların harçları üretilerek prizmatik numuneler elde edilmiştir. 3 dayanım sınıfına ait olan prizma numunelerin alt yüzlerindeki açıklığın 1/7 ve 4/7 oranlarındaki orta bölümlerine karbon ve cam elyaf kumaşı epoksi vasıtasıyla yapıştırılarak güçlendirme sağlanmıştır. Karışımların her birinden 3'er adet numune alınarak toplam 45 örnek hazırlanmıştır. 3 farklı dayanımlı numunelerden 50*50*50 mm boyutunda 6'şer numune üretilerek toplam olarak 18 numunenin basınç dayanımlarını test edilmiştir. Bütün numuneler 28 günlük ıslak kürlemeye tabi tutulduktan sonra test edilmiştir. Çalışma sonucunda özellikle Düşük ve orta dayanımlı numunelerde Karbon elyaf takviyeli kumaş ile güçlendirilen prizmatik numunelerin güçlendirmeye karşı olumlu etkiler yaptığı tespit edilmiştir. Karbon elyaf takviyeli kumaş numuneleri Cam elyaf takviyeli kumaş numunelerinden güçlendirmede daha etkili olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Cam Elyaf, Karbon Elyaf, Kompozit, Eğilme Davranışı

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF GLASS AND CARBON FIBER REINFORCEMENT ON THE FLEXURAL BEHAVIOR OF CEMENTITIOUS COMPOSITES

Tasnim ALHALLAAK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZEN
Year: 2022, Page: 74

In this study, it is aimed to investigate the effect of carbon and glass fiber fabric on the flexural behavior of cementitious composites and to compare these changes with the flexural behavior of unwraped cementitious composites. Glass and carbon fibers of the waven multiaxial type were used İn this study. In the flexural strength test, high, medium and low strength prism specimens of 40*40*160 mm were used. Prismatic samples were obtained by producing mortars of high, medium and low strength mixtures with a cement dosage of 634.26 kg/m³ with 0.3 W/C ratio, 535.26 kg/m³ cement dosage with 0.4 S/C ratio and 432.65 kg/m³ cement dosage with 0.65 W/C ratio. 1\7 and 4\7 of the mid-span length of the prisms carbon and glass fiber fabrics of the prism samples belonging to 3 strength classes were laminated to the underside of the prismatic samples by means of epoxy. A total of 45 samples were prepared by taking 3 samples from each of the mixtures. 6 samples of 50*50*50 mm size were produced from 3 different strength samples and the compressive strengths of 18 samples were tested in total. All samples were tested after 28 days of wet curing. As a result of the study, it was determined that the prismatic samples reinforced with carbon fiber reinforced fabric had positive effects against reinforcement, especially in low and medium strength samples. Carbon fiber reinforced fabric samples were more effective in strengthening than Glass fiber reinforced fabric samples.

KEY WORDS: Glass Fiber, Carbon Fiber, Composite, Flexural Behavior

TEŞEKKÜR

Öncelikle ülkemden uzun süredir ayrı yaşadığım süre içerisinde bana ve ülkemin insanlarına kucak açan türk insanına teşekkür etmek isterim. Bu zor dönemde bana aileme destek olan tüm sevenlerime ve dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tezin proje aşamasından tezin yazım aşamasına kadar tecrübesi, bilgi birikimi ve entelektüelliği bana yol gösteren değerli danışmanım Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ hocama teşekkür ederim. Ayrıca ders aşamasında hayatım boyunca faydalanacağım değerli bilgileri edinmemei sağlayan İnşaat Mühendisi Bölüm hocalarına teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Betonarme manto ile güçlendirme örneği 6
Şekil 2.2. Perde duvarı ile yapılan güçlendirme. 9
Şekil 2.3. Kirişlerin mantolama yolu ile güçlendirilmesi. 9
Şekil 2.4. Güçlendirme Teknikleri 10
Şekil 2.5. Yüksek sıcaklıktaki sıvı cam elyafı 14
Şekil 2.6. CFRP plakaları 18
Şekil 2.7. CFRP kumaşı kirişlere uygulama örneği 19
Şekil 2.8. PAN ve PİTCH süreçleri ile karbon elyaf üretimi 22
Şekil 2.9. Karot numunelerin sargılanmamış hali ve CFRP ile sargılanmış olanlara ait kırılma yükleri oranları. 24
Şekil 2.10. Referans, CFREP ve GFRP için C20 numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği 27
Şekil 2.11. Deneylerde kullanılan numunelerinin yük-deplasman grafiği 28
Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan agrega 30
Şekil 3.2. kullanılan agreganın granülometri eğrisi 31
Şekil 3.3. Karbon elyaf kumaş örneği 31
Şekil 3.4. Cam elyaf kumaş örneği 32
Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan reçine 33
Şekil 3.6. Kesilmiş olan karbon elyaf 35
Şekil 3.7. Yapıştırılma işlemine hazır numuneler 35
Şekil 3.8. Karbon ve cam elyaf numuelere yapıştırıldıktan sonra görünümü 35
Şekil 3.9. Yüklemeye tutulan prizma numunesi 37
Şekil 3.10. Prizma numunesi 38
Şekil 3.11. Üç noktalı eğilme test cihazı 38
Şekil 3.12. YD numunesinin pürüzsüz yüzeyinden karbon elyaf sıyrılması 45
Şekil 4. 1. DD'de eğilme dayanım değerleri (MPa) 47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Polimerik liflerin fiziksel özellikleri. 11
Çizelge 2.2. Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları 13
Çizelge 2.3. Bazı cam elyaflara ait fiziksel ve mekanik özellikler 14
Çizelge 2.4. Tekstil cam elyafların yüzdelik karışım oranları 15
Çizelge 2.5. Cam elyafların tipleri ve özellikleri 15
Çizelge 2.6. karbon liflerin mekanik nitelikleri 18
Çizelge 3.1. F 1564 Reçine özellikleri 32
Çizelge 3.2. F-3487 sertleştirici özellikleri 33
Çizelge 3.3. Beton karışım oranları 34
Çizelge 3.4. Düşük dayanımlı kontrol ve elyaflarla takviye edilmiş olan numunelerin kırılma şekilleri 40
Çizelge 3.5. Orta dayanımlı kontrol ve elyaflarla takviye edilmiş olan numunelerin kırılma şekilleri 42
Çizelge 3.6. Yüksek dayanımlı kontrol ve elyaflarla takviye edilmiş olan numunelerin kırılma şekilleri 44
Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda elde edilen maksimum basınç dayanım değerleri 46
Çizelge 4.2. DD'de elde edilen eğilme dayanım değerleri 47
Çizelge 4.3. OD'de elde edilen eğilme gerilme değerleri 52
Çizelge 4.4. YD'de elde edilen eğilme gerilme değerleri 58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AO	Açıklık oranı
CETK	Cam elyaf takviyeli kumaş numuneler
CFRP	Karbon elyaf takviyeli polimer
D	Düşük dayanımlı
D-karbon-1/7	Düşük dayanımlı 1/7 açıklık oranı karbon takviyeli kumaş numuneler
D-cam-1/7	Düşük dayanımlı 1/7 açıklık oranı cam takviyeli kumaş numuneler
D-karbon-4/7	Düşük dayanımlı 4/7 açıklık oranı karbon takviyeli kumaş numuneler
D-cam-4/7	Düşük dayanımlı 4/7 açıklık oranı cam takviyeli kumaş numuneler
D-kontrol	Düşük dayanımlı kontrol kumaş numuneler
DD	Düşük dayanımlı numuneler
FRP	Elyaf takviyeli polimer
GFRP	Cam elyaf takviyeli polimer
KETK	Karbon elyaf takviyeli kumaş numuneler
O	Orta dayanımlı
O-karbon-1/7	Orta dayanımlı 1/7 açıklık oranı karbon takviyeli kumaş numuneler
O-cam-1/7	Orta dayanımlı 1/7 açıklık oranı cam takviyeli kumaş numuneler
O-karbon-4/7	Orta dayanımlı 4/7 açıklık oranı karbon takviyeli kumaş numuneler
O-cam-4/7	Orta dayanımlı 4/7 açıklık oranı cam takviyeli kumaş numuneler
O-kontrol	Orta dayanımlı kontrol numuneler
OD	Orta dayanımlı numuneler
PAN	Poliakrilonitril
YD	Yüksek dayanımlı numuneler
Y	Yüksek dayanımlı
Y-karbon-1/7	Yüksek dayanımlı 1/7 açıklık oranı karbon takviyeli kumaş numuneler
Y-cam-1/7	Yüksek dayanımlı 1/7 açıklık oranı cam takviyeli kumaş numuneler
Y-karbon-4/7	Yüksek dayanımlı 4/7 açıklık oranı karbon takviyeli kumaş numuneler
Y-cam-4/7	Yüksek dayanımlı 4/7 açıklık oranı cam takviyeli kumaş numuneler
Y-kontrol	Yüksek dayanımlı kontrol numuneler

1. GİRİŞ

Türkiye'de son zamanlarda meydana gelen depremler, depreme daha dayanımlı yapıların tasarımı ve inşaası konularını daha ehemmiyetli hale getirmiştir. Depreme ilişkin inceleme ve araştırmaların sonucunda teknoloji, malzeme ve imalat endüstrisinde önemli ilerlemeler olmuştur. Ayrıca deprem bölgelerinde yapılacak yapılar 2007 yılında deprem yönetmeliği kapsamına alınmıştır. İlk kez yapımı gerçekleştirilecek bir yapının tasarımından çok mevcut koşullardaki binaların depreme dayanıklılığını tespit etmeye yönelik işlemler anılan deprem yönetmeliğinin ana konusudur (DBYBHY, 2007). Bu faaliyetler; mevcut bir yapının vaziyetini belirlemek amacıyla gereksinim duyulan saha araştırmaların gerçekleştirilmesi, yapının verim hedeflerininn saptanması, hesap metodunun tercih edilmesi ve tatbik edilmesinden meydana gelmektedir.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında mevzuatta (Bölüm 7), depreme karşı dayanımı zayıf binaların güçlendirilmesi ve onarımı yer almaktadır. Güçlendirme işlemi yapılmadan evvel mevcut bir binanın deprem veriminin saptanabilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı yapının mevcut halinin düzgün ve yeterli düzeyde saptanması oldukça ehemmiyetlidir. Bunun için mevcut yapının derlenen yapısal nitelikleri, ebatları ve malzemelere ilişkin bilgi ve malumatların içeriği mevzuatta teferruatlı şekilde tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonrada yapının yapısal biçimleri meydana getirilmelidir ve depreme maruz bırakılan malzmemelerde şekil değişiklikleri ve iç kuvvetler hesaplanmaktadır. Mevzuatta genel açıdan herhangi bir yapı, ufak depremlerden etkilenmemeli, yüksek depremlerde insanların ve canlıların can ve mal güvenliği sağlayacak şekilde atlatlamalı ve aşırı yüksek depremlerde ise bütün yıkılma olmayacak biçimde atlatmalıdır. Binalar için kullanılan deprem performansı kavramı, deprem mühendisliğin de yeni kullanılmaktadır. Bu kavram, "tanımlanan deprem etkisine maruz kalan herhangi bir yapıda meydana gelebilecek zayiatların seviyesine ve dağılıma bağlı şekilde saptanan yapı güvenliği vaziyeti" şeklinde açıklanmaktadır (DBYBHY, 2007).

1.1.Genel

Yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde farklı malzemeler ve yöntemler kullanılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye ve dünyada Karbon ve Cam Elyaf takviyeli polimelerlerin kullanımı giderek artmaktadır. Bu malzemeler yapıların güçlendirilmesi ve onarımında güvenirlik, sadelik ve kullanınım kolaylığı konularında sağladığı avantajlar ile ön plana çıkmaktadır.

Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan cam maddesi, izotropiktir ve hammaddesinde boron, kalsiyum oksit, alüminyum, sodiyum ve demir gibi eklentilerle beraber silika (SiO_2) ya dayanmaktadır (Dejke, 2001). Cam elyaflar aramid ve karbon elyaflardan daha ucuz olduğunu bilinmektedir. O yüzden cam elyafın uygulamaları uçak üretimi gibi değişik alanlarda çok yaygın bir uygulama olmuştur. Cam elyaflar bir sürü türlerden oluşmaktadır. Elastisite modülü 70–85 GPa ve uzama miktarları %2–5 arasındaki değişen cam elyaflar, S-glass (çok güçlü), AR-glass (alkali geçirmez) ve E-glass (Elektrik geçirmez) şu şekilde sıralanabilmektedir. Bu elyaflardan en çok yer alan E-glass cam elyaflardır. E-glass alümin, kireçten ve silis, S-glass ise magnezi ve silis alüminden oluşmaktadır. Cam elyaflar dokuma, keçe ve bükülmüş iplik gibi türler satışta bulunmaktadır (Keskin, 2005). Yapıların güçlendirilmesi ve onarımında kullanılan kompozit malzemelerden bir diğeri olan karbon liflerin temeli grafit özelliği taşımaktadır. Bununla birlikte uygulanan piroliz yöntemini tatbik edilirken grafit tabakaları arasında yer alan zayıf bağlar uzaklaştırılmaktadır. Proses sıcaklığı 1000^oC'ı aşmaktadır. Değişik iki hammaddeden imal edilmektedirler: PITCH ve PAN karbon elyafları. Birincisi esası petrol olan ziftten (pitch), ikincisi ise poliakrilonitril'den elde edilmektedir. Diğeri ise dayanım ve elastisite modülüne imal edilmektedir. Birinci tipin karbon liflerinin elastisite modülü (E) yüksek ve dayanımı düşük iken ikinci tip karbon liflerinin ise elastisite modülü düşük ve dayanımı yüksektir (Keskin, 2005).

Yapıların güçlendirime onarımında kullanınan FRP malzemeleri ağırlığı düşük, dayanımı yüksek, korozyona karşı mukavemetli ve fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek olan malzemelerdir. FRP'ler çeşitli üretim şekilleri vardır. Çubuklar, tek yönlü ve çift yönlü kumaşlar ve plakalar şeklinde üretilebilmektedir. FRP, son zamanlarda

betonarme yapıların güçlendirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, korozyon direnci, hafifliği ve kullanım kolaylığı açısından ilk tercihtir. Bu malzemelerin maliyetindeki azalma, onları daha yaygın olarak kullanılabilir hale getirilmektedir (TENG ve ark., 2011).

Bu çalışmada kullanılan bazı terimler kısaca şu şekilde açıklanabilir;

Elyaf Takviyeli Polimer, FRP (Fiber Reinforced Polymer) olarak ifade edilmiş olan; yüksek mukavemetli lifler, plastik esaslı bağlayıcı reçine matrisi ve çeşitli katkı maddelerinden oluşan ve dünyanın her tarafında yaygın olarak kullanılan yeni bir takviye malzemesidir (Aytaç, 2011).

Bir çok malzemeden oluşup iç içe geçmiş olan yapıya kompozit malzemeler diye bir adı verilmektedir. Herhangi bir reaksiyona uğramadan, fiziksel yollar ile bir araya getirilmektedir (Berthelot, 1998).

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde cam ve karbon elyaf kumaşın çimentolu kompozitlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisini belirlemek hedeflenmiştir. Bunun için yüksek, orta ve düşük dayanımlı prizmatik numunelerin karbon ve cam elyaf kumaşı epoksi vasıtasıyla alt yüzlerindeki açıklığın 1/7 ve 4/7 oranlarındaki (AO) orta bölümlerine yapıştırılarak güçlendirme sağlanmıştır. Çalışmada eğilme ve basınç dayanım deneyleri yapılarak cam ve karbon elyaf kumaşların etkinliği kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Tezin İçeriği

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler kısaca açıklanarsa;

Bölüm 1: Genel giriş verilip tez içeriği anlatılmıştır.

Bölüm 2: Cam ve karbon elyaf kompozit malzemeler ile ilgili literatür taraması yapılarak önceki çalışmalar ve konuyla ilgili ayrıntılar sunulmuştur.

Bölüm 3: Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, deneysel yöntemler ve araştırmada düşük, orta ve yüksek dayanımlı numunelerin elde edilmesinde kullanılan karışımlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 4: Eğilme ve basınç dayanım deneyleri sonucu ortaya çıkan bulgular çizelge ve grafikler yolu ile açıklanmıştır. Elde edilen bulgular karbon, cam ve kontrol örnekleri bazlı olarak sunulmuştur.

Bölüm 5: Çalışmanın sonuçları bu bölümde özet şeklinde sunularak önerilere yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Onarım ve Güçlendirme

2.1.1. Onarım

Onarım, yapıların bütünün yada birazının kullanım ve görünüm açısından zayiat görmüş ise mevcut yapının bütünün yada birazının evvelki duruma sokmak maksadıyla gerçekleştirilen çalışma ve faaliyetlerdir. Evvelki durumuna getirme faaliyetleri yapının kullanım ve görünümü (dayanmı, rijitliği, düktilesi, yük taşıma kapasitesi ve dayanıklığı dahil) açısından olabilmektedir (Kocaboğa, 2019).

Onarımdaki gaye; hasar gören bir mevcut yapının mukavemet, mekanik ve kullanım nitelikleri açısından evvelki durumuna getirmektir.

Kolonlardaki ezilmiş ve hasarı görmüş olan betonun alınması, betonu alındıktan sonra yüzeyinin pürüzlendirilip temizlenmesi, dökme işlemleri başlamadan önce hasarı görmüş olan betonun suya doyurulması lazımdır. Onarılan bölgeye hem boyuna hem enine donatı kullanılmasını olabilmektedir. Hasarın büyüklüğü yüksek olduğu yerlerde; kolondaki donatıları ciddi bir şekilde burkulması, etriyelerin yerinden çıkması, betonun ezilmesi gibi bütün hasarı gören betonun alındıktan sonra yeniden malzemeleri konulması gerekmektedir. Aşağıdaki görüldüğü gibi Şekil 2.1.'de betonarme mantolama yöntemiyle güçlendirme örneği göstermektedir.



Şekil 2.1.Betonarme manto ile güçlendirme örneği (Ngmuhendislik, 2022)

Hasarı yüksek olan ve dayanımı yeterli olmadığı durumlarda kolona betonarme ya da çelik manto (mantolama) kullanmak birlikte onarımı işlemini yapılmaktadır.

2.1.2. Güçlendirme

Güçlendirme, stabiletisini, rijitliğini, düktülitesini ve yük taşıma kapasitesini yada bu özelliklerden bir kaçını kaybeden her hangi bir yapının, şu anki vaziyetinden daha iyi bir hale getirmek maksadıyla yapılan tadilatlardır (Kocabağa, 2019).

Güçlendirmedeki gaye ise; hasar görmeyen herhangi bir yapıya takviyeler yapmak ve hasar gören herhangi yapının da dayanım, mukavamet ve yük taşıma kapasitesi gibi özellikleri açısından daha evvelki durumuna ulaşmasını sağlamaktadır.

2.1.2.1. Güçlendirme ilkeleri

Her yapının kendine has özelliklerinın olmasından dolayı, halihazırdaki bir yapıyı güçlendirmeden evvel o yapıya elverişli olabilecek güçlendirme yöntemlerini ve tekniklerininin tespit etmek gerekir. Güçlendirmedeki gaye, yapıda oluşan hasar ve zayiatın sebeplerini ortadan kaldıracak tedbirlerin saptanması ve zayiatı meydana getirdiği dayanım kaybının ortadan kaldırılması veya tekrar gerçekleşmemek için alınması gereken güçlendirme faaliyetlerinin tespit edilmesidir. Çeşitli zayiat sebepleri için farklı güçlendirme tekniklerinin tatbik edilmesi gerekirken bazı durumlarda da ortak kullanılabilen tedbirler bulunmaktadır. Bu alınan tedbirler depreme karşı daha dayanıklı yapı kavramı ile ilişki içinde yer almaktadır (Aytaç, 2011).

