



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SICAKLIK ETKİSİNE MARUZ BIRAKILAN
GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞİN DAVRANIŞI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Meltem KORKMAZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ

RİZE

2022

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ danışmanlığında, Meltem KORKMAZ tarafından hazırlanan *Sıcaklık Etkisine Maruz Bırakılan Güçlendirilmiş Betonarme Kirişin Davranışı* adlı bu tez çalışması, 23/06/2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Süleyman ADANUR	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ	

ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Sıcaklık Etkisine Maruz Bırakılan Güçlendirilmiş Betonarme Kirişin Davranışı” başlıklı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılacak bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

23/06/2022

Meltem KORKMAZ

ÖN SÖZ

Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde taşıyıcı eleman sayısını artırmak, betonarme mantolama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistemlere ek yeni betonarme elemanlar ilave etmek veya betonarme mantolama gibi yapının yükünü ağırlaştırmak yerine lif takviyeli polimerler (FRP) gibi yöntemler yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Bu çalışma kapsamında karbon lif takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş betonarme kirişler belli bir sıcaklığa maruz bırakılıp dayanımlarındaki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının her aşamasında sahip olduğu bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak yardımcı olan değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ'e, deneysel çalışmamda bana yardımcı olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Zafer KURT'a ve çalışmalarım sırasında beni maddi açıdan destekleyen RTEÜ BAP'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım .

Tüm hayatımda olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da maddi manevi her konuda bana yardım eden, inanan, destek olan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Meltem KORKMAZ

2022/RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
TÜRKÇE ÖZET	V
ABSTRACT.....	VI
KISALTMALAR.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Literatür Özeti	3
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	14
1.3. Güçlendirme Tanımı ve Güçlendirme Amaçları.....	14
1.4. Güçlendirme Yöntemleri.....	15
1.4.1. Lif Takviyeli Polimer Malzeme ve Tarihçesi	20
1.4.2. Lif Takviyeli Polimer ile Güçlendirme	21
1.4.2.1. Karbon Lif Takviyeli Polimer ile Güçlendirme	22
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
2.1. Materyal ve Yöntem.....	23
2.1.1. Materyaller	23
2.1.2. Yöntem.....	25
2.1.3. Güçlendirilmiş Numunenin ANSYS Modellemesi.....	29
2.2. Bulgular.....	32
3.TARTIŞMA, SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
3.1. Tartışma ve Sonuçlar.....	37
3.2. Öneriler	38
KAYNAKÇA.....	39

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ali Gürbüz
Hazırlayan : Meltem Korkmaz
Yıl : 2022
Sayfa Sayısı : 44

TÜRKÇE ÖZET
SICAKLIK ETKİSİNE MARUZ BIRAKILAN GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KİRİŞİN DAVRANIŞI

Bütün teknolojiler gibi inşaat teknolojileri de sürekli gelişmektedir. İnşaat mühendisliğinin hızla gelişen alanlarından biri de mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Herhangi bir sebepten dolayı binanın taşıyıcı elemanları zarar gördüğünde yapının yıkılıp yeniden inşası yerine mevcut yapının onarım ve güçlendirilmesi ilk tercih olmalıdır. Karbon lif takviyeli güçlendirme yöntemi geleneksel güçlendirme yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak günümüzde kullanılmaktadır. Bu yöntemin hızlı ve tahribatsız olması, yapı yükünü çok fazla ağırlaştırmaması, mukavemetinin iyi, korozyon dayanımının yüksek olması gibi nedenlerle oldukça fazla tercih edilmektedir. Mevcut çalışmalar karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş betonarme elemanların dayanımının ne düzeyle iyileştirdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ancak güçlendirme sonrasında ortaya çıkabilecek dış etkilerle ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Güçlendirme yapılan bir yapı elemanının zamanla ısıya maruz kalması durumunda, yapılan güçlendirmenin elemanın performansını nasıl etkileneceği hakkında daha fazla araştırılma yapılması gereken bir konudur. Tez çalışması kapsamında, C25/30 beton sınıfına ait 12 adet karbon lif takviyeli polimer ile sargılı, 12 adet sargısız olmak üzere toplamda 24 adet kiriş numunesi üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin boyutları 10x15x48 cm ebatındadır. Sargılı ve sargısız üretilen numuneler 24 °C, 120 °C ve 240 °C ısı altında iki saat bekletilmiştir. Numunelerin ısıya maruz kalmadan önceki ve sonraki eğilme dayanımları belirlenmiştir. Çalışma sonunda, ortam sıcaklığında karbon lif takviyeli polimer ile sarılan numunelerin sargısız numunelere göre yaklaşık %15 oranında daha fazla dayanıma sahip olduğu görülmüştür. 120 °C 'ye kadar ısıtılan numunelerde önemli bir dayanım kaybı yaşanmamıştır. 240 °C ısıya maruz bırakılan güçlendirilmiş numunelerde ise yaklaşık %8'lik dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, Kiriş Güçlendirmesi, Karbon Lif Takviyeli Polimer, Isı Altında Karbon Lif Takviyeli Polimer

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Civil Engineering

Thesis type : Master Thesis

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ali Gürbüz

Author : Meltem Korkmaz

Years : 2022

Pages : 44

ABSTRACT

BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAM EXPOSED TO THE EFFECT OF TEMPERATURE

Construction technologies, like all technologies, are constantly evolving. One of the rapidly developing fields of civil engineering is “Repair and strengthening methods”. These methods are used when the bearing elements of a structure are damaged or found insufficient. The reinforcement method with carbon fiber reinforced polymers (CFRP) has emerged as an alternative to traditional reinforcement methods. This method is preferred for reasons such as being faster and non-destructive, easy, low structural load, good strength, and corrosion resistant. Past studies clearly reveal to what extent the strength of reinforced concrete members reinforced with CFRP is improved. However, there are not many studies in the literature on external effects that may occur after retrofitting. If a weak structural member is exposed to heat after reinforcement, it is an issue that needs further research on how the performance of the reinforcement will be affected. In this thesis, 24 beam samples belonging to C25/30 concrete class were produced. The dimensions of the samples are 10x15x48 cm. Half of the samples were wrapped with CFRP. The other half was left unwrapped. The samples in both groups were stored at 24 °C, 120 °C and 240 °C for two hours. The bending strengths of the samples before and after heat exposure were tested. The results of the study showed that the samples wrapped with carbon fiber fabric gained about 15% strength at ambient temperature compared to the unwrapped samples. There was no significant loss of strength in the samples heated up to 120 °C. On the other hand, about 8% strength loss was detected in the strengthened samples exposed to 240 °C heat.

Keywords: Reinforcement, Beam Reinforcement, CFRP, High Temperature CFRP

KISALTMALAR

AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ACI	:	American Concrete Institute
AFRP	:	Aramid Fiber Takviyeli Polimer
ASTM	:	American Standards for Testing of Materials
BFRP	:	Bazalt Fiber Takviyeli Polimer
bw	:	Kiriş Gövde Genişliği
C	:	Celsius
CEM II	:	Portland Kompoze Çimento
CFRP	:	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
cm	:	Santimetre
CREatE	:	Uçları Gömülü Sürekli Takviye
dk	:	Dakika
EB	:	Dıştan Bağlı
EBR	:	Dıştan Bağlı Donatı
EN	:	European Norm
FRP	:	Fiber Takviyeli Polimer
FE	:	Sonlu Eleman
FEM	:	Sonlu Eleman Modeli
GFRP	:	Cam Takviyeli Kompozit Polimer
h	:	Kiriş Yüksekliği
ISO	:	International Standards of Organisations
kg	:	Kilogram
kN	:	KiloNewton
mm	:	Milimetre
MPa	:	Megapaskal
NSM	:	Yüzeye Yakın Monteli
O/G	:	Onarım ve Güçlendirme
s.	:	Sayfa
BK-SRGL	:	Sargılı Betonarme Kiriş