Yapıda sünekliğin iyileştirilmesi öncelikli olarak düşünülmesi gereken bir husustur. Süneklik, bir yapıda bulunan elemanların yada bir kesitin taşıma kapasitesinde herhangi azalma olmaksızın büyük bir deformasyon oluşturabilme kabiliyetidir. Bir yapının depreme karşı dayanıklılığında, plastik mafsallı kesitlerin tükettiği enerji, ehemmiyetli rol almaktadır. Kafi derecede enerjinin tüketilmesi durumu, plastik mafsalların meydana getirdiği kesitlerin sünekliğine önemli derecede bağlıdır.

Yapılarda kesit sünekliği, eksenel yük seviyesi arttıkça düşmektedir. Bundan dolayı, eksenel yük seviyesi küçük olan kirişlerin sünekliği kolonlara nazaran daha fazladır. Buna göre çerçeve tasarımı oluşturulurken plastik mafsallar kolonlara yerleştirilmeyerek kirişlere yerleştirilmesine dikkat edilir. Deprem ile ilgili mevzuatlarda bulunan ve kirişlere nazaran kolonların daha kuvvetli ve dayanıklı olması şartı, kolona nazaran kirişin daha sünek bir durum göstermesinden meydana gelmektedir (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Güçlendirme ile ilgili başka bir metod, yapının ağırlığını düşürmektir. Herhangi bir yapının deprem anında meydana gelen deprem kuvveti yapının ağırlığı ile orantılı olmaktadır. Binanın ağırlığının düşürülmesi ile yapıya etkili olabilecek deprem kuvvveti de aynı oranda düşecektir. Buna göre yapıyı tuğla ile örmeden ziyade tuğladan daha hafif malzemelerin kullanımı seçilebilir. Halihazırda bir binayı

güçlendirmek için en üst katlardan bir kaçı yıkılabilir. Yapının içinde yer alan taş ve benzeri kaplamalar, iç-dış yüzeyler ve ağır nesneler kaldırılabilmektedir.

Deprem kuvvetinin meydana getirdiği etki ile taşıma güçü azalan yapının; taşıma gücünü arttırabilmek amacıyla, zayiata uğrayan taşıyıçı öğelerin yeni öğelerle takviye edilmesi, sisteme elverişli taşıyıcı öğelerin ilave edilmesi, halihazırda bulunan öğelerin kesit enlerinin büyütülmesi gibi metodlar uygulanır. Söz konusu metodlar neticesinde, yapı deprem sırasında oluşabilecek kuvvetlere karşı daha elastik alanda kalacak ve zayiat meydana gelmeden deprem kuvvetlerine karşı koyabilecektir. Yapı güçlendirmede diğer bir metod yapı dinamik niteliklerinin iyileştirmektir. Yapının zayiatı, zemin hakim ve asal titreşim periyodunun karşılıklı olarak oldukça yakın olması sebebiyle meydana gelen rezonansla, yapıdaki dinamik niteliklerini başkalaştırıp yapı periyoduyla zemin hakim periyodunun birbirinden uzaklaşması sağlanabilmektedir (Aytaç, 2011).

Yapıdaki sönüm oranını yükseltmek ve yapının katlar arasındaki rijitlik değişimlerinin elverişli olmasını sağlayarak yapının dinamik niteliklerinin iyileşmesi sağlanmaktadır. Yapıdaki üst katlardan gelen ve aşağı doğru giden rijitlik yükselmesi, katlar arasındaki rijitlik hızlı ve yüksek bir şekilde değişmemesi üst katlardan gelen perde duvarların zemin katta yapılmamasından yada zemin katta yapılmış olan perde duvarların üst katlara kesilmemesi, yapıdaki dinamik özellikleri iyileştiren işlemlerdir. (Tankut ve ark.,1993).

Yapıdaki eksantrisitesinin ortadan kaldırılması güçlendirme metotlarından biri olabilmektedir. Yapıdaki taşıyıcı öğelerin ile rijitlik merkezinin ağırlık merkezlerinin kenetlenmesi neticesinde burulma oluşmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak maksadıyla eksantrisiteyi ortadan kaldıracak perde duvar ilave edilebilmektedir. Böylece rijitlik ve kütle kenetlenmesi mümkün olduğunca birbirlerine yakınlaşması sağlanarak burulma meydana gelmesine mani olunabilmektedir. Ayrıca rijitlik merkezlerinin mümkün olduğunca birbirine yakınlaşması sağlanarak burulma meydana gelmesine mani olunmaktadır.

Betonerme yapılar değişik şekilde güçlendirilebilmektedir. Burada kolonun her iki yanına kanat şeklinde perde duvar ilave edilebilir. Bu vaziyette perdeye ait yatay

donatı, kolonun yatay donatısına kaynakla bağlanarak betonlama işlemi yapılmalıdır. Böylece eski beton yeni perdenin içinde kalır. Perde duvarı ile yapılan güçlendirme ilkesine Şekil 2.2'de yer verilmiştir.

Kirişlerin hasar seviyesi onarım yapılmayacak düzeyde ise güçlendirme yapılır. Kirişlerde güçlendirme, hasar düzeyine göre yapılır. Donatının kopması veya betonun ezilmesi şeklinde hasarın varlığında, ilk olarak hasarlı yerlerin basınçlı su ve hava ile temizlenir. Bu yerlerde burkulan yada kırılan donatılar kesilip kaynakla birleştirildikten sonra beton ile güçlendirilir. Kirişlerin mantolama ile güçlendirilmesi Şekil 2.3' de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Perde duvarı ile yapılan güçlendirme (Insaport, 2022)



Şekil 2.3. Kirişlerin mantolama yolu ile güçlendirilmesi (Kocaboğa, 2019)

Yapıların güçlendirilmesinde betonarme perde ilavesi, betonarme mantolama, çelik çaprazlar ve CFRP gibi güçlendirme yöntemlerden herhangi biri ile yapılabilir (Yılmaz ve Seyhan, 2005).



Şekil 2.4. Güçlendirme Teknikleri (İnsaatim, 2021)

Yapı öğelerinin güçlendirilmesi için iyi bir davranış bilgisine gereksinim duyulmaktadır. Yapının tümünü dikkate almadan gerçekleştirilen güçlendirme faaliyeti fayda yerine zarar verebilmektedir. Güçlendirme işleminde oluşabilecek zarar durumu şu şekilde açıklanabilir (Aytaç, 2011).

a-Yapı Geometrisindeki Değişim: Güçlendirme işi yapının taşıyıcı sistemin geometrisini farklılaştırabilmektedir. Kirişlerin halihazırdaki durumu yeni durum için elverişli değil ise yeni problemlerin ortaya çıkamasına sebep olabilmektedir.

b-Eleman Rijitliğinde Değişim: Güçlendirme işi ile eğilme rijitliğinde ehemmiyetli seviyede iyileşmeler görülmektedir. Böylece yapının öğeleri arasındaki momentte, önemli farklılıklar meydana gelmiştir. Eleman rijitliği ile ilgili unsur güçlendirme işinde mutlaka değerlendirilmelidir.

c-Ankastrelik Seviyesinde Değişim: Güçlendirme işi ile yapıda bulunan öğeler ve bu öğelerden başka diğer malzemelerın sınır şartları farklılaşmaktadır. Bu bahsedilen farklılaşma ile birlikte yapı öğelerinde arzu edilmeyen baskılarda yükselmeler bir takım problemler meydana getirebilmektedir.

d-Donatı Oranının Yükselmesi: Kirişlerin eğilme şartlarının güçlendirilmesi ile birlikte çekme donatısı iyiliştirilmektedir. Bunun sonucunda donate oranlarının artmasıyla mevzuatlarda yasaklanan denge üstü donatılı bir kiriş haline gelebilmektedir. Buna göre uygun tedbirlerin alınması şarttır (Aytaç, 2011).

2.2. Polimerik Lifler

Bu lifler oldukça geniş bir dağılıma sahiptir. Ayrıca bu çeşit liflerin pekçoğu bitkisel kökenlidir. Polimerik lifler doğal ve sentetik lifler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal lifler; pamuk, sisal, iplik ve hint keneviri gibi bitkisel olanlar ve deri ve yün gibi hayvan kökenli olanlardan oluşur. Yirminci yüz yılın ikinci yarısından itibaren bu lif türleri önemli gelişmeler göstermiştir. Uzun zincirli ve yüksek elastisite modülüne sahip olan aramid gibi dayanıklı lifler, çeşitli araştırmalar ve çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir ve yeni liflerin üretimine olanak sağlamıştır. Başlıca sentetik lifler; polipropilen, naylon, perlon ve aramid'tir. Bu liflere ait çeşitli nitelikler Çizelge 2.1'de sunulmuştur (Songa ve ark., 2005).

Çizelge 2.1. Polimerik liflerin fiziksel özellikleri (Songa ve ark., 2005)

Elyaf tipi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Özgül Ağırlık (gr/cm3)	Nihai Uzama (%)	Ergime Sıcaklığı (oC)	Etkili Çap (10-3 mm)
Polietilen	200 - 300	5,0	0,96	3,0	253	25 - 1020
Naylon	965	5,17	1,16	20,0	260	23
Polipropilen	310 - 760	3,5 - 4,9	0,90 - 0,91	15,0	160	18
Aramid I	3620	62	1,14	4,4	-	12
Aramid II	3620	117	1,44	2,5	-	10

Yirmibirinci yüzyılda, malzeme teknolojisinin gelişmesi ile birlikte daha gelişmiş ve dayanıklı inşaat malzemelerinin kullanımına olanak sağlamıştır. Bilhassa fiber ve yapı kimyasallarındaki gelişmeler yapıda güçlendirme ve onarım konularında yeni tekniklerin gelişmesine olanak sunmuştur (Coza, 2011)

Bu tezin kapsamında cam elyaf ve karbon elyafın üzerinde yoğunlaşıldığından dolayı onlarla ilgili detaylar sonraki bölümlerde verilmiştir.

2.2.1. Cam elyaflar

Cam elyaflar; korozyona karşı yüksek mukavemetli, sertliği ve reaksiyona çeşitli malzemelerle aşırı bir şekilde girmemesi gibi özellikler gösteren elyaflardır. Ayrıca esnek, hafif bir ağırlığa sahip ve yapılara kolay bir şekilde kullanabilme kabiliyeti vardır. Bununla birlikte diğer liflerle karşılaştırıldığı zaman daha düşük bir maliyeti vardır. Cam lifler özelliklerini incelendiğinde bir çeşitli sınıfa ayırılmaktadır. Cam liflerin türleri aynı esneklik modüllerinde benzerlik gösterilmeleri ile birlikte, dayanım değerlerinde farklık gösteren bunun yanında çevredeki etkilere karşı iyi bir direnç gösterirler. Bu cam elyaflardan bahsetmek istiyorsak; (E tipi) elyafalr genelde kimayasal direnci ve çekme dayanımı düşüktür, (S tipi) elyaflar ise E tipi elyaflarla karşılaştırıldığında daha yüksek dayanım ve maliyet açısından daha yüksek değerlere sahiptir, (C tipi) elyaflar ise (E) ve (S) tipi elyaflara göre korozyona karşı büyük derecede mukavemet gösteren elyaflardır (Barbero, 1999).

Cam elyafların ağırlığı % 50 den fazlası (SiO_2) silisyum dioksit'ten oluşmaktadır. Ayrıca cam elyafın çeşidine göre belli bir oranlarla demir, bor, alüminyum, kalsiyum ve sodyum gibi oksitlerinden oluşmaktadır. kullanım yerlerine göre bir sürü cam lif türleri geliştirilmiştir. En yaygın olarak kullanılan cam elyaflar S tipi, C tipi ve E tipi olarak sıralayabilmektedir (Şahin, 2006; Yalçın, 2012).

Cam elyafların birim ağırlık ve çekme mükavemetleri çelikten önemli derecede daha yüksek değere sahip olduğuna rağmen, ısıl işlemlerine karşı mukavemetini çelikten daha düşüktür. E tipi ve S tipi cam lifli kompozit malzemelerin, karbon lif takviyeli kompozit malzemenin, çelik, titanyum ve alüminyum; yoğunlukları, elastisite modülü ve çekme dayanımı Çizelge 2.2'de verilmiştir (Yalçın, 2012).

Çizelge 2.2. Bazı metallerin ve kompozitlerin karşılaştırmaları (Yalçın, 2012)

	Alüminyum (7075T6)	Epoksi /Karbon Elyaf	Epoksi /S-cam Elyaf	Epoksi/ E-cam Elyaf	Çelik (4130)	Titanyum (6Al-4V)
Elastiklik Modülü (MPa)	69	145	52	59	207	114
Çekme Dayanımı [N/mm2]	572	1482	1103	1751	1300	1103
Yoğunluk [g/cm3]	2,76	1,55	1,99	1,99	8,01	4,43

Çizelge 2.2'de görüldüğü gibi; cam elyafların hafifliği, düşük maliyeti ve yüksek mukavemeti istenilen çaplarda üretilebilmeleri için cam elyafların yaygın olarak kullanılmalarını başlıca sebeplerindendir (Yalçın, 2012).

2.2.1.1. Cam elyafların özellikleri

Kompozitlerin üretiminde ilk elyaf tipi kullanılmış olan cam elyafların erimiş halini 0,8 -0,3 çapındaki kalıplardan çekilerek çok hızlı bir şekilde uzatılmasıyla elde edilmektedir. Genelde, cam elyafların kesitleri düz ve dairesel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunun yanında, üçgen, dikdörtgen, altıgen kesitlere sahip elyaflar ve içi boş dairesel elyaflar da şeklinde bulunurlar.

Cam elyafların gösterdiği en önemli özellikler; yüksek dayanım, kimyasal ve biyolojik ortamlarda yüksek mukavemet yanı sıra düşük maliyete sahiptir. Cam elyaflar su emmez ve suyun içindeyken boyutlarını değiştirmez. Ayrıca, kırılgan ve yüzey hasarına karşı hassasiyeti yüksektir. (Jones, 1999). Kompozitler üretiminde çoğu zaman cam elyaflar kullanılmaktadır. Bununla beraber cam elyafların üretimi açısından da kolaydır ve kimyasal ortamlarda mukavemetlidir (Barbero, 1999).

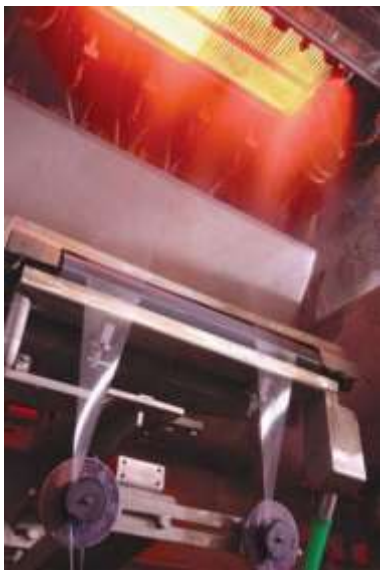
Çizelge 2.3'te bazı cam liflerinin tipik özellikleri verilmiştir (Sathishkumar ve Satheeshkumar, 2014).

Çizelge 2.3. Bazı cam elyaflara ait fiziksel ve mekanik özellikler (Sathishkumar ve Satheeshkumar, 2014)

Elyaf tipi	Özgül Ağırlık (gr/cm3)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E-Tipi Cam elyaf	2.58	3.445	72.3
C-Tipi Cam elyaf	2.52	3.310	68.9
S-2 Tipi Cam elyaf	2.46	4.890	86.9
A-Tipi Cam elyaf	2.44	3.310	68.9
D-Tipi Cam elyaf	2.11-2.14	2.415	51.7
R Tipi Cam elyaf	2.54	4.135	85.5
EGR Tipi Cam elyaf	2.72	3.445	80.3
AR-GLASS Tipi Cam elyaf	2.70	3.241	73.1

2.2.1.2. Cam elyafların üretimi

Borik asit, soda külü, silis kumu, feldispat, boraks, kireç taşı ve fluorspar gibi mineraller yüksek sıcaklıkları kullanılarak maddelerin eritililmesi ile cam elyaflar elde edilebilmektedir. 1500- 1600 ^{o}C arasında değişen sıcaklıklarla cam elyafları eritilip fırının sıcaklığı yavaş yavaş artmasıyla bir sıvı hale gelmektedir (Bunsell, 1988).



Şekil 2.5. Yüksek sıcaklıktaki sıvı cam elyafı (Kompozit, 2021)

Cam elyafların üretiminde kullanılan hammade cam malzemesidir. Ayrıca, hakiki camlar alkali ve alkalin toprak silikatlar yanısıra borat - alüminatlı karışımlardan oluşmasına rağmen elyafların üretiminde kullanılacak olanlar soda-kireç ve boraks silikatlardır (Hartman ve ark., 2013). İçindeki katı maddelerin oranlarına göre cama kazandırabileceği özellikler değişmektedir. Çizelge 2.4'te cam elyaf üretimine göre karışımın % olarak içeriği bu şekilde verilmektedir (Stevenken, 2001).

Çizelge 2.4. Tekstil cam elyafların yüzdelik karışım oranları (Stevenken, 2001)

Cam Tipi	A Tipi	D Tipi	Advantex	C Tipi	E Tipi	R Tipi	ECRGlas	AR Tipi	S-2 Tipi
Oksit	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO2	63-72	72-75	59-62	64-68	52-56	56-60	54-62	55-75	64-66
F2	0-0,4	-	-	-	0-1	0-0,1	-	-	-
Al2O3	0-6	0-1	12-15	3-5	12-16	23-26	9-15	0-5	24-26
Fe2O3	0-0,5	0-0,3	-	0,8	0-0,4	0-0,5	0-0,8	0-5	0-0,1
B2O3	0-6	21-24	<0,2	4-6	5-10	0-0,3	-	0-8	<0,05
ZrO2	-	.-	-	' -	-	-	-	1-18	-
CaO	6-10	0-1	20-24	11-15	16-25	8-15	17-25	1-10	0-0,2
TiO2	0-0,6		-	-	0-0,8	. 0-0,25	0-4	0-12	-

Çizelge 2.5 Cam elyafların tipleri ve özellikleri (Homestratosphere, 2022)

E-Tipi Cam elyaf	Ilk büyük sentetik kompozit takviye edilen ve asıl olarak elektriksel yalıtım uygulamaları için geliştirilmiştir. Bütün elyaf takviyelerden en yaygın olarak E tip elyaf kullanılmıştır. Bunun esas nedenleri ise diğer elyaflara kıyasla düşük maliyetli olmaları ve erken geliştirilmeleridir. E-cam lifleri, diğer takviyelerle karşılaştırıldığında nispeten düşük elastisite modülüne sahiptir. Ek olarak, E-cam elyafları sünme ve sünme (gerilme) kopmasına karşı hassastır.
C-Tipi Cam elyaf	C-cam veya kimyasal cam, kimyasal etkilere karşı en yüksek direnci gösterilmektedir. Korozif ortamlarda yapısal denge sağlarlar ve bu özellik, yüksek miktarlarda kalsiyum borosilikat varlığından kaynaklanmaktadır.C-cam, su ve kimyasalları tutan boru ve tanklar için yüzey dokusu şeklinde laminatların dış tabakasında kullanılmaktadır.
A-Tipi Cam elyaf	A-cam, alkali cam veya soda-kireç cam olarak da bilinmektedir. En yaygın olarak bulunan elyaf takviye türüdür. Üretilen camın yaklaşık %90'ı alkali camdır. Yiyecek ve içecekler için kavanoz ve şişe gibi cam kapların ve pencere camlarının yapımında kullanılan en yaygın tiptir. Soda-kireç camı kimyasal olarak kararlıdır, nispeten ucuzdur, son derecede işlenebilir ve oldukça serttir.

Çizelge 2.5 (devam)

D-Tipi Cam elyaf	D-glass, bileşiminde bor trioksit varlığından kaynaklanan düşük dielektrik sabiti ile bilinen bir cam elyafı türüdür.
ADVANRTEX Tipi Cam elyaf	Advantex cam elyafı, E-camın mekanik ve elektriksel özelliklerini ECR tipi cam elyafının asit korozyon direnciyle birleştiren yeni bir endüstri standardıdır.
ECRGLASS Tipi Cam elyaf	ECR cam elyafı ayrıca elektronik cam elyafı olarak da adlandırılır. Yüksek mekanik mukavemete, iyi su yalıtımına ve alkali ve asit korozyon direncine sahiptir.
S-2 Tipi Cam elyaf	S2-cam elyaf, mevcut olan en yüksek performanslı cam elyaf türüdür. S2-cam, diğer cam elyafı türlerine kıyasla bileşiminde daha yüksek bir silika seviyesine sahiptir.
R Tipi Cam elyaf	E-glass cam elyafına kıyasla daha yüksek çekme mukavemetine ve modülüne sahiptirler. Bu tip cam elyafın ıslatma özellikleri ve asidik mukavemeti de daha yüksektir.
AR-GLASS Tipi Cam elyaf	AR-cam veya alkaliye dayanıklı cam, betonda kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiştir. AR-cam, mukavemet ve esneklik sağlayarak betonun çatlamasını önlenmektedir.
Z-Tipi Cam elyaf	Z-cam, şeffaf görünen ürünlerin oluşturulması için kullanıldığı betonarme donatı üretimi de dahil olmak üzere çok sayıda üretiminde kullanılmaktadır.
M-Tipi Cam elyaf	M-cam elyafın bileşiminde berilyum vardır. Bu eleman cam elyafına ek esneklik katmaktadır.

2.2.2. Karbon elyaflar

Reçineler, güçlendirme elemanları, dolgu malzemeleri ve katkı malzemelerinden oluşan malzemeye kompozit adını alınmaktadır. Reçine, gerlimelerin ve birim şekil değiştirmenin elyafların arasındaki geçmesi ve yapıştırıcı vazivesi yapmaktadır. Güçlendirme elemanı ise dayanımı ve rijitliği sağlamaktadır. Dolgu ve katkı maddeleri ise yardımcı madde olarak ürünün işlenmesini sağlamaktadır. Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) malzemelerin (kompozitler) üç çeşitten oluşan malzemelerdir. Onlar da karbon, cam ve aramittır. Çok düşük ağırlıklara sahip olduklarına rağmen çok yüksek dayanımlara, korozyona karşı, dayanımına, yüksek mekanik ve fiziksel değerleri sahiptirler. Takviye edilmiş malzemeleri kumaşlar, çubuklar, tek yönlü plakalar ve çift yönlü örtüler şeklindedir. Güçlendirme uygulamalarında en uygun lifler, karbon lifleridir (Keskin, 2005).

Karbon elyaf takviyeli polimerler ikiye ayrılır:

- ✓ Karbon elyaf takviyeli plakalar.
- ✓ Karbon elyaf takviyeli kumaşlar.

2.2.2.1. Karbon elyafların özellikleri

Karbon kumaş vasıtasıyla bir yapının onarımı ve güçlendirilmesi yeni teknolojilerden biridir. Bu teknolojinin kullanımının kolay olması ve yapı kullanım alanının menfi etkilenmemesi sebebiyle çok önemli avantajları bulunmamaktadır. Bunun sayesinde yapı tahliye edilmeden yapıda yer alan taşıyıcı sistemi depreme karşı güçlendirilebilmektedir. FRP yapı malzemeleri yapı sistemlerinin güçlendirilmesi ve onarılmasında elverişli olarak tatbik edildiğinde, depreme maruz kalan bir yapının dayanımını, sünekliği ve enerji yutma kapasitesini, rijitliği ve yük taşıma kapasitesini önemli seviyede geliştirmektedir.

Son yıllarda karbon fiber takviyeli polimer kompozitler, düşük yoğunlukları ve yüksek dayanımı sebebiyle, hafif yapıların imalatında kullanılmaktadır. Termosetlerin yüksek performanslı kompozitlerde kullanılmasına ek olarak, termoplastikler düşük su geçirgenliği, yüksek sıcaklıklarda kimyasal direnci, yüksek tokluğu, şekillendirilebilirliği, boyutsal kararlılığı, geri dönüştürülebilirlik gibi bir sürü özellikleri sebebiyle kullanımı daha çok yaygınlaşmıştır (Ekici ve Işık, 2009).

Karbon elyaf takviyeli plakalar esas olarak iki unsudan oluşmaktadır. karbon elyaflar ve (epoksi) reçine matrisinden oluşurlar. Döşemeler, kolon, duvar, döşeme ve kirişlerin taşıma kapasitesini artırarak dış güçlendirme sağlamak için uygulanır (Besoglu, 2021). Karbon elyafların en önemli özellikleri yüksek tokluk, sünme, yorulma, darbe dayanımı yanısıra düşük yoğunluğa sahip bir malzemelerdir. Karbon elyaflar çoğu zaman metal martrisler yada plastik matrisler şeklinde kullanılır. Metal matrisler magnezyum ya da alüminyum maddelerle plastik matrisler ise epoksi reçinelerle yapılmaktadır (Rouchan, 1987; Kayrak, 1999).

Çizelge 2.6'da karbon liflerin mekanik nitelikleri sunulmuştur (Martins ,2018).

Çizelge 2.6. karbon liflerin mekanik nitelikleri (Martnis, 2018)

Ürün Kodu	Çekme Dayanımı [N/mm2]	Elastiklik Modülü [MPa]	Yoğunluk [g/cm3]
TY-030B-01	2550	135	1,76
TC33-6K	3590	225	1,78
T300	3500	230	1,80
K13D2U	3700	935	2,2



Şekil 2.6. CFRP plakaları (Sika, 2022)

Karbon elyaf takviyeli kumaşlar: Karbon elyaf kumaşları tek yada çift yönlü olacak şekilde yüzde yüz karbon elyaflardan oluşmaktadır. Dış takviye sağlayabilmek için duvarların, kirişler, tüneller, bacalar, siloler ve boruların yük taşıma kapasitelerini arttırarak tatbik edilmektedir . kolonlar ise eğilme, kayma ve kesme mukavemetlerini arttırmak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte yük altında uzun süre kalan yapıların yük taşıma kapasitesini kazandırmaktadır. Kirişlerde ise kesme ve eğilme mukavemeti arttırmaktadır. Bacalarda ise rüzgar yüküne karşı mukavemetini ve eğilme dayanımını

arttırmaktadır. Silolarda ise dairesel çevre gerilme dayanımını arttırıp yanısıra çatlaklar oluşumunu azaltmaktadır (Besoglu, 2021).



Şekil 2.7. CFRP kumaşı kirişlere uygulama örneği (Boytek, 2019)

Günümüzdeki yapılara yapılan onarım ya da güçlendirme farklı yöntemler ve malzemeler kullanılarak uygulanmaktadır. Bu malzemelerden örnek alarak CFRP (karbon elyaf kumaş) ve cam elyaf kumaşın kullanımıdır. CFRP ve cam elyaf kumaşları, çelik plakalarla yapılan güçlendirmenin yerine bir alternatif yöntem olarak geliştirilmiştir. Ayrıca CFRP'nin ve cam elyafların betonun mekanik özelliklerini iyileştiğini bilinmektedir. Bu çalışmada CFRP'nin ve cam elyafların çimentolu kompozitlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisini araştırılacaktır ve bu değişimlerin sargılanmamış olan çimentolu kompozitlerin eğilme davranışı ile karşılaştırılması hedeflenmektedir.

2.2.2.2. Karbon elyafların üretimi

Kompozit malzemeler, kompozit malzemelerin sergileyemeyeceği daha iyi fiziksel özellikler elde etmek için veya aralarında farklı arayüzlere sahip farklı yapılara sahip çok sayıda malzemenin mikroskobik bir arada bulunmasının sonucu olarak üretilmektedir. Kompozitler, diğer malzemelere göre yüksek sertlik, mukavemet ve yüksek sıcaklıklara direnci, korozyona karşı mukavemeti, elektriksel iletkenlik ve daha hafif ağırlık gibi faktörler nedeniyle mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. (Gül, 2014).

Selüloz esaslı karbon elyafların üretimi üç aşamadan oluşmaktadır:

1. Oksidasyon aşaması (< 400°C)

2. karbonizasyon aşaması (< 1500°C)

3. Grafitizasyon (> 2500°C)

Karbon fiber üretmek için en az üç aşama kullanılmaktadır. İlk aşamada kimyasal olarak hammaddeler ön işleme tabi tutulur, ardından oksidasyon aşamasına geçirilir ve son olarak yüksek sıcaklık altında (1000-1100ºC) karbonizasyon yapılır. Oksidasyon aşaması sayesinde numune karbonizasyon aşamasına hazır halde olmaktadır. Hızlandırılmış oksidasyon ayrıca karbonizasyon aşamasını hızlandırarak ürünün son hali karbon fiberin özelliklerini olumlu bir şekilde etkiler ayrıca üretim maliyetlerini düşürür.

Epoksi matrisi ile karbon fiberler birleştirildiği zaman genellikle mükemmel dayanıklılık ve sertlik gibi olumlu etkileri oluşmaktadır. Karbon fiberler yeni bir malzeme olduğundan ve durmaksızın gelişmeye devam ettiği için bir sürü çeşitleri değişmektedir. Cam ve aramid elyaflar Karbon elyaflarla kıyaslandığında karbon elyafın üretimi daha maliyetli olduğunu söyleyenebilir, o yüzden evvellik tıbbi malzemeler, uçaklar ve spor ekipmanlarında kullanılmıştır (Arıcısoy, 2006).

Piyasadaki bulunan karbon elyaflar iki şekli vardır: birincisi Sürekli Elyaflar ve ikincisi ise kırpılmış elyaflardır. Ayrıca bu elyaflar reçinelerin bütün türleri ile kombine edilebilmektedir.

Sürekli elyafların kırpılmasında Kırpılmış elyafları elde edilir. Genel olarak kullanıldığı yerler enjeksiyon işlemlerinde ve kimyasal valf elde edilmesinde kullanılmaktadır. Onların direnci sürekli elyaflara göre daha az olduğunu bilinmektedir.

Karbon elyafı esas olarak iki malzemeden oluşmaktadır bunlar ise: Zift (Pitch) ve PAN (Poliakrilonitril)

Zift esaslı karbon elyafları nispi olarak düşük mekanik özelliklere sahip olduğundan dolayı yapısal uygulamalarda nadir olarak kullanılmaktadır. Karbon elyafların mekanik nitelikleri üretim yöntemlerine bağlanmaktadır. Karbon elyafların sanayi açısından üretim yöntemleri grafitleme ve termal oksidasyon işlemleridir (Şahin, 2000). PAN esaslı karbon fibeleri daha hafif ve dayanıklı olduğu için her zaman geliştirmek aşamasındadır. Genellikle PAN karbon fibeleri dört aşamadan dönüştürülür.

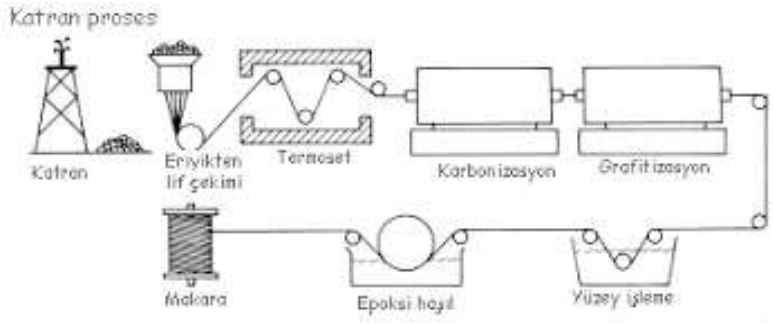
Oksidasyon: PAN lifleri, ilk fırına girmeden önce, çözgü olarak adlandırılan bir çekme bandına veya tabakaya düz bir şekilde yayılmaktadır. Oksidasyon fırını sıcaklığı 392°F ila 572°F (200°C ila 300°C) arasında değişir. İşlem, havadaki oksijen moleküllerini çözgüdeki PAN lifleriyle birleştirir ve polimer zincirlerinin çapraz bağlanmaya başlamasına neden olur. Bu, elyaf yoğunluğunu ~1.18 g/cc'den 1.38 g/cc'ye kadar yükseltmektedir.

Karbonizasyon: karbonizasyon, elyafı 1292-1472°F'ye (700-800°C) maruz bırakan düşük sıcaklıktaki bir fırında başlar ve 2192-2732°F'de (1200-1500°C) yüksek sıcaklıktaki bir fırında bitmektedir. Üretim süreci boyunca elyaf gerdirmeye devam edilmelidir. Sonuç olarak, karbon moleküllerinin kristalizasyonu, yüzde 90'dan fazla karbon içeren bitmiş bir elyaf üretmek için optimize edilebilir. Karbon ve grafit terimleri sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da, ilki yaklaşık 1315°C/2400°F'de karbonize olmuş ve %93 ila 95 karbon içeren lifleri belirtmerktedir. İkincisi 1900-2480°C'de (3450-4500°F) grafitleştirilir ve yüzde 99'dan fazla elemental karbon içermektedir.

Yüzey İyileştirmesi: Bu yapışmayı arttırmak için yüzey işlemi yapılır. Üreticiler farklı işlemler kullanır, ancak yaygın bir yöntem, fiberin sodyum hipoklorit veya nitrik asit gibi çözeltiler içeren bir elektrokimyasal veya elektrolitik banyodan çekilmesini içerir. Bu malzemeler her bir filamentin yüzeyini aşındırır veya pürüzlendirir, bu da ara yüzey lifi/matris bağlanması için mevcut yüzey alanını arttırır ve karboksilik asitler gibi reaktif kimyasal gruplar eklemektedir.

Kaplama: Ardından, boyutlandırma adı verilen bir kaplama uygulanmaktadır. Karbon fiberin ağırlığının %0,5 ila %5'inde boyutlandırma, taşıma ve işleme (ör.

dokuma) sırasında karbon fiberi kuru kumaş ve prepreg gibi ara formlarda korumaktadır. Boyutlandırma ayrıca, tüylenmeyi azaltmak, işlenebilirliği iyileştirmek ve elyaf ile matris reçinesi arasındaki ara yüzey kesme mukavemetini artırmak için filamentleri tek tek kıtıklarda bir arada tutmaktadır (Anonim, 2008).



Şekil 2.8. PAN ve PİTCH süreçleri ile karbon elyaf üretimi (Yaman ve ark., 2006)

2.3. Literatür Taraması

İlki ve Kumbasar (2002), araştırmasında, (CFRP) karbon elyaf takviyeli mazlzemeler betonun kalitesini düşük olan ve yetmediği kadarda sargı donatısını kullanmak gibi yetersizlikleri yok etmek için kullanmışlardır. Yön değiştiren tekrarlı eğilme ve eksenel yüklere maruz bırakılan çalışmda, numuneler onarılarak, enine ve boyuna yönlerinde CFRP kompoziti kullanılmakla güçlendirmeyi sağlanılmıştır. Onarılan ve güçlendirilen yapıya ait malzemeler tekrar aynı yükleme koşullarında deneye maruz bırakılmıştır. Araştırma sonucunda araştırılan güçlendirme ve onarım metodunun dayanım, süneklik ve enerji yutma niteliklerini olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. Deneysel çalışmanın neticesinde ise güçlendirme ve onarım metodunun deneye tutulmuş olan numunelerin adedi az olduğunu tespit edilmiştir deneyde daha fazla numuner kullanılmasını önerilmiştir.

Ye ve ark. (2003), çalışmasında 8 adet konsol kolon numuneleri kare enkesitli üretilerek kolon numuneleri üç gruba ayrılırmıştıt. Birinci grup beş numuneden oluşan, CFRP miktarının süneklik artışı üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Sabit eksenel yük (N) ve çevrimsel yanal yük (V), kolonu

güçlendirildikten sonra uygulanmıştır. ikinci grup ise, sadece bir kolona sahip hizmet koşulu altında güçlendirmeyi taklit etmek için öngerilmeli tendonlarla 230 kN'lik sürekli bir eksenel yük altında güçlendirilmiştir. üçüncü grupta ise iki kolon vardı. İki numuneyi grup 1'deki numunelerle aynı şekilde, kolonun çekme takviyesinin akma dayanımına ulaştığı dereceye kadar yüklenmiştir. Kontrol kolonda gevrek kesme davranışı görülürken güçlendirilmiş kolonlarda bu davranışı önlenmiştir. Birinci grupta, karbon elyaf takviyeli kompozitin hacimsel oranı ne keder arttırıldıysa süneklik davranışında bir artış ve eğilme davranışında bir göçme gözlenmiştir. İkinci grupta ise, aynı oranda karbon elyaf takviyeli kompozit ile sarılanmış birinci gruptaki numunelere göre daha düşük bir sünek davranışı gözlemlenmiştir. Üçüncü grupta ise, ilk baştaki oluşmuş olan hasarın sebebiyle kolonun rijitliğinde bir azalma oluşsa da yerdeğiştirme kapasitesinde bir artış gözlemlenmiştir. Deneyler gerçekleştirdikten sonra güçlü kesme zayıf eğilme faktörü hesaplanmış bunun yanında karbon elyaf takviyeli kompozitin oranının en az olduğu kolon harici olarak takviyesinde istenilen sargılama etkisinin sağlandığı görülmüştür.

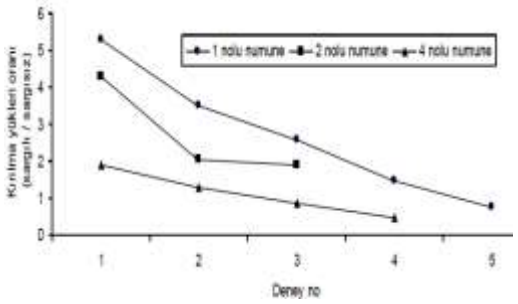
Saadatmanesh ark. (1997), GFRP kompozit ile güçlendirilen ve onarılan betonarmenin kolanlarının depreme karşı davranışlarını araştırmışlardır. Araştırmacılar boyuna doğrultuda kullanılan GFRP kompozit tabakalaırn donatının burkulmasına engellemede ve enine doğrultuda betonu sargılamada etkili olduğunu saptamışlardır.

Fam ve ark. (2004) tarafından, beş adet kolon ve üç adet kiriş şeklinde düzenlenen ve kısmı ya da tamamen beton ile doldurulan dikdörtgen şeklindeki cam lif katkılı polimer tüpleri araştırılmıştır. Kolonlar 9000 kN kapasitesine sahip olan basınç presine maruz edilirken , kirişler ise 2000 kN kapasitesine sahip olan 4 noktalı eğilme testine bırakılmıştır. Araştırmacılar, kiriş ve kolonda çeşitli eksantrisite değerleri için, numnelerden biri kiriş ağırlığının min. değere azaltmak hedefiyle kısmı betonla doldurulken iki tanesi tamamen beton ile doldurularak yapmış oldukları araştırma sonucunda; Kısa kolonlarda GFRP tüpünün orta bölgelerinin daha fazla dayanımlar gösterdiği tespit ederken kısmı doldurulan kirişlerin tamamen doldurulan kirişlere nazaran aynı rijitlik göstermekle birlikte, başkaca yerel kırılma ve

bozulmalardan dolayı daha küçük eğilme mukavemetine sahip olduğunu saptamışlardır.