BK-SRGSZ : Sargısız Betonarme Kiriş
TBDY : Türk Bina Deprem Yönetmeliđi
Tg : Camsı Geçiş Sıcaklığı
TS : Türk Standartları
vd. : Ve diđerleri



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Beton karışım oranları	23
Tablo 2. Ø8 lik donatı çekme/akma standart sınır değerleri	24
Tablo 3. Ø8 lik donatı çekme/akma değerleri.....	24
Tablo 4. Karbon lif takviyeli polimer kumaş ve epoksi teknik özellikleri.....	24
Tablo 5. Lineer ve Nonlineer Parametreler.....	30
Tablo 6. Ansys modeli gerilme ve deplasman değerleri	31
Tablo 7. Betonarme kiriş numunelerinin deney sonuçları	34



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirme	16
Şekil 2. Cam takviyeli polimer ile güçlendirme	16
Şekil 3. Çelik levha ile güçlendirme.....	17
Şekil 4. Betonarme güçlendirme	18
Şekil 5. Epoksi enjeksiyon ile güçlendirme.....	18
Şekil 6. Poliüretan enjeksiyon ile güçlendirme	19
Şekil 7. Epoksi zemin kaplama ile güçlendirme.....	19
Şekil 8. Fairchild-F46	20
Şekil 9. Ø8 lik donatı akma noktası.....	24
Şekil 10. Kullanılan karbon lif takviyeli polimer örneği.....	25
Şekil 11. Kiriş numuneleri için yapılan çift kalıp.....	25
Şekil 12. Kalıp yağlanması.....	26
Şekil 13. Beton dökümü tamamlanmış kiriş numuneleri	26
Şekil 14. Çift doğrultuda sarılmış kiriş numuneleri	27
Şekil 15. 240 °C 2 saat ısıtılmış güçlendirilmiş numuneler	28
Şekil 16. Deneylerde kullanılan dört noktalı yükleme düzeneği (Dalyan vd., 2017)	29
Şekil 17. Deney düzeneği	29
Şekil 18. Ansys modeli deney düzeneği	30
Şekil 19. Gerilme değerleri.....	31
Şekil 20. Oluşan deplasman değerleri	31
Şekil 21. Güçlendirilmemiş numunelerin gerilme değerleri	32
Şekil 22. Güçlendirilmiş numunelerin gerilme değerleri	32
Şekil 23. Sıcaklık-zaman grafiği	33
Şekil 24. Sargısız 24 °C olan numunenin yük-zaman grafiği.....	34
Şekil 25. Güçlendirilmemiş 24 °C kiriş numunesinin yükleme sonrası hali	35
Şekil 26. Güçlendirilmiş 24 °C kiriş numunesinin yükleme sonrası hali.....	36
Şekil 27. Güçlendirilmiş 24 °C kiriş numunesinin yükleme sonrası hali.....	36

GİRİŞ

Dünya’da ve ülkemizde her yıl onlarca yıkıcı depremler meydana gelmektedir (Aytaç, 2011). Ülkemiz bulunduğu konumdan ve depremlerin bıraktığı etkilerden dolayı en tehlikeli deprem bölgelerinden sayılmaktadır. Depremler, savaşlar vb. gibi nedenlerden dolayı çok sayıda bina hasar almakta veya yıkılmaktadır. Yıkılan binalarda çok sayıda can kaybı yaşanmaktadır. Ülkemizde bu can kayıplarının çok fazla olmasının sebeplerinden biri fay hattının geçtiği bölgelerde nüfus yoğunluğunun çok fazla olmasıdır. Bir diğer sebep ise deprem bölgelerinde bulunan mevcut yapıların büyük bir kısmının depreme uygun olmadığını ve güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Ustabas, 2012; Gurbuz ve Tekin, 2017; Dilmaç vd., 2018; Kurt ve Ateş, 2019; Dilmaç, H., 2020; Tekeli vd., 2020; Ustabas vd., 2020).