Neagoe (2011), Bu araştırmada beş adet betonarme kirişi kullanmışlardır.Birinci grupta sadece bir adet kontrol numunesi vardı. ikinci grupta ise iki adet kirişe bir kat CFRP sargılanma yapılmıştır . üçüncü grupta ise iki kirişe 2.gruptaki gibi kullanılan CFRP iki kat şeklinde sargılanma yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda harici takviye olarak tatbik edilmiş CFRP'ler, kirişlerin sertliğini ve maksimum yükünü arttırdığını tespit edilmiştir.

Öncü ve ark. (2010), çalışmalarında karbon elyaf takviyeli kumaş ile sarılmış olan eksenel yük altındaki beton kesitlerin etkilendiğini tespit etmişlerdir. Bunun için çalışmanın analizinde incelenen bir yapıdan ayrı olarak betonun mukavameti daha düşük olan betonarme yapıdan 4 adet karot numune alarak eksenel yüke maruz bırakmışlardır. Daha sonra araştırmacılar CFRP kumaş ile sarılı numuneleri tekrar basınç deneyine tabi tutmuşlardır. Araştırmacılar deneysel çalışmaların sonucunda, düşük dayanımlı ve taşıma gücünü kaybeden betonun kesitleri karbon elyaf takviyeli kumaş ile güçlendirilmesi ile birlikte dayanımın önemli oranda arttığını saptamışlardır. Araştırmacılar sargılanmamış olan numunelerin kırılma yükleri, karbon elyaf takviyeli kumaş ile sargılandıktan sonraki numuneler ilk yüklemedeki kırılma yükleri 1.89 ile 5.29 arasındaki değişen oranların dolaysıyla değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir (Şekil 2.9).



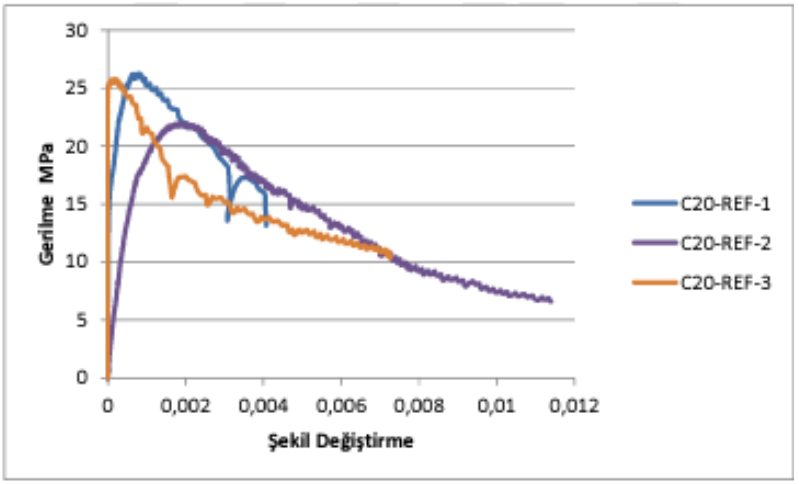
Şekil 2.9. CFRP ile sargılanan ve sargılanmamış olan karot numunelerin kırılma yükleri oranları(Öncü ve ark, 2010)

Çelik (2012), tarafından betonarme yapıdan tedarik edilen karot numunelerin üzerindeki dayanımlılık etkisi laboratuar koşullarında incelenmiştir. Betonun standardı aynı olan farklı numunelere, karbon elyaf ve yapıştırıcı malzemesi (epoksi) kullanılarak farklı sarma yöntemleri tatbik edilmiştir. Araştırmacı, nispeten düşük dayanımlı özel bir binadan karbon elyaf sarılı numunelerden temin edilen karot numunelerinin, hazır beton santrallerinden alınan standart silindir numunelere göre daha iyi ve daha sünek dayanım gösterdiği tespit edilmiştir.

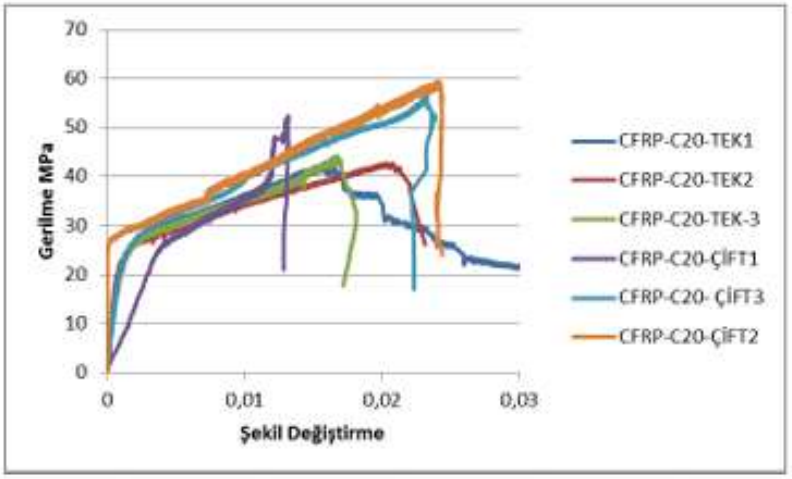
Raval ve Urmil (2013), benzer kesit alanlı dikdörtgen, kare ve dairesel kesitlere sahip betonarme kolonlar için glass elyaf takviyeli ile onarım ve güçlendirmenin etkisini araştırmıştır. Toplam olarak 15 adet ve 1 m yüksekliğinde betonarme kolon örneği kullanılmıştır. Bu üretilen kolon örneklerinden 9 tane kontrol örneği şeklinde değerlendirilirken, diğer 6 kolon da köşe yarıçapları 20 mm olarak GFRP sargı ile güçlendirilmesi yapılmıştır. Deney soncunda, eksenel deformasyon yönünde daire kesitli numuneler dikdörtgen ve kare kesitli numunelere nazaran daha iyi mukavemet göstermiştir. Üstelik kolonun sargılanması ile birlikte, asıl kolonun boyutları değişmeden süneklik, mukavemet ve yük taşıma kapasitesi yükselmiştir.

Sharma ve ark. (2013), araştırmalarında, GFRP (Cam Lifleriyle Güçlendirilmiş Polimer) sarılı betonarme kolonlarının performansını, sarılı olmayan betonarme kolonları ile karşılaştırmışlardır. 125*125*1200 mm boyutları olan 15 betonarme kolon numune eksenel basınca bırakılmıştır . Numunelerin 3 tanesi referans numune olarak seçilmiştir. 25 mm yarıçaplı numunenin üç kolonu sırayla bir sonra iki kat cam elyaf takviyeli kumaşı ile sarılmıştır. Cam elyaf takviyeli kumaşlı numunelerinin erken yırtılmasını önlemek için, köşeler 5 mm'lik bir yarıçapla yuvarlatıldı ve kalan 6 kolon ise sırayla 5 mm'lik bir köşe yarıçapına sahip bir yada bir ve iki kat cam elyaf takviyeli kumaş ile sarıldı. Deneysel sonuçlar, düz kolonun kare kesitli kenarının, kenarda GFRP kompozitinin kopmasını tehir etmekte büyük bir rol oynadığını göstermektedir. Araştırmacılar, GFRP katmanlarının sayısının basınç dayanımını artırmasına rağmen, bu artış ile katman sayısı arasında doğrusal bir değişiklik olmadığını gösterdi. Ayrıca tabaka sayısı arttıkça eksenel birim şekil değiştirme ve gerilmenin arttığı göstermiştir.

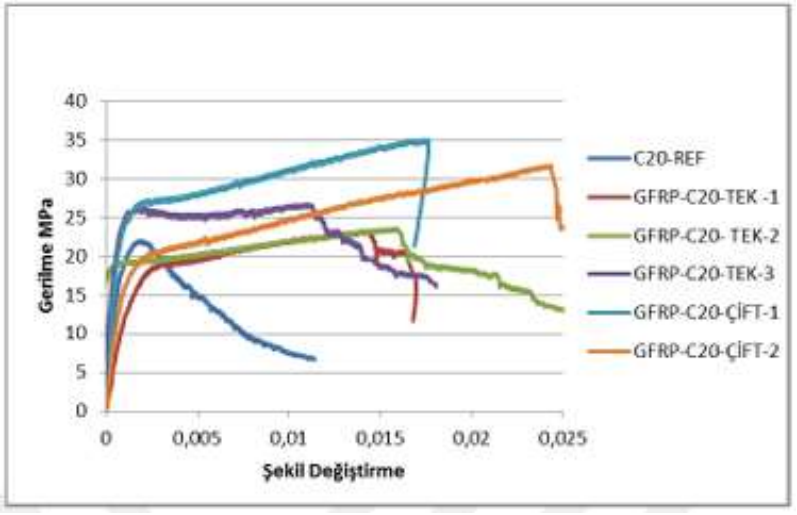
Ünal (2018), tarafından yanal deformasyonları, laboratuvar koşulların altındaki FRP ile sınırlandırılmış beton incelenmiştir. C20, C50 ve C75 şeklinde 3 çeşit beton sınıfı, bir ve iki kat şeklinde iki çeşit sargılama kalınlığı ve CFRP ve GFRP olmak üzere iki çeşit sargı malzemeleri değerlendirilerek deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, sarılmış betonun mukavemetinin ve sünekliğinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir. Bu artışın azalan beton mukavemeti ile arttığı tespit edilmiştir. Şekil 2.10'da referans, CFREP ve GFRP için C20 beton numuneleri için gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. CFRP ve GFRP sargılı numunelerin kontrol numunelerine göre gerilme değerlerini arttırken şekil değiştirme değerlerini azalttığını saptamıştır. CFRP sargılı numunelerin GFRP numunelere nazaran gerilme-şekil değiştirme açısından daha iyi performans sergilediğini tespit etmiştir. Ayrıca araştırmacı çift sargılı numunelerinde tek sargılı numunelere göre gerilme-şekil değiştirme açısından daha iyi performans sergilediğini vurgulamıştır.



Referans-C20 Numunelerin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



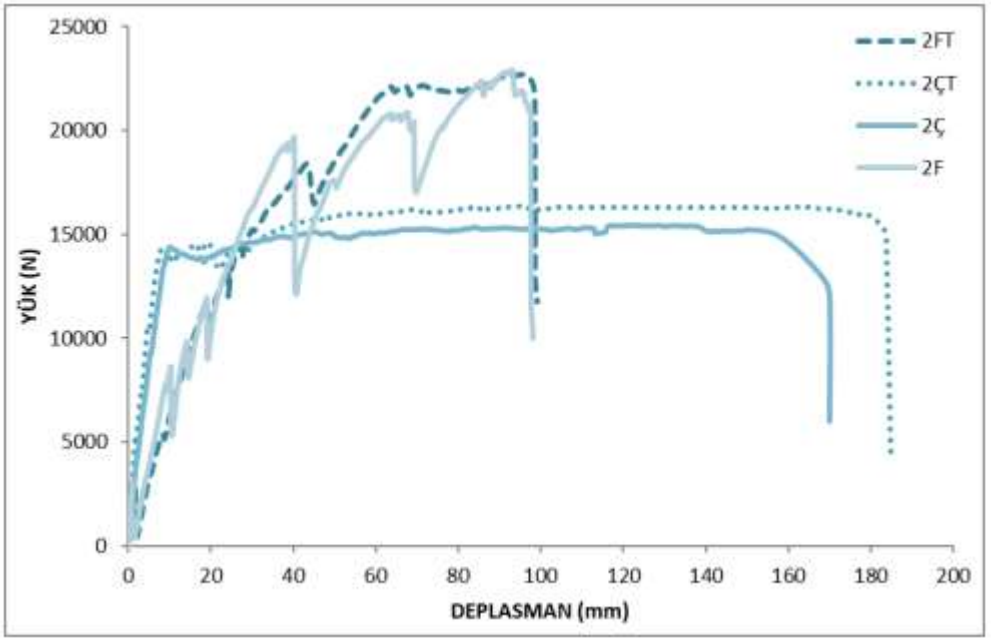
CFRP-C20 Numunelerin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



GFRP-C20 Numunelerin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 2.10. Referans, CFREP ve GFRP için C20 numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği (Ünal, 2018)

Gemi ve Köroğlu (2018), tarafından 5 cm yüksekliğinde çekme bölgesinde PP lif ilaveli betonun kullanıldığı cam elyaf takviyeli polimer ve etriyesiz çelik donatılı kirişlerin eğilme etkisinin altındaki davranışı incelenmiştir. O yüzden imal edilen cam elyaf takviyeli polimer ve çelik donatılı etriyesiz kirişler 3 noktalı cihazı ile eğilme deneyleri yapılmıştır. Çalışmada 15*20*210 cm ebatlarındaki 4 adet kiriş üretilmiştir. 1. Numune control numne olarak diğer numunelerle kaşılaştırma yapmak amacıyla S420 çeliği ve lifsiz kullanılarak üretilmiştir. Numuneler çekme bölgesinde, 2ÇT; iki adet 8 mm çelik donatı ve 5 cm PP elyaf takviyesi, 2Ç ise iki adet 8 mm çelik donate, 2FT; iki adet 8 mm cam elyaf takviyeli polimer donatı ve çekme bölgesinde 5 cm PP elyaf takviyesi,2F; iki adet 8 mm cam elyaf takviyeli polimer donatı şekli ile adlandırılmıştır. 2FT numunesinde Çekme bölgesinde betondaki oluşan ilk çatlak 5050 N ve 8 mm orta noktanın deplasmanında gerçekleşmiştir. 2FT numunesi ise 22000 N ve 99 mm orta nokta deplasman ile göçmeyi yapmıştır. (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Deneylerde kullanılan numunelerinin yük-deplasman grafiği(Gemi ve Köroğlu, 2018)

Ayrıca araştırmacılar eğilme deneyleri ile eğilme dayanımları hesap edilerek yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Araştırma sonucunda cam elayf takviyeli polimer donatılı kirişlerin eğilmeye karşı önemli bir oranda arttığını tespit edilmiştir.

Efe ve Oluwoye (2020), araştırmasında önceden hasar görmüş betonarme (RC) kirişleri CFRP laminatlarla güçlendirmek için deneysel çalışmalar yürütmüştür. 100 mm × 200 mm x 1520 mm boyutlarında beş (5) kiriş numunesi (1 düz beton kiriş, 1 kontrol RC kiriş-B1, 1 önceden yüklenmiş CFRP-B2 sarılı RC kiriş-B3 ve 2 CFRP sarılı RC kiriş-B4 ve B5) ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Takviye olarak iki adet 12,7 mm çapında çubukla, iki adet 9,5 mm çapında iki ayaklı etriye ile 150 mm aralıklı ve 25 mm şeffaf örtü ile takviye edilmiştir. Araştırmacılar ilk çatlak yükü artışını %15-40, nihai yükte ise %5-18 arasında tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar CFRP sargılı kirişlerinde bir bükülme yaşadığını belirtirken bunun FRP sargılarının ayrılmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Çimento

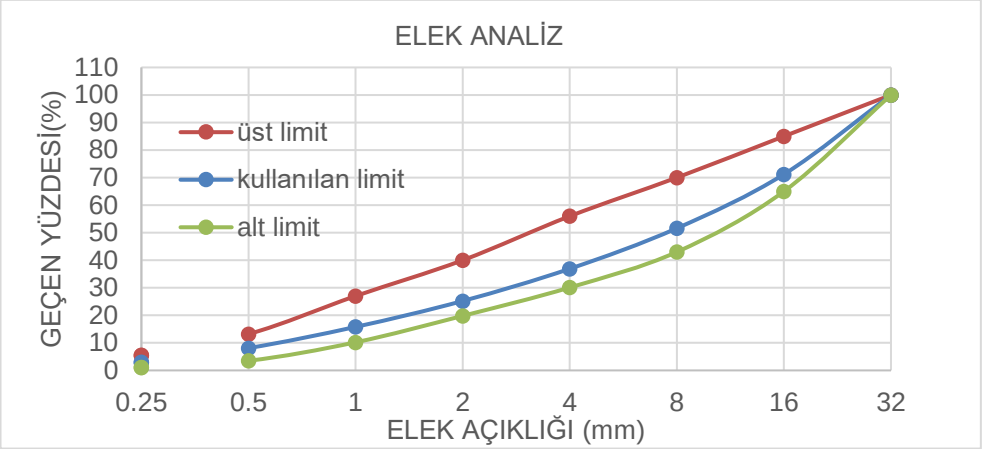
Bu çalışmada kullanılan çimento (TS CEM I 42.5R) Portland çimentosudur. TS EN 197-1 Türk standardına göre yüzey alanı (Blaine) 327 m^2 / kg ve özgül ağırlığı 3.15' tır.

3.1.2 Agrega

Bu çalışmada kullanılan agrega Fırat nehrin dere yataklarından elde edilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı 2.65 olmaktadır. Kullanılan agreganın resmi ve agreganın granülometri grafiği aşağıdaki Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan agrega



Şekil 3.2. kullanılan agreganın granülometri eğrisi

3.1.2. Karbon elyaf

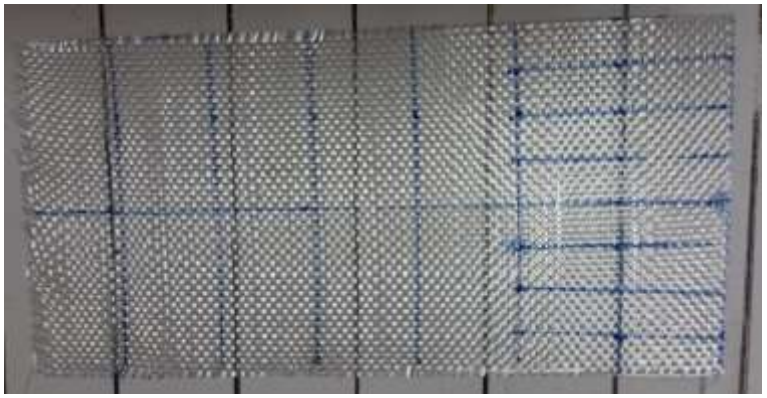
Bu Çalışmada 200 gr/m² alan yoğunluğuna sahip olan dokum türü, düz dokunmuş çok eksenli karbon kumaş kullanılmıştır. Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Karbon elyaf kumaş örneği

3.1.3. Cam elyaf

Bu Çalışmada 200 gr/m² alan yoğunluğuna sahip olan dokum türü, düz dokunmuş çok eksenli cam kumaş kullanılmıştır. Şekil 3.4'de gösterildiği gibidir



Şekil 3. 4. Cam elyaf kumaş örneği

3.1.4. Epoksi

Çalışmada kullanılan ve Fibermak kompozit'ten temin edilen F-1564 reçinesinin özellikleri çizelge 3.1'de verilmiştir. F-3487 sertlerştiricinin özellikleri ve çizelge 3.2'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. F 1564 Reçine özellikleri

Görünüm	Berrak-sıvı		
Renk	Şeffaf		
Viskozite (25 c°)	1200-1400	m Pa.s	
Yoğunluk (25 c°)	1,15	gr/cm3	
Kürlenme	23 c°	2 gün	
	80 c°	4 saat	
	100 c°	2 saat	
Raf ömrü (oda sıcaklığı)	12	Ay	
Karışım oranı (ağırlıkça)	F-1564 reçine		100
	F-3486-3487 sertleştirici		34



Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan reçine

Çizelge 3.2. F-3487 sertleştirici özellikleri

Görünüm	Berrak-sıvı		
Renk	Şeffaf		
Viskozite (25 c°)	30-70	m Pa.s	
Yoğunluk (25 c°)	1	gr/cm3	
Kürlenme	23 c°	2 gün	
	80 c°	4 saat	
	100 c°	2 saat	
Raf ömrü (oda sıcaklığı)	12	Ay	
Karışım oranı (ağırlıkça)	F-1564 reçine		100
	F-3486-3487 sertleştirici		34

3.2 Karışım Tasarımı

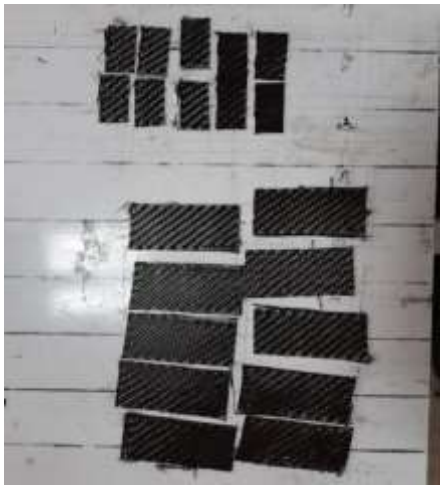
Bu çalışmada 3 sınıf dayanımı yüksek, orta ve düşük dayanımlı numuneler üretilmesini düşünülmüştür. Bunlar için 0.3 S/Ç ve 2.5 K/Ç oranına 634,26 kg/m³ çimento dozajına, 0,4 S/Ç ve 3 K/Ç oranına 535,26 kg/m³ çimento dozajına ve 0,65 S/Ç ve 3.5 K/Ç oranına 432,65 kg/m³ çimento dozajına sahip numuneler düşünülmüştür. Kalıba yerleşmesini ve sıkıştırılabilirliği değerelndirilerek yapılan denemeler sonucunda %1'lik kimyasal katkı ihtiyacını segregasyona uğramadan ve su kusması olmadan (terleme) kalıba yerleşmesi sağladığı tespit edilip %1'e karar verilmiştir. Aşağıdaki tabloda verilen beton karışım oranları bu şekilde alınmıştır.

Çizelge 3.3. Beton karışım oranları

Beton Karışım Oranları				
	Çimento (Kg\m³)	Agrega (kg\m³)	Su(kg\m³)	SP (kg\m³)
Düşük dayanımlı	432.65	1514.27	281.22	-
Orta dayanımlı	535.26	1605.78	214.104	-
Yüksek dayanımlı	634.26	1585.65	190.28	6.35

3.3 Deney Numunelerin Hazırlanması

Yapılan çalışmada hem karbon elyaf hem de cam elyaftan 1/7 ve 4/7 açıklık oranıyla elyafları kesilip numunelerin alt kısmına yapıştırılarak güçlendirme sağlanmıştır. Şekil 3.6 , Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de yer verildiği gibi elyaflar kesici bıçağı kullanılarak hazırlanmıştır ve yapıştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.6. Kesilmiş olan karbon elyaf



Şekil 3.7. Yapıştırılma işlemine hazır numuneler



Şekil 3.8. Karbon ve cam elyaf numunelere yapıştırıldıktan sonra görünümü

3.2. Deneysel Çalışma

Çalışmada örgü (waven) çok eksenli cam ve karbon elyafları kullanılmıştır. Eğilme dayanımı deneyinde yüksek, orta ve düşük dayanımlı 40*40*160 mm boyutlarındaki prizma numuneler kullanılmıştır. 0.3 S/Ç oranına sahip 634.26 kg/m³ çimento dozajına, 0.4 S/Ç oranına sahip 535.26 kg/m³ çimento dozajına ve 0.65 S/Ç oranına sahip 432.65 kg/m³ çimento dozajına sahip yüksek, orta ve düşük dayanımlı olan karışımların harçları ile prizmatik numuneler üretilmiştir. Yüksek dayanımlı numunelerde 6.35 lt süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. 3 dayanım sınıfına ait olan prizma numunelerin alt yüzlerindeki açıklığın 1/7 ve 4/7 oranlarındaki orta bölümlerine karbon ve cam elyaf kumaşı epoksi vasıtasıyla yapıştırılarak güçlendirme sağlanmıştır.. Karışımların her birinden 3'er adet numune alınarak toplam 45 örnek hazırlanmıştır. 3 sınıf dayanımından 50*50*50 mm boyutunda 6'şer numune üretilerek toplam olarak 18 numunenin basınç dayanımlarını test edilmiştir. Bütün numuneler 28 günlük ıslak kürlemeye bırakıldıktan sonra deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Eğilme dayanım deneyi

40*40*160 mm boyutlarındaki prizma numuneler kullanılmıştır. S/Ç oranı 0.3, 0.4, 0.65 ve çimento dozajı 634.26, 535.26, 432.65 kg/m³ sırayla karıştırılarak numuneleri hazırlanıp elde edilen numunelerden 3 dayanım sınıfı olacak şekilde üretilmiştir. Numunelerin her birinden 3'er numune dökülerek toplam olarak 45 numune hazırlanmıştır.. Numunelerin laboratuvarda 28 günlük kür işlemine tutulduktan sonra numunelerin alt yüzlerindeki açıklığın 1/7 ve 4/7 oranlarındaki orta bölümlerine karbon ve cam elyaf kumaşı epoksi vastasıyla yapıştırılarak yapılmıştır. Bunlar 1/7 açıklık oranında düşük dayanımlı karbon ve cam takviyeli Kumaş numuneler (D-Cam-1/7 ve D-Karbon- 1/7) ve 4/7 açıklık oranındaki düşük dayanımlı karbon ve cam takviyeli kumaş numuneler (D-Cam-4/7 ve D-Karbon-4/7), 1/7 açıklık oranında orta dayanımlı karbon ve cam takviyeli kumaş numuneler (O-Cam-1/7 ve O-Karbon- 1/7) ve orta dayanımlı 4/7 açıklık oranındaki karbon ve cam takviyeli kumaş numuneler (O-Cam-4/7 ve O-Karbon- 4/7), 1/7 açıklık oranında yüksek dayanımlı karbon ve cam takviyeli kumaş numuneler (Y-Cam-1/7 ve Y-Karbon-1/7) ve 4/7 açıklık oranındaki karbon ve cam takviyeli kumaş numuneler (Y-Cam-4/7 ve Y-

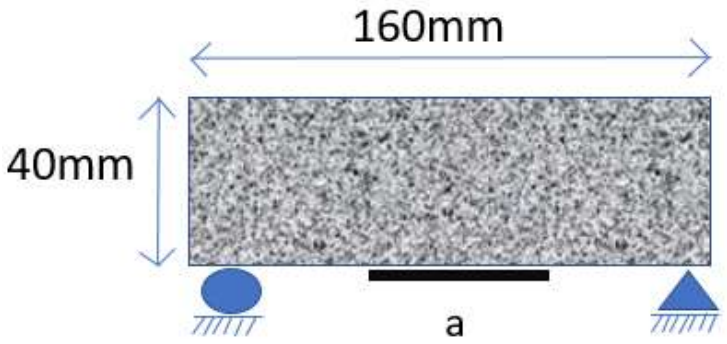
Karbon- 4/7)'dir. Düşük, orta ve yüksek dayanımlı kontrol numuneleri (D-kontrol, O-kontrol ve Y-Kontrol) ile kıyaslanmıştır.

Bu numuneler Üç noktalı eğilme cihazına yerleştirilip kırılmaya kadar işlemi sürdürmüştür. Ayrıca a/l oranları hesaplanarak istatiksel işlemleri yapıp, elde edilen gerilme- birim deformasyon grafiğini çizmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar incelenerek kırılma sebebi ve oluşacağı maksimum eğilme dayanımı elde edip aralarında karşılaştırma yapılmıştır.

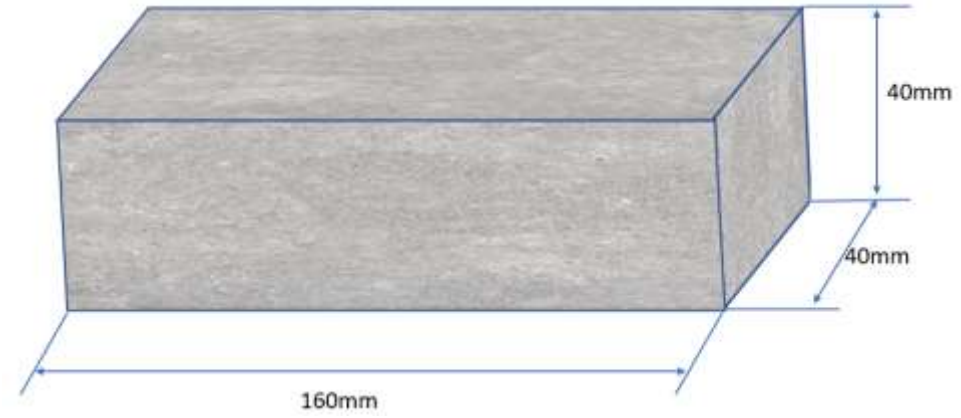
a: yapıştırılan karbon elyaf kumaşın uzunluğu. (mm)

l: prizma numunenin boyu .(mm)

Numune detayları ve deney düzeneği Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.9. Yüklemeye tutulan prizma numunesi



Şekil 3.10. Prizma numunesi



Şekil 3.11. Üç noktalı eğilme test cihazı

3.2.2. Basınç dayanım deneyi

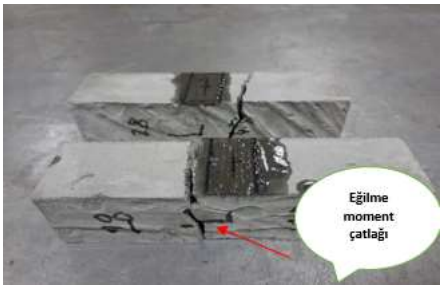
Bu deneyde 3 sınıf dayanımından 50*50*50 mm boyutunda 6'şer numune üretilerek toplam olarak 18 numunenin basınç dayanımlarını test edilmiştir. Laboratuvardaki 28 günlük kür işlemine bekletilen numuneler basınç test cihazına yerleştirilerek elde edilen sonuçlar tespit edilmiştir.

3.2.3. Kırılma şekillerinin incelenmesi:

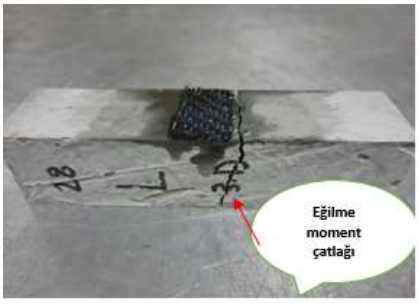
Çizelge 3.4. Düşük dayanımlı kontrol ve elyaflarla takviye edilmiş olan numunelerin kırılma şekilleri



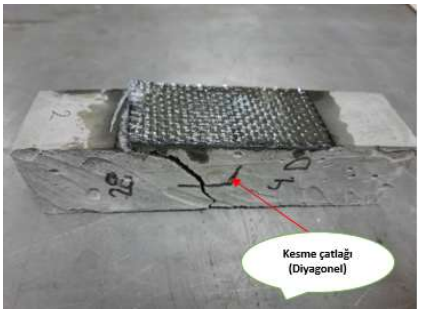
a) Düşük dayanımlı kontrol numune



b) Düşük dayanımlı 1/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



d) Düşük dayanımlı 1/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune



c) Düşük dayanımlı 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



e) Düşük dayanımlı 4/7(AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

DD'de Karakteristik kontrol prizmatik numunesinin kırılma şekli çizelge 3.4. (a)'de sunulmaktadır. Kontrol numunesinin kırılma şekli, şekil(a)'de gösterildiği gibi kritik orta açıklık bölümünde tipik bir eğilme çatlağıdır.

DD'de 1/7 (AO) KETK ve CETK numuneler ise kırılma şekilleri çizelge 3.4. (b) ve (d)'de gösterilmektedir. Numuneyi test edildiğinde güçlendirilmiş bölgeyi rijitleşir dolayısıyla güçlendirilmiş bölgenin ucundaki eğilme momentin konsantrasyonu değişip yükselecek. Momentin tam değiştiği noktada eğilme çatlağı oluşmaktadır.

DD'de 4/7 (AO) KETK ile CETK numunelerin kırılma şekilleri çizelge 3.4. (c) ve (e) 'de sunulmaktadır. Burdaki oluşan kırılma, kesme etkisinden gitmektedir. Numunelerde Sıyrılmayı oluşmadan diyagonal kesme çatlağı oluşmaktadır.

Çizelge 3.5. Orta dayanımlı kontrol ve elyaflarla takviye edilmiş olan numunelerin kırılma şekilleri



a)Orta dayanımlı kontrol numune



b) Orta dayanımlı 1/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



d) Orta dayanımlı 1/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune



C) Orta dayanımlı 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



e) Orta dayanımlı 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

OD'de kontrol prizmatik numunenin kırılma şekli çizelge 3.5. (a)'de sunulmaktadır. Kontrol numunesinin kırılma şekli, şekil(a)'de gösterildiği gibi kritik tam orta bölümünden tipik bir eğilme çatlağıdır.

OD'de 1/7 (AO) KETK ile CETK numunelerin kırılma şekli çizelge 3.5. (b) ve (d)'de sunulmaktadır Numuneyi test edildiğinde güçlendirilmiş bölgeyi rijitleşir dolayısıyla güçlendirilmiş bölgenin ucundaki eğilme momentin konsantrasyonu değişip yükselecektir. Momentin tam değiştiği noktada eğilme çatlağı oluşmaktadır.

OD'de 4/7 (AO) CETK numunesi şekil (c)'de verilmektedir. Kompozit etkisi kaybından dolayı kumaş-prizmatik numune arayüzeyin sıyrılması oluşmuştur. burdaki oluşan kırılma, gerilme konsantrasyonundan dolayı kumaşın ucundan başlar ve içeri doğru sıyrılma yayılımı ile sona ermektedir. Bu bölgedeki esasen gerilimler kesme gerilimidir. Ancak kompozitin küçük fakat sıfır olmayan bükülme sertliği nedeniyle normal gerilim ortaya çıkabilmektedir.

OD'de 4/7 (AO) KETK numunesinin kırılma şekli çizelge 3.4. (c) ve (e) 'de sunulmaktadır. Burdaki oluşan kırılma, kesme etkisinden gitmektedir. Numunede Sıyrılmayı oluşmadan diyagonal kesme çatlağı oluşmaktadır.

Çizelge 3.6. Yüksek dayanımlı kontrol ve elyaflarla takviye edilmiş olan numunelerin kırılma şekilleri



a) Yüksek dayanımlı kontrol numune



b) Yüksek dayanımlı 1/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



d) Yüksek dayanımlı 1/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune



C) Yüksek dayanımlı 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



e) Yüksek dayanımlı 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

YD'de kontrol prizmatik numunenin kırılma şekli çizelge 3.6. (a) 'de sunulmaktadır. Kontrol numunesinin kırılma şekli, şekil(a)'de gösterildiği gibi kritik orta açıklık bölümünde eğilme çatlağıdır.

YD'de 1/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin kırılma şekilleri çizelge 3.6. (b),(d) 'de sunulmaktadır. Numuneyi test edildiğinde güçlendirilmiş bölgeyi rijitleşir dolayısıyla güçlendirilmiş bölgenin ucundaki eğilme momentin konsantrasyonu değişip yükselecektir. Momentin tam değiştiği noktada eğilme çatlağı oluşmaktadır.

YD'de 4/7 (AO) CETK ve KETK numunelerin kırılma şekilleri çizelge 3.6'da (c) ve (e)'de verilmektedir. kompozit etkisi kaybından dolayı kumaş-prizmatik numune arayüzeyin sıyrılması olmuştur onun sebebi YD'inin pürüzsüz olmasından dolayı cam ve karbon elyaf takviyeli kumaşların prizmatik yüzeylere tam tutuşmamasından kaynaklandığını düşünülmektedir. Ayrıca burdaki oluşan kırılma, gerilme konsantrasyonundan dolayı kumaşın ucundan başlar ve içeri doğru sıyrılma yayılımı ile sona ermektedir. Bu bölgedeki esasen gerilimler kesme gerilimidir. Ancak kompozitin küçük fakat sıfır olmayan bükülme sertliği nedeniyle normal gerilim ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 3.12. YD numunesinin pürüzsüz yüzeyinden karbon elyaf sıyrılması

4. ARAŞTIMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen araştırma ve bulgulara yer verilmiştir. İlk olarak basınç deneyim deneyine ait bulgular daha sonrada egilme dayanım deneyine ait bulgular tablo ve şekiller yardımı ile açıklanmıştır.

4.1. Basınç Dayanım Değerleri

Deneysel çalışmalar sonucunda düşük, orta ve yüksek dayanımlı numunelerde elde edilen maksimum basınç dayanım değerleri çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda elde edilen maksimum basınç dayanım değerleri

Basınç deney gerilme değerleri (MPa)			
	yüksek dayanımlı max gerilme	orta dayanımlı max gerilme	düşük dayanımlı max gerilme
1. numune	108.64	73.46	29.56
2. numune	98.03	60.67	32.78
3.numune	95.26	58.25	25.8
4.numune	91.18	65.7	26.76
5.numune	96.8	69.92	26.6
6.numune	104.24	59.51	28.12
Ortalama	99.02	64.58	28.27
std. sapma	6.345	6.159	2.576

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi yüksek dayanımlı numunelerin 1. numunesinde en yüksek maksimum gerilme 108.64 MPa, orta dayanımlı numunelerin 1. numunesinde 73.46 MPa ve düşük dayanımlı numunelerin 2. numunesinde 32.78 MPa olarak gerçekleşmiştir.Ortalama maksimum basınç değerleri YD'lerde 99.02 MPa, OD'de 64.58 MPa ve DD'de ise 28.27 MPa'dır.

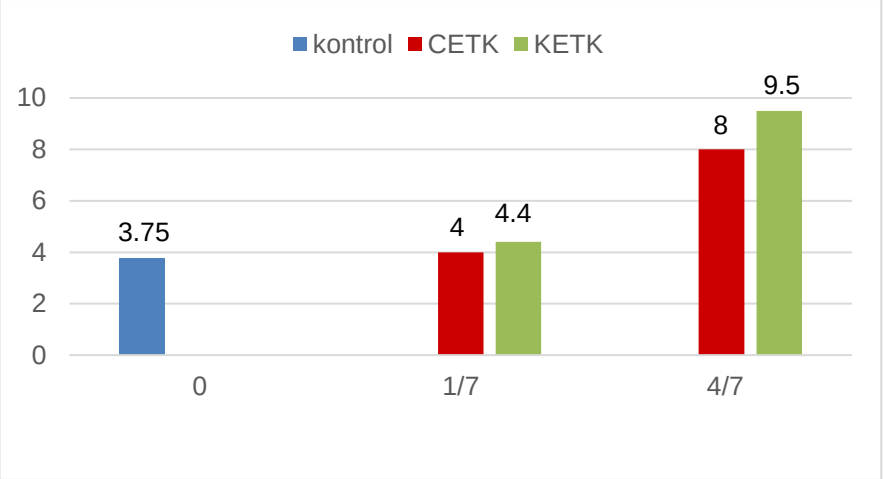
4.2. Eğilme Dayanım Performans Değerleri

4.2.1. Elyaf kumaş takviyesinin düşük dayanımlı numunelerin (DD) eğilme performansın üzerindeki etkisi:

Çizelge 4.2'de DD'de elde edilen eğilme dayanım değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. DD'de elde edilen eğilme dayanım değerleri

	a/l =0	a/l=1/7	a/l=4/7
kontrol	3.75 MPa	0	0
CETK	0	4 MPa	8 MPa
KETK	0	4.4 MPa	9.5 MPa



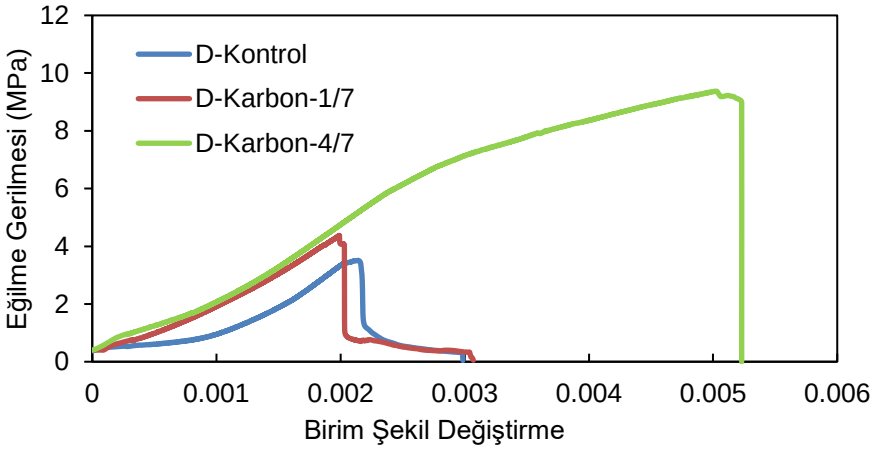
Şekil 4. 1. DD'de eğilme dayanım değerleri (MPa)

Şekil 4.1 incelendiğinde 1/7 ve 4/7 açıklık oranı (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numuneler (CETK) ve karbon elyaf takviyeli kumaş numuneler (KETK)'inin eğilme dayanım değerlerinin (0) kontrol numunelerin eğilme dayanım değerlerine nazaran yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca 4/7 (AO) CETK ve KETK'de elde edilen eğilme dayanım değerlerinin (0) kontrol ve 1/7 (AO) numunelere nazaran yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda 1/7 ve 4/7 (AO) KETK'in eğilme dayanım değerlerinin

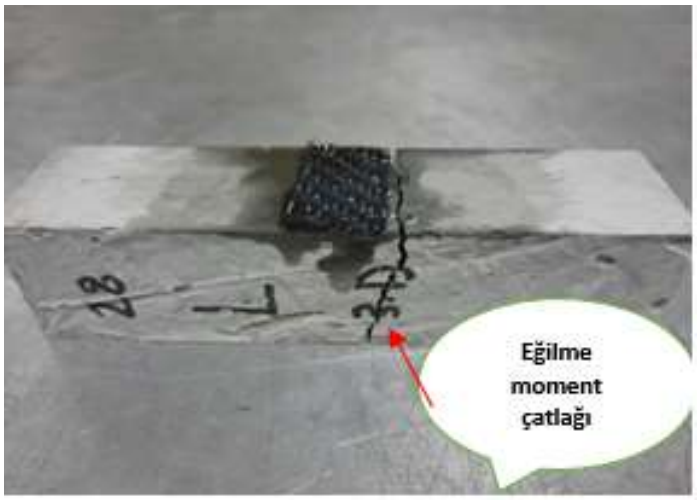
1/7 ve 4/7 (AO) CETK'e nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. DD'de eğilme dayanım değerleri açısından KETK'in daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. DD için 1/7 (AO) CETK ve KETK'nin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 4 ve 4.4 MPa'dır. 4/7 (AO) CETK ve KETK'nin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 8 ve 9.5 MPa'dır. DD'de açıklık oranı büyüklüğüne bağlı olarak eğilme dayanım gerilmesinin hem KETK hem de CETK'de arttığı görülmektedir.

Şekil 4.1 , Şekil 4.4'e baktığımız zaman DD'lı 1/7 ve 4/7 açıklık oranı CETK ve KETK eğilme dayanım değerleri OD'lı ve YD'lı 1/7 ve 4/7 açıklık oranı CETK ve KETK eğilme dayanım değerlerinden daha düşük çıkmıştır.

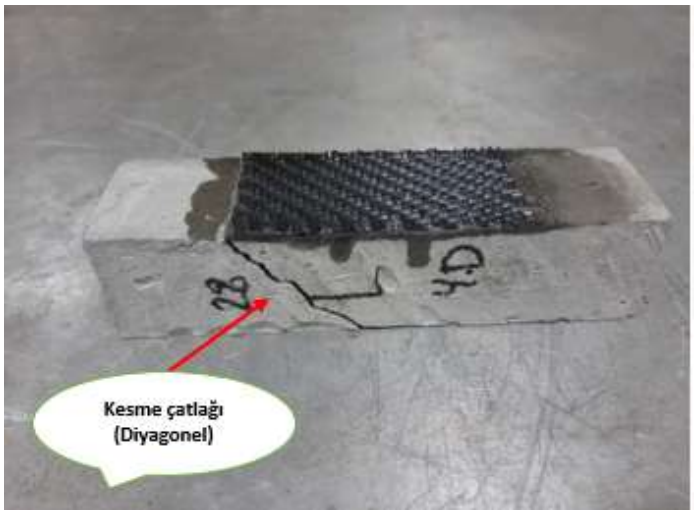
Ünal (2018) tarafından üç farklı sınıf beton dayanımına sahip (C20, C50, C75) 45 adet standart silindir numunelerle yürütülen çalışmada cam ve karbon fiber kumaş ile iki farklı katman kalınlığı alınarak sargılanmasının betonların düşey deformasyon ve mukavemet değerlerini arttırdığı bulgusu çalışmanın bulguları benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.2. DD'de KETK'in eğilme dayanım değerleri



Şekil 4.3. Düşük dayanımlı 1/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

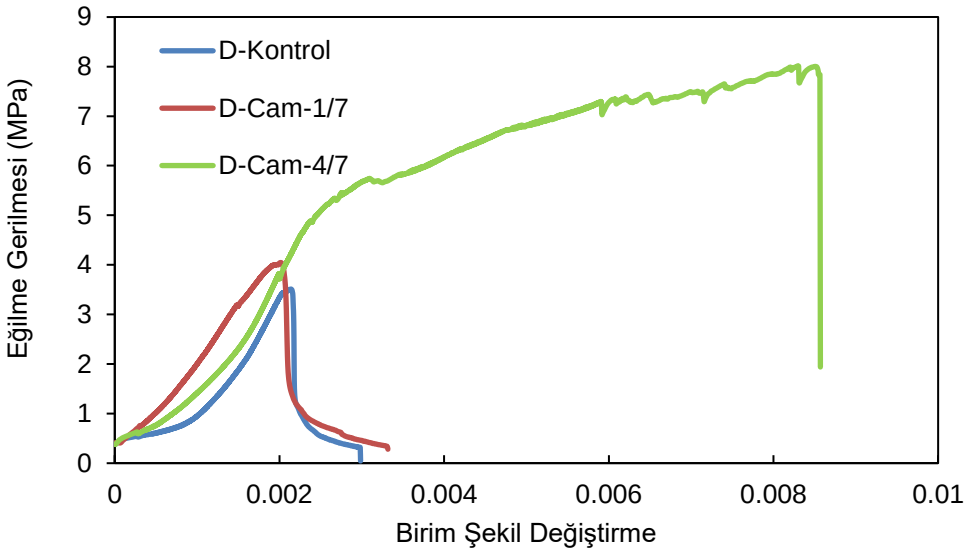


Şekil 4.4. Düşük dayanımlı 4/7 (AO)karbon elyaf takviyeli kumaş numune

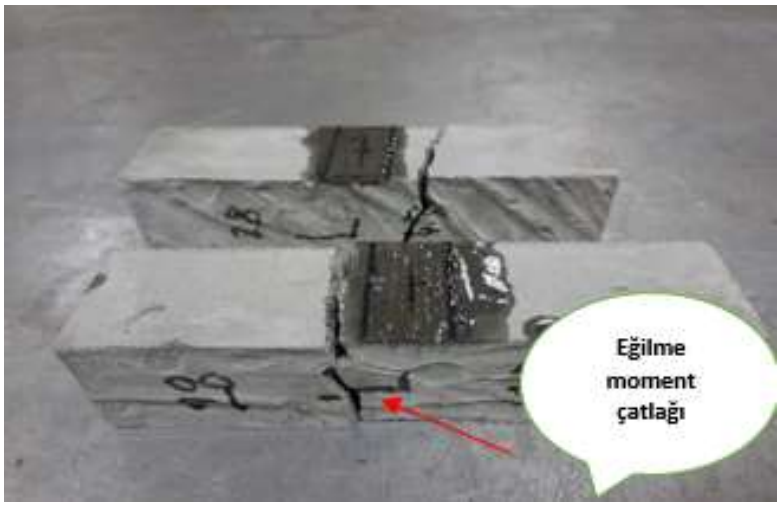
DD'de KETK'in eğilme dayanım performans değerleri Şekil 4.4'te sunulmuştur. Buna göre en yüksek eğilme dayanımın gerilmesi D-Karbon-4/7 gösterirken en az eğilme dayanımın gerilmesi D-kontrol numunesi göstermiştir. En küçük birim şekil değiştirme değerlerinin D- karbon-1/7 numunelerinde olurken en yüksek şekil değiştirme değerlerinin D-Karbon-4/7'de olduğu tespit edilmiştir. D- karbon-1/7 ile D-kontrol eğilme dayanım gerilmesi ve birim şekil değiştirme değerleri birbirlerine yakın olduğunu görülmüştür. D-Karbon-4/7'de eğilme dayanım gerilmesi değerlerinin D-Karbon-1/7'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durum D-Karbon-4/7

numunelerin sünek davranışı göstermiş ve daha fazla enerjiyi yutmuş dolayısıyla enerji yutma kapasitesini arttırdığını göstermektedir.

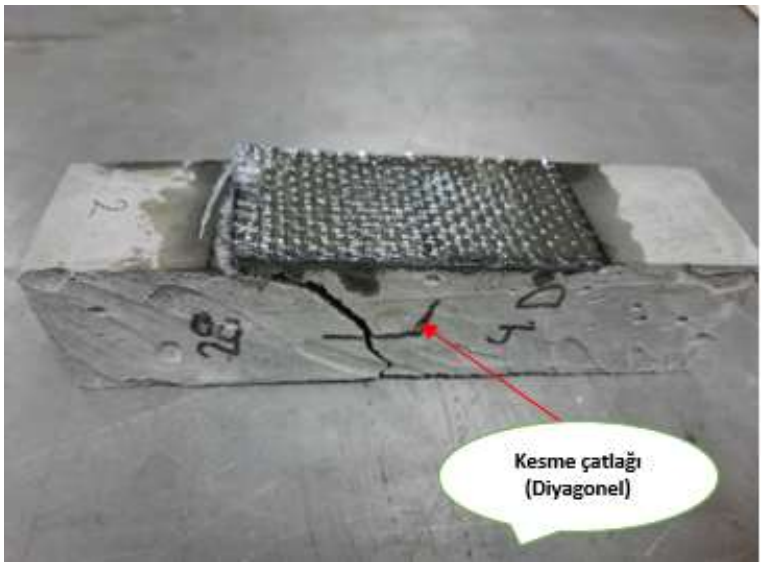
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da düşük dayanımlı 1/7 ve 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numunelerin deneme sonrası durumu verilmiştir. Şekil 4.5'te D-karbon-1/7'de görüldüğü gibi numunenin eğilme momentin etkisinden rijitleştiği bölgede zayıf olduğu noktadaki kritik eğilme çatlağıdır. Şekil 4.6'da D- Karbon-4/7'de oluşan durum ise Numuneyi test edildiği zaman kompozitin ucundaki bölgeyi rijitleşiyor. Bundan dolayı o bölgedeki eğilme momenti yükselirken 45° açılı bir kesme çatlağı (diyagonel)oluşup mesnete doğru gider diye düşünülmektedir.



Şekil 4.5. DD'de CETK'in eğilme dayanım değerleri



Şekil 4.6. Düşük dayanımlı 1/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



Şekil 4.7. Düşük dayanımlı 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune

DD'de CETK'in eğilme dayanım performans değerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Buna göre en yüksek eğilme dayanımını D-Cam-4/7 gösterirken en az eğilme dayanımını D-kontrol numunesi göstermiştir. En küçük birim şekil değiştirme değerlerinin D- kontrol numunelerinde ve D-Cam-1/7'de olurken en yüksek şekil değiştirme değerlerinin D-Cam-4/7'de olduğu tespit edilmiştir. D-Cam-4/7'de eğilme gerilmesi değerlerinin D-Cam-1/7'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. DD'de Cam-4/7'nin daha büyük eğilme gerilmeleri karşılığında 0.008 mm'lik bir şekil

değiştirme meydana gelmiştir. D-Cam-1/7 ise daha düşük eğilme gerilmesi karşılığında 0.002 mm'lik bir şekil değiştirmesi gerçekleşmiştir. Şekil 4.5'te DD 4/7 (AO) KETK numunelerin sünek davranışı göstermiş dolayısıla enerji yutma kapasitesini (Tokluk) artmıştır.

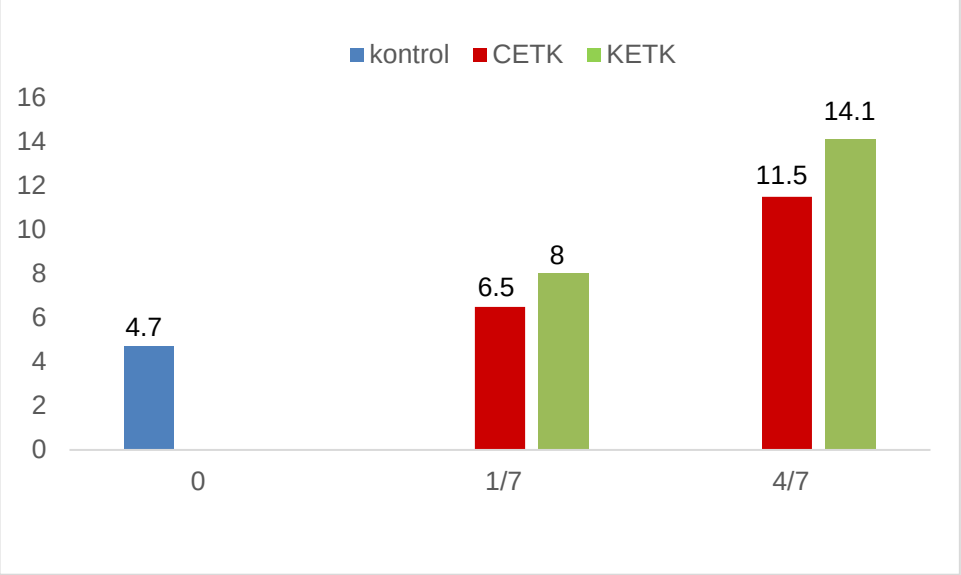
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da düşük dayanımlı 1/7 ve 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numunelerin deneme sonrası durumu verilmiştir. şekil 4.8'de DD'de D-Cam-1/7 oluşan durum Numuneyi test edildiğinde güçlendirilmiş bölgeyi rijitleşir dolayısıyla güçlendirilmiş bölgenin ucundaki eğilme momentin konsantrasyonu değişip yükselecektir. Momentin tam değiştiği noktada eğilme çatlağı oluşmuştur. Şekil 4.9'da DD'de D-Cam-4/7 durum ise Numuneyi test edildiği zaman kompozitin ucundaki bölgeyi rijitleşiyor. Bundan dolayı o bölgedeki eğilme momenti yükselirken 45° açılı bir kesme çatlağı (diyagonel)oluşup mesnete doğru gider diye düşünülmektedir.

4.2.2. Elyaf kumaş takviyesinin orta dayanımlı numuneler (OD) eğilme performansın üzerindeki etkisi:

Çizelge 4.3'te orta dayanımlı numunelerde elde edilen eğilme gerilme değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. OD'de elde edilen eğilme gerilme değerleri

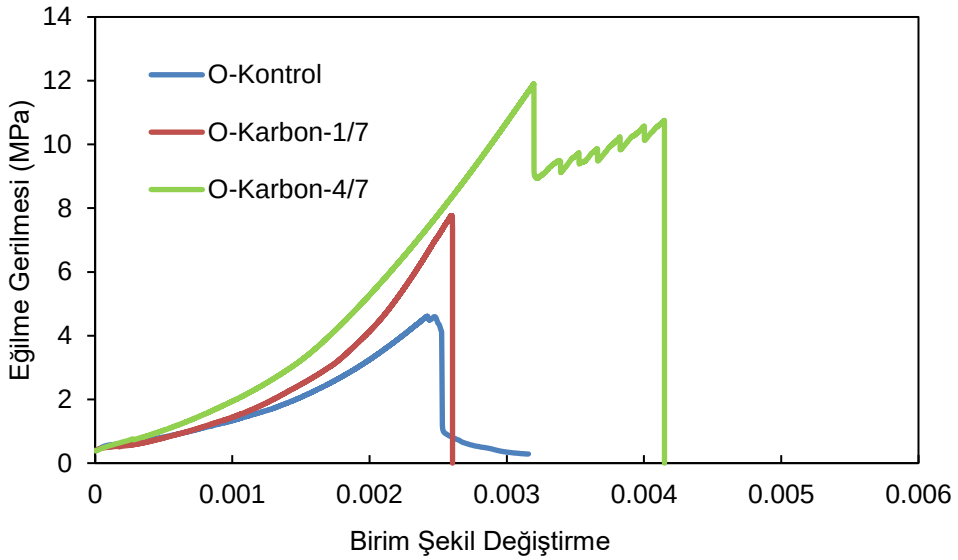
	a/l=0	a/l=1/7	a/l=4/7
kontrol	4.7 MPa	0	0
CETK	0	6.5 MPa	11.5 MPa
KETK	0	8	14.1 MPa



Şekil 4.8. OD'de eğilme dayanım değerleri (MPa)

Şekil 4.2 incelendiğinde 1/7 ve 4/7 (AO) CETK ve KETK'inin eğilme dayanım değerlerinin kontrol numunelerin eğilme dayanım değerlerine nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca 4/7 (AO) CETK ve KETK'de elde edilen eğilme dayanım değerlerinin Kontrol ve 1/7 (AO) numunelere nazaran yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda 1/7 ve 4/7 (AO) KETK'in eğilme dayanım değerlerinin 1/7 ve 4/7 (AO) CETK'e göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. OD'de eğilme dayanım değerleri açısından KETK'in daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. OD için 1/7 (AO) CETK ve KETK'nin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 6.5 ve 8 MPa'dır. 4/7 (AO) CETK ve KETK'nin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 11.5 ve 14.1 MPa'dır. OD'de kompozit büyüklüğünün artmasına bağlı olarak eğilme dayanım gerilmesinin hem KETK hem de CETK'de arttığı görülmektedir.

OD için hem KETK hemde CETK'nde DD'e nazaran eğilme dayanım gerilmesinin arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9. OD'de KETK'in eğilme dayanım performans değerleri



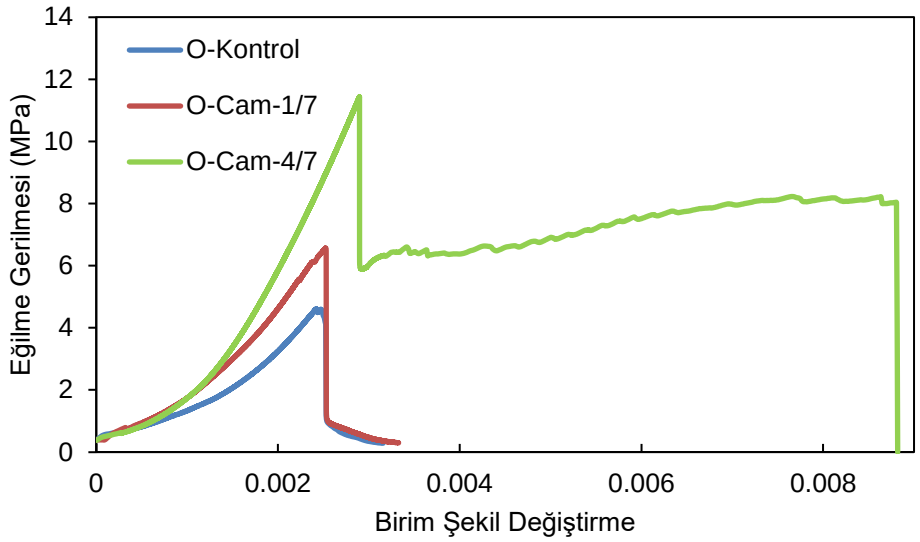
Şekil 4.10. Orta dayanımlı 1/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune



Şekil 4.11. Orta dayanımlı 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

OD'de KETK'in eğilme dayanım performans değerleri Şekil 4.10'da sunulmuştur. Buna göre en yüksek eğilme dayanımının O-Karbon-4/7'de görülürken en az eğilme dayanımınıda O-kontrol numunesinde tespit edilmiştir. O-karbon-4/7'de kırılma anında en yüksek eğilme dayanım gerilmesi görülmektedir. En küçük birim şekil değiştirme değerlerinin D- Kontrol numunelerinde olurken en yüksek şekil değiştirme değerlerinin D-Karbon-4/7'de olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin kırılması yada deformasyona uğraması sırasıdan D-Karbon-4/7'de eğilme gerilmesi değerlerinin D-Karbon-1/7'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda Karbon-4/7'de en fazla eğilme gerilmesi sonucu en fazla birim şekil değiştirme meydana gelmiştir. OD'de Karbon-4/7'de daha büyük eğilme gerilmeleri sonucu 0.004 mm' ye kadar varan şekil değiştirmeler meydana gelmiştir. Diğer numunelerde ise daha düşük eğilme gerilmesinde 0.003 mm'nin daha aşağında şekil değiştirmeler oluşmuştur.

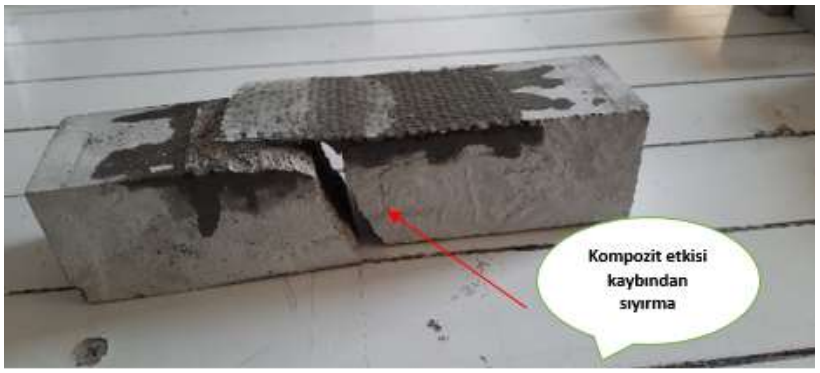
Düşük dayanımlı 1/7 ve 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numunelerin deneme sonrası durumu Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de sunulmuştur. Şekil 4.11'de D-karbon-1/7'de görüldüğü gibi numunenin eğilme momentin etkisinden rijitleştiği bölgede zayıf olduğu noktadaki kritik eğilme çatlağıdır. Şekil 4.12'de D- Karbon-4/7'de oluşan durum ise Numuneyi test edildiği zaman kompozitin ucundaki bölgeyi rijitleşir. Bundan dolayı o bölgedeki eğilme momenti yükselirken 45° açılı bir kesme çatlağı (diyagonel)oluşup mesnete doğru gider diye düşünülmektedir.



Şekil 4.12. OD'de CETK'in eğilme dayanım performans değerleri



Şekil 4.13. Orta dayanımlı 1/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune



Şekil 4.14. Orta dayanımlı 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune

OD'de CETK'in eğilme dayanım performans değerleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Buna göre en yüksek eğilme dayanım gerilmesi O-Cam-4/7'de görülürken en az eğilme dayanımının gerilmesi D-kontrol numunesinde tespit edilmiştir. En küçük birim şekil değiştirme değerlerinin O- kontrol numunelerinde ve O-Cam-4/7'de olurken en yüksek şekil değiştirme değerlerinin O-Cam-4/7'de olduğu tespit edilmiştir. O-Cam-4/7'de eğilme dayanım değerlerinin O-Cam-1/7'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. OD'de Cam-4/7'in daha büyük eğilme gerilmelerinde 0.003 mm'lik bir şekil değiştirme meydana gelmiştir. Diğer numunelerde ise daha düşük eğilme gerilmesinde 0.003 mm'nin aşağısında bir şekil değiştirme oluşmuştur.

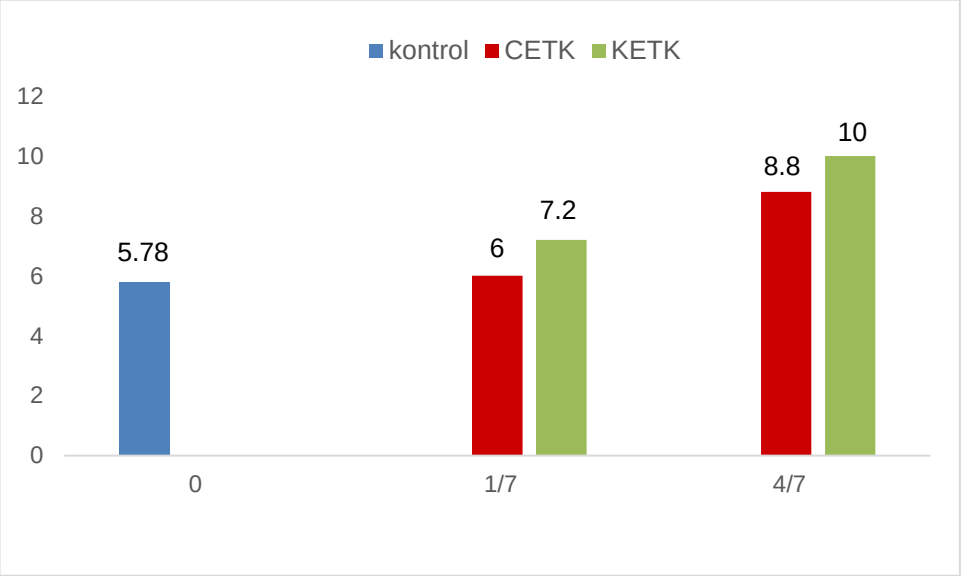
Orta dayanımlı 1/7 ve 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numenenin eğilme dayanım denemesi sonrası durumu Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te sunulmuştur.Şekil 4.14'te 1/7 (AO) CETK Numuneyi test edildiğinde güçlendirilmiş bölgeyi rijitleşir dolayısıyla güçlendirilmiş bölgenin ucundaki eğilme momentin konsantrasyonu değişip yükselecektir. Momentin tam değiştiği noktada eğilme çatlağı oluşmaktadır. Şekil 4.15'te 4/7 (AO) CETK numunenin durumu ise Kompozit etkisi kaybından dolayı kumaş-prizmatik numune arayüzeyin sıyrılması oluşmuştur. burdaki oluşan kırılma, gerilme konsantrasyonundan dolayı kumaşın ucundan başlar ve içeri doğru sıyrılma yayılımı ile sona ermektedir. Bu bölgedeki esasen gerilimler kesme gerilimidir. Ancak kullanılan kompozit küçük fakat sıfır olmayan bükülme sertliği nedeniyle normal gerilim ortaya çıkabilmektedir.

4.2.3. Elyaf kumaş takviyesinin yüksek dayanımlı numuneler (YD) eğilme performansın üzerindeki etkisi:

Çizelge 4.4'te YD'de elde edilen basınç değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. YD'de elde edilen basınç gerilim değerleri

	a/l=0	a/l=1/7	a/l=4/7
kontrol	5.78 MPa	0	0
CETK	0	6 MPa	8.8 MPa
KETK	0	7.2 MPa	10 MPa

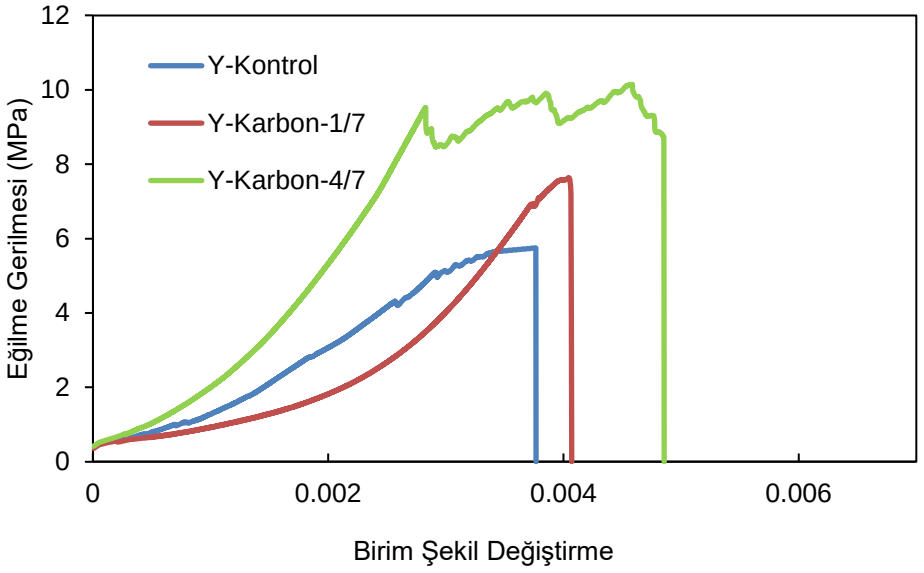


Şekil 4.15. YD'de eğilme dayanım değerleri (MPa)

Şekil 4.3 incelendiğinde 1/7 ve 4/7 (AO) CETK ve KETK'inin eğilme dayanım değerlerinin kontrol numunelerin eğilme dayanım değerlerine nazaran yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca 4/7 (AO) CETK ve KETK'de elde edilen eğilme dayanım değerlerinin kontrol ve 1/7 numunelere nazaran yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda 1/7 ve 4/7 (AO) KETK'in eğilme dayanım değerlerinin 1/7 ve 4/7 (AO) CETK'e nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. YD'de eğilme dayanım değerleri açısından KETK'in daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. YD için 1/7 (AO) CETK

ve KETK'nin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 6 ve 7.2 MPa'dır. 4/7 (AO) CETK ve KETK'nin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 8.8 ve 10 MPa'dır. YD'de mesafenin uzaklaşmasına bağlı olarak eğilme dayanım gerilmesinin hem KETK hem de CETKEN'de arttığı görülmektedir. YD 4/7 ve 1/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin eğilme dayanımı OD 4/7 ve 1/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin eğilme dayanım değerlerinden daha düşük olduğunu görülmüştür.

Yüksek dayanımlı numunelerde eğilme dayanım gerilmesi OD'nin eğilme dayanım gerilmelerinin gerisinde kaldığı görülmektedir. Elyaf takviyeli kumaşların tam yapışmaması nedeniyle eğilme dayanımın düştüğü düşünülmektedir. Bu durumun prizmatik yüzeylerin pürüzsüz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzeylerin pürüzsüz olması ile epoksi prizmatik numunelerin gözeneklerine iyi nüfuz edemediğinden cam ve karbon elyaflar prizmatik numunelere tutunamamıştır.



Şekil 4.16. YD'de KETK'in eğilme dayanım performans değerleri



Şekil 4.17. Yüksek dayanımlı 1/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

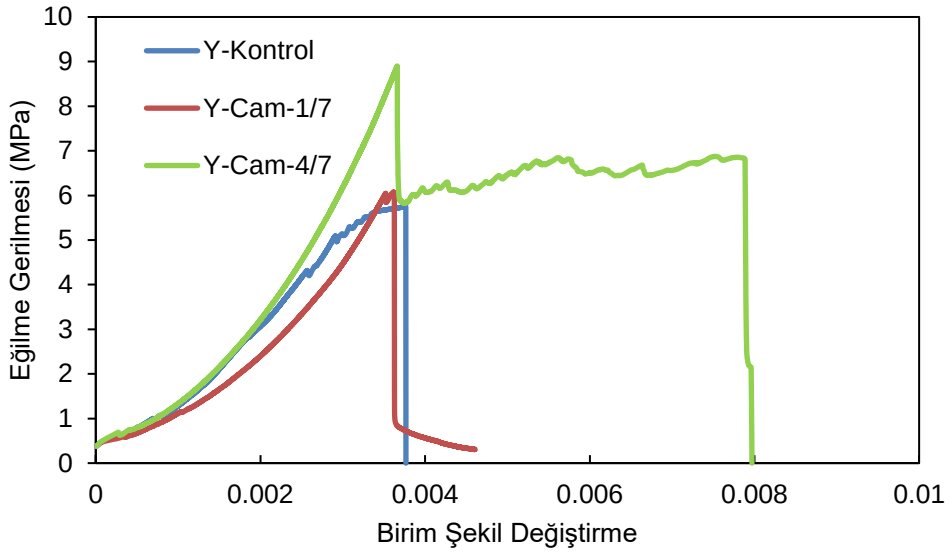


Şekil 4.18. Yüksek dayanımlı 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numune

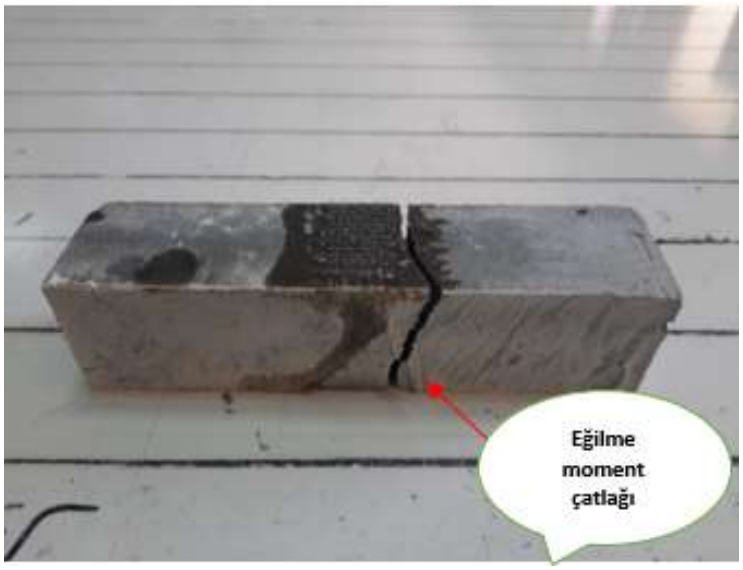
YD'de KETK'in eğilme dayanım performans değerleri Şekil 4.16'da sunulmuştur. Buna göre en yüksek eğilme dayanımının Y-Karbon-4/7'de görülürken en az eğilme gerilmesi dayanımında Y-kontrol numunesinde görülmesidir. Burada dikkat çeken husus Y-karbon-4/7'e ait birim şekil değiştirme değeri belirli bir seviye kadar Y-Kontrol ve Y-Cam-1/7 değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Beklenti,

Y-Kontrol ve Y-Cam-1/7 birim şekil değiştirme değerlerinden daha yüksek olmasıdır. Bu durumun prizmatik yüzeylerin pürüzsüz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte Y-karbon-4/7'de kırılma anında en yüksek eğilme dayanım gerilmesi görülmektedir. En küçük birim şekil değiştirme değerlerinin Y-kontrol numunelerinde olurken en yüksek şekil değiştirme değerlerinin Y-Karbon-4/7'de olduğu tespit edilmiştir. Y-Karbon-4/7'de eğilme dayanım değerlerinin Y-Karbon-1/7'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca Y-Karbon-4/7'de en fazla eğilme gerilmesi sonucu en fazla birim şekil değiştirme meydana gelmiştir. YD'de Karbon-4/7'in daha büyük eğilme gerilmeleri sonucu 0.005 mm''lik bir şekil değişme meydana gelmiştir. Diğer numunelerde ise daha düşük eğilme gerilmesinde 0.004 mm civarında bir şekil değişme meydan gelmiştir.

Yüksek dayanımlı 1/7 ve 4/7 (AO) karbon elyaf takviyeli kumaş numunenelerin deneme sonrası durumu Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de sunulmuştur. Şekil 4.17'de YD 1/7 (AO) KETK numunenin kırılma çatlağı, eğilme momentin etkisinden dolayı bölgeyi rijitleşip zayıf olduğu noktadan ani hasar oluşup kırılmaktadır. Şekil 4.18'de YD 4/7 (AO) KETK numunesi ise kompozit etkisi kaybından dolayı kumaş-prizmatik numune arayüzeyin sıyrılması oluşmuştur onun sebebi YD'inin pürüzsüz olmasından dolayı cam ve karbon elyaf takviyeli kumaşların prizmatik yüzeylere tam tutuşmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Burdaki oluşan kırılma, gerilme konsantrasyonundan dolayı kumaşın ucundan başlar ve içeri doğru sıyrılma yayılımı ile sona ermektedir. Bu bölgedeki esasen gerilimler kesme gerilimidir. Ancak epoksinin küçük fakat sıfır olmayan bükülme sertliği nedeniyle normal gerilim ortaya çıkabilmektedir.Şekil 4.17'de dikkat çeken husus ise YD 4/7 (AO) KETK numunenin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisini incelediğimizde numuneyi test edildiği zaman maks. eğilme değerine ulaştıktan sonra ani hasar olmuş demekki kompozitin bir kısmı sıyrılmış diğer kısım ise numunenin tam kırılına kadar işelemeye devam edildiğini düşünülmektedir.



Şekil 4.19. YD'de CETK'in eğilme dayanım performans değerleri



Şekil 4.20. Yüksek dayanımlı 1/7 (AO) cam elyaflı numune



Şekil 4.21. Yüksek dayanımlı 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numune

YD'de CETK'in eğilme dayanım performans değerleri Şekil 4.19'de gösterilmiştir. Buna göre en yüksek eğilme dayanımının Y-Cam-4/7'de görülürken en az eğilme gerilmesi dayanımında Y-kontrol numunesinde görülmesidir. Burada dikkat çeken husus Y-Cam-4/7'e ait birim şekil değiştirme değeri Y-Kontrol ve Y-Cam-1/7 değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Beklenti, Y-Kontrol ve Y-Cam-1/7 birim şekil değiştirme değerlerinden daha yüksek olmasıdır. Bu durumun prizmatik yüzeylerin pürüzsüz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte Y-Cam-4/7'de kırılma anında en yüksek eğilme dayanım gerilmesi görülmektedir.

Yüksek dayanımlı 1/7 ve 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numunenelerin deneme sonrası durumu Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de sunulmuştur. Şekil 4.20'de YD 1/7 (AO) CETK numunenin kırılma şekli, eğilme momentin etkisinden dolayı bölgeyi rijitleşip zayıf olduğu noktadan ani hasar oluşup kırılmaktadır .Şekil 4.21'de YD 4/7 (AO) CETK numunesi ise kompozit etkisi kaybından dolayı kumaş-prizmatik numune arayüzeyin sıyrılması oluşmuştur onun sebebi YD'inin pürüzsüz olmasından dolayı cam ve karbon elyaf takviyeli kumaşların prizmatik yüzeylere tam tutuşmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Burdaki oluşan kırılma, gerilme konsantrasyonundan dolayı kumaşın ucundan başlar ve içeri doğru sıyrılma yayılımı ile sona ermektedir.

Bu bölgedeki esasen gerilimler kesme gerilimidir. Ancak epoksinin küçük fakat sıfır olmayan bükülme sertliği nedeniyle normal gerilim ortaya çıkabilmektedir.Şekil 4.19'de dikkat çeken husus ise YD 4/7 (AO) CETK numunenin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisini incelediğimizde numuneyi test edildiği zaman maks. eğilme değerine ulaştıktan sonra ani hasar oluşur demekki kompozitin bir kısmı sıyrılmış diğer kısım ise numunenin tam kırılına kadar işelemeye devam edildiğini düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde farklı malzemeler ve yöntemler kullanılmaktadır. Eski altyapı ve binaları onarmak ve güçlendirmek için basit ve güvenilir yöntemlere Türkiye ve dünyada büyük bir ihtiyaç bulunmaktadır. Çimentolu fiber kompozitlerin kullanımı, mevcut yöntemlere göre çeşitli avantajlar sunmaktadır.

Aynı zamanda yapılar zamanla deformasyona uğrayarak dayanımı azalmaktadır. Bu yapıların dayanımı arttırmak için çeşitli malzemeler kullanılabilmektedir. Bu çalışmada yapıların dayanımı arttırmak yada güçlendirmek için Karbon ve Cam Elyaf Takviyeli Kumaşlar kullanılmıştır. Bunun için yüksek, orta ve düşük dayanımlı karışımların harçları üretilerek prizmatik numuneler elde edilmiştir. 3 dayanım sınıfına ait olan prizma numunelerin karbon ve cam elyaf kumaşı epoksi vasıtasıyla 1/7 ve 4/7 açıklık oranı prizma numunelerin alt tarafına yapıştırılarak güçlendirme sağlanmıştır. Karbon ve cam elyaf kumaşın çimentolu kompozitlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Ayrıca cam ve karbon takviyeli prizmatik numuneler sargılanmamış olan çimentolu numunelerin eğilme davranışı ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Sonuçlar

Çalışmanın bulguları kısaca şöyledir;

DD'nde 1/7 ve 4/7 açıklık oranı karbon elyaf takviyeli kumaşlar prizmatik numunelerde olumlu etki meydana getirmiştir. Buna göre DD'de en büyük eğilme dayanım gerilmeleri D-Karbon-4/7'de olduğu tespit edilmiştr. En küçük birim şekil değiştirme değerlerinin D- kontrol numunelerinde olurken en yüksek şekil değiştirme değerlerinin D-Karbon-4/7'de belirlenmiştir. DD'de 1/7 ve 4/7 (AO) cam elyaf takviyeli kumaş numunelerde etkileri karbon elyaf takviyesi kadar olmamıştır. Buna göre DD'de büyükten küçüğe doğru eğilme dayanım gerilmesi sırasıyla D-karbon-4/7, D-Karbon-1/7 ve D-kontrol'dür. Cam elyafı takviyeli kumaşlı DD'de en yüksek eğilme dayanım gerilmesi D-Cam-4/7 gösterirken en az eğilme dayanımı D-kontrol

numunesinde tespit edimiştir. D-Cam-4/7'de eğilme gerilmesi değerlerinin D-Cam-1/7'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır.

DD'de 1/7 (AO) KETK numunenin eğilme dayanım değeri D-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %17.33 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. DD'de 4/7 (AO) KETK numunenin eğilme dayanım değeri D-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %153.3 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. Karbon elyaf takviyeli kumaşlar DD'de karbon-4/7 eğilme dayanımın gerilmesinin değeri DD karbon-1/7 eğilme dayanımın gerilmesi değerinden daha etkili olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca DD'de 1/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanım değeri D-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %6.7 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır.Biribirine yakın değerlere elde edildiği için çok bir etki sağladığını görülmemiştir. DD'de 4/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanım değeri D-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %113 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. DD 4/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanımın DD 1/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanımından daha etkili olduğunu tespit edilmiştir. DD 1/7 ve 4/7 (AO) KETK numuneler, DD 1/7 ve 4/7 (AO) CETK numunelerden daha iyi bir sonuç sağladığını görülmüştür.

Karbon elyaf takviyeli kumaşların OD'ında en büyük eğilme dayanım gerilmeleri D-Karbon-4/7'de meydana gelirken en küçük ise O-kontrol numunesinde meydana gelmiştir. O-Karbon-4/7'de eğilme dayanım gerilmesi O-Karbon-1/7'ye göre yüksektir. Karbon elyaf takviyeli kumaşların OD'de Karbon-4/7'in daha büyük eğilme gerilmelerine karşı koyduğu tespit edilirken O-kontrol ve O-Karbon-1/7'de daha küçük eğilme gerilmeleri saptanmıştır.

OD'de 1/7 (AO) KETK numunenin eğilme dayanım değeri O-Kontrol numune eğilme dayanım gerilmesi değerinden %70.21 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. OD'de 4/7 (AO) KETK numunenin eğilme dayanım değeri O-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %200 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. Karbon elyaf takviyeli kumaşların OD'de karbon-4/7 eğilme dayanımın gerilme değerleri OD'de karbon-1/7 eğilme dayanımından daha etkili olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca OD'de 1/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanım değeri O-

Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %38 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. OD'de 4/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanım değeri O-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %144 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. OD 4/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanımın OD 1/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanımından daha etkili olduğunu tespit edilmiştir. OD 1/7 ve 4/7 (AO) KETK numuneler, OD 1/7 ve 4/7 (AO) CETK numunelerden daha iyi bir sonuç sağladığını görülmüştür. OD'de 1/7 ve 4/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin eğilme dayanımı DD'de 1/7 ve 4/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin eğilme dayanımlarından daha etkili olduğunu saptanmıştır.

Karbon elyaf takviyeli kumaşların YD'nde en büyük eğilme dayanım gerilmeleri Y-Karbon-4/7'de meydana gelirken en küçük ise Y-kontrol ve Y-Karbon-1/7'de tespit edilmiştir. Karbon elyaf takviyeli kumaşların YD'de Karbon-4/7'in daha büyük eğilme gerilmelerine karşı koyduğu tespit edilirken O-kontrol ve O-Karbon-1/7'de daha küçük eğilme gerilmeleri saptanmıştır. YD'de 1/7 (AO) KETK numunenin eğilme dayanım değeri Y-Kontrol numune eğilme dayanım gerilmesi değerinden %52 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. YD'de 4/7 (AO) KETK numunenin eğilme dayanım değeri Y-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %73 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. Karbon elyaf takviyeli kumaşların YD'de karbon-4/7 eğilme dayanımın gerilme değerleri YD'de karbon-1/7 eğilme dayanımından daha etkili olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca YD'de 1/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanım değeri Y-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %3.8 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. Biribirine yakın değerlere elde edildiği için çok bir etki sağladığını görülmemiştir. YD'de 4/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanım değeri Y-Kontrol numune eğilme dayanım değerinden %52.2 artış oranında daha yüksek olduğunu çıkmıştır. YD 4/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanımın YD 1/7 (AO) CETK numunenin eğilme dayanımından daha etkili olduğunu tespit edilmiştir. YD 1/7 ve 4/7 (AO) KETK numuneler, YD 1/7 ve 4/7 (AO) CETK numunelerden daha iyi bir sonuç sağladığını görülmüştür. OD'de 1/7 ve 4/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin eğilme dayanımı YD'de 1/7 ve 4/7 (AO) KETK ve CETK numunelerin eğilme dayanımlarından daha etkili olduğunu saptanmıştır.

Bunun sebebi ise kompozit-pizmatik numunesinin arasındaki aderansın kaybetmsi nedeniyle oluşan bir olay olabilmektedir.

Buna göre KETK ve CETK, DD ve OD numunenin yüzeylerde eğilme dayanımını önemli ölçüde arttırırken YD'de eğilme dayanımı yeterli seviye arttırmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca KETK ve CETK karşılaştırıldığında KETK üç farklı dayanımlı numunelerde CETK ve kontrol numunelere'e nazaran daha eğilme dayanım performansı açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bununla birlikte YD'lı numunelerde eğilme dayanım gerilmesi OD'e göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. YD'inin pürüzsüz olmasından dolayı cam ve karbon elyaf takviyeli kumaşların prizmatik yüzeylere tam tutunamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elyaf takviyeli kumaşların tam prizmatik numunenin yüzeylere tam yapışmaması nedeniyle eğilme dayanımın düştüğü düşünülmektedir.

5.2. Öneriler

İşçiliği, planlaması ve tasarımı güzel yapılan Karbon ve Elyaf Takviyeli Kumaşlar ile güçlendirilen ve onarılan yapılarda olumlu neticeler alınmaktadır. Bu sebeple FRP sistemlere ilişkin yönetmelik ve mevzuatlar düzenlenmelidr. Bu sistemin denetim ve güvenliği için standarlaşmaya ihtiyaç olduğu bu çalışma kapsamında düşünülmektedir. Ayrıca bu sistemlerinin yaygınlaşması ile birlikte maliyeti de azalacaktır.

YD'lerde cam ve karbon elyaf takviyeli kumaşların prizmatik yüzeylere tutunamadığı düşünülmektedir. Bu sebeple yüksek dayanımlı numunelerin yüzeylerinin pürüzlendirilmesi önerilmektedir.

LVDT cihazı daha hasas ve daha etkili sonuçlar verebildiği için o cihazın bizim çalışmamız gibi gerektiren çalışmalarda kullanılmasını önerilmektedir.

Bu çalışmada KETK ve CETK'i üç farklı dayanımlı prizmatik numuneler ile eğilme basınç dayanımı incelenmiştir. Bu konuya ilişkin daha detaylı araştırmalar için

farklı kalınlıklarda epoksi uygulaması ve iki ve üç katlı karbon ve cam elyaf kumaş takviyesi incelenebilir. Ayrıca glass elyaf ile karbon elyaf beraber aynı numuneye uygulanması ya da genişlik oranına göre eğilme dayanımların üzerinden çalışmalar yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

AKYILDIZ, A. ve AĞIRGAN, A., 2016. Karbon Elyaf Kumaş ile Sargılanmış Betonların Dayanımın İncelenmesi. Electonic Journal of Vocational Colleges, 1-107s.

ARICISOY, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası, 6-34s.

AYTAÇ, E., 2011. CFRP Güçlendirme Malzemesi ve Güçlendirme Teknikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 124s.

BARADANN, B. YAZICI, H. ve AYDIN, S., 2015. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir, 655S.

BARBERO, E.J., 1999. Introduction to Composite Materials Design. Edwards Brothers, Ann Arbor, MI, U.S.A, 552p.

BERTHELOT, J.M., 1998. Composite Materials Mechanical Behavior and Structural Analysis. Springer Press, New york, U.S.A, 646p.

BOYTEK, A.Ş., 2019. Composite Applications in Strengthening The Structures Against Earthquakes. Composite World, İstanbul, 51-11p.

BESOGLU, Erişim: Kasım 2021. https://www.besoglu.com/frp-kompozit-teknolojisi/.

BUNSELL, A.R., 1988. Fiber Reinforcements for Composite Materials.Vol:2 Composite Materials Series, Elseiver Science Publishers, Amsterdam, Netherlands, 388p.

BESOGLU, Erişim: Aralık 2021. https://www.besoglu.com/karbon-elyaf/.

COZA, H. ÖZGEN, K. ve YALÇIN, C., 2011. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Karbon Lifli Kompozitlerle Güçlendirilmesi. İTÜ dergisi/a*gisi/a* Mimarlık, Planlama, Tasarım, 10(1), 137-150s.

CHAWLA, K.K., 1998. Fibrous Material. Cambridge University Press, Cambridge, 293p.

ÇELİK, K.V., 2012. Karbon Elyaf ile Yapısal Güçlendirme. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, 72s.

DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 156s.

DEMİRAL, B. ve YAZICIOĞLU S., 2010. Uçucu Külün Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Journal of Selcuk Technic, 9(1), 1-40s.

DEJKE, V., 2001. Durability of FRP Reinforcement in Concrete. Licentiate Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 40p.

EFE, S. and OLUWOYE, J., 2020. Flexural Performance of RC Beams Strengthened by Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Laminates. International Journal of Engineering Research & Technology, 9(4): 231-238p.

EKİCİ, E. ve IŞIK, B., 2009. Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye, Book of Proceedings, 20-26s.

ERSOY, U. ve ÖZCEBE, G., 2001. Betonarme. İstanbul, Evrim Yayınevi, 816s.

ERSOY, U. TANKUT, T. and SULEİMAN, R., 1993. Behavior of Jacketed Columns. ACI Structural Journal, American Concrete Institute. 90(3): 288-293p.

FAM, A. SCHNERCH, D.A. and RIZKALLA S.H., 2003. Rectangular FRP Tubes Filled with Concrete for Beam and Column Applications.World Scientific Publishing Company, 8-10 Julay, Singapore, 685-694p.

GEMI, L. ve KÖROĞLU, M.A., 2018. Çekme Bölgesi Lifli Beton Olan Cam Fiber Takviyeli Polimer (GFRP) ve Çelik Donatılı Etriyesiz Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışı ve Hasar Analizi. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(4): 654-667s.

GÜL, A., 2014. Karbon Lif Üretiminde Isıl Kararlılık ve Karbonizasyon Aşamalarının Yerine Getirilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 102s.

HARTMAN, D. GREENWOOD, M. ve MILLER, D., 2013. High Strength Glass Fibers. Advanced Glassfiber Yarns LLC, Technical Paper, 2-11s.

HOMESTRATOSPHERE, Erişim: Şubat 2022. https://www.homestratosphere.com/types-of-fiberglass/.

İLKİ, A. ve KUMBASAR, N., 2002. Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, 13(61): 2598-2616s.

İNSAPORT, Erişim: Şubat 2022. https://www.insaport.com/makale/onarim-ve-guclendirme-nedir/.

İNSAATİM, Erişim: Aralık 2021. https://www.insaatim.com/betonarme-ve-yigma-binalarin-onarim-ve-guclendirme-ilkeleri/.

JONES, R.M., 1999. Mechanics of Composite Materials. Taylor&Francis, Philadelphia, PA, 519p.

KOMPOZIT. "Kompozit Sanayicileri Derneği". Erişim: Kasım 2021. https://kompozit.org.tr/demo/tr/the-making-of-glass-fiber/.

KARBHARİ, V.M. and GAO, Y., 1997. Composite Jacketed Concrete under Uniaxial Compresssion Verification of Simple Design Equations. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 9(4): 185-193p.

KOCABOĞA, S., 2019. Harran Üniversitesi Rektörlük Binasının Sismik Güçlendirmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 137s.

KESKİN, E., 2005. Betonarme Yapıların Onarımı Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 139s.

KAYRAK, M., 1999. Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Analizleri. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 103s.

MARTİNS,M.,GOMES,R.,PİNA,L.,PEREİRA,C.,REİCHMAN,O.,TETİ,D.,CORREİA, N., and ROCHA,N., 2018. Highly Conductive Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composite Electronic Box: Out-of-Autoclave Manufacturing for Space Applications. MDPI Journal, 6(4): 92p.

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

NEAGOE, C., 2011.Concrete Beams Reinforced With CFRP Laminates. Department of Civil Engineering, University of Catalunya,113p.

NGMUHENDISLIK, Erişim: Şubat 2022. http://www.ngmuhendislik.com.tr/yapi-guclendirme-nedir.html.

ÖNCÜ, M.E. KARAŞIN, A. ve YILMAZ, S., 2010. CFRP ile Güçlendirilmiş Kesitlerin Tekrarlanan Yükler Altındaki Davranışı. Engineering Sciences, 5(3) : 515-525s.

ÖRS, S., 2014. Farklı Karbon Tekstilleriyle ve Reçinelerle Oluşturulan Karbon Kompozitlerin Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 123 s.

ÖZTÜRK, H., 1998. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Teknikleri ve Çeşitli Tekniklerle Onarılıp Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Davranışlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 139s.

RAHMANİ, H., NAJAFİ, S., and ASHORİ, A., 2014. Mechanical Performance of Epoxy/Carbon Fiber Laminated Composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(8): 733-740p.

RAVAL R. and URMİL D., 2013. Behaviour of GFRP Wrapped RC Columns of Different Shapes. Procedia Engineering, No.51, 240-249p.

ROUCHAN, J., 1987. Materiaux Composites Pour D'Aeronefs. National Higher School of Aeronautical Constructions, 95p.

SIKA, Erişim: Şubat 2022. https://tur.sika.com/tr/insaat/tamir/yapisal-guclendirme/karbon-lifli-plakalar.html.

SAADATMANESH, H., EHSANİ, M.R., and JİN, L., 1997. Repair of Earthquake Damaged Reinforced Concrete Columns with FRP Wraps. ACI Structural Journal, 94(2): 206-205p.

SHARMA, S.S. DAVE, U,V. and SOLANKİ H., 2013. FRP Wrapping for RC Columns with Varying Corner Radii. Procedia Engineering, No.51: 220-229p.

SONGA, P.S. HWANGB S. and SHEUB B.C., 2005. Strength Properties of Nylon and Polypropylen Fiber Reinforced Concretes. Cement and Concrete Research, Vol.35, 1546-1550p.

SEVENTEKİN, N., 2001. Kimyasal Lifler. E.Ü. Teks. ve Konf. Araş. Uyg. Merk, 128-134s.

SİNGH, S.B. SİVASUBRAMANİAN, M. REDDY, A.L. PRAKASH, K. NAGARJUNA, K. and KIRAN, A., 2012. Performance of NSM-FRP RC Beams in Flexure and Shear Using Locally Developed CFRP Rebars. Int. J. Sustainable Materials and Structural Systems, 1(1): 42-67p.

ŞAHİN, Y., 2006. Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 424 s.

TENG, J.G. CHEN, J.F. SMITH, S.T. and LAM, L., 2001. Strengthened RC Structures. Wiley, 266p.

ÜNAL, İ., 2018. Yanal Deformasyonları Karbon Elyaf Kumaş ve Cam Elyaf Kumaş ile Sınırlandırılmış Betonların Eksenel Yük Altındaki Davranışlarının İncelenmesi. Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 328s.

YALÇIN, E., 2012. Farklı Kumaş ve Farklı Yöntemlerle Üretilmiş CTP Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 137s.

YE, L.P. ZHANG, K. ZHAO, S.H. and FENG, P., 2003. Experimantel Study on Seismic Strengthening of RC Columns with Wrapped CFRP Sheets. Construction and Building Materials, No.17, 499-506p.

YILMAZ, A.D. ve SEYHAN, E.C., 2005. Onarım ve Güçlendirme Uygulama Örnekleri. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, 962-964s.

XIAO, Y., and WU, H., 2000. Compressive Behaviour of Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Jackets. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering , 12(2): 139-146p.

ÖZGEÇMİŞ