Betonarme yapı elemanlarının meydana gelen tasarım ve uygulama hataları, zamana bağlı oluşan deformeler, kullanım amacının değiştirilmesi ve çıkan yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması gibi nedenlerle güçlendirilmesi gerekebilmektedir (Bayülke, 1998; Çetinkaya vd., 2004). Geleneksel güçlendirme yönteminin uygulaması zaman alan ve zor bir imalattır. Ayrıca yapı ağırlığını önemli ölçüde arttırdığı ve özellikle 2018 deprem yönetmeliğinde bulunan ZE ve ZF sınıfı zeminlerin üzerine inşa edilmiş yapılarda zemin taşıma gücünün aşılmasına ve buna bağlı yapı temelinde ilave düzenlemelere ve maliyet artışlarına neden olmaktadır (Norris vd., 1997; Arya vd., 2002; Özcan ve Yöntem, 2005). Geleneksel yöntemler yerine teknolojinin gelişmesiyle çelik levhaların, karbon lif takviyeli polimer, cam takviyeli polimer kompozitler (GFRP) gibi polimerler vb. malzemelerin kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu yöntemle kiriş, kolon, perde, taşıyıcı duvar ve kat döşemeleri gibi taşıyıcı elemanlarda hızlı ve etkili bir güçlendirilme yapılabilir (Anania vd., 2005). Karbon lif takviyeli polimer karbon fiber ve polimerden oluşan kompozit bir malzeme türüdür. Karbon lif takviyeli polimer, filament sargısı, pultrüzyon ve el döşeme işlemleri gibi farklı üretim tekniği kullanılarak şeritler, çubuklar ve levhalar olarak üretilmektedir (Mert, 2007). Karbon lif takviyeli polimer malzemeleri iyi sertliğe, yüksek mukavemete, düşük yoğunluğa, korozyon direncine, titreşim direncine, yüksek nihai zorlanmaya, yüksek yorulma direncine ve düşük termal iletkenliğe sahiptir. Bu avantajları sayesinde güçlendirme işleminde tercih edilen bir

malzeme türüdür . Güçlendirilen yapı elemanlarının herhangi bir çevresel etkiye karşı nasıl bir davranış sergileyeceği bilinmesi gereken bir durumdur. Bu çalışmada sıcaklık etkisine maruz bırakılan güçlendirilmiş betonarme kirişin davranışı durumunda betonarme kirişin performansındaki değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Özeti

Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde lif takviyeli polimer malzemeler (FRP) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmada lif takviyeli polimer çeşitlerinden biri olan karbon lif takviyeli polimerler betonarme kirişlere sarılıp belirli sıcaklıklara maruz bırakıldığında dayanımının nasıl değiştiğine yönelik çalışmalar literatürde mevcuttur.

Çetinkaya vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada, dört adet kirişin lif takviyeli polimer malzemelerle onarım ve güçlendirilmesi (O/G) yapılmıştır. Dört kiriş için de yük deplasman eğrisi elde edilmiş olup elemanların statik yük altında O/G'den önceki ve sonraki davranışı karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak lif takviyeli polimer malzemelerle yapılan O/G'nin betonarme kirişlerin taşıma gücünü çok büyük ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Özcan ve Yöntem (2005) tarafından yapılan çalışmada, lif takviyeli polimer ile güçlendirilen bütün kirişlerde kırılma yükünde orta noktada ölçülen yer değiştirmeler kontrol kirişinde ölçülen yer değiştirmeden daha küçük olduğu görülmüştür.

Williams vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, yalıtımlı lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş beton plakaların yangındaki performansını araştırmak için yürütülen deneysel ve sayısal bir çalışmada, standart yangın testleri ile dört ayrı tamamlayıcı yangın yalıtım sistemi incelenmiş ve sayısal bir model çizilmiştir. Çizilen modellerin test verileriyle tatmin edici bir şekilde uyduğu gösterilmiştir.

Barnes ve Fidell (2006) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş kirişlerin yangına karşı dayanımı karşılaştırılmıştır. Bunun için 24 adet betonarme kiriş numunesi dökülmüştür. Toplamda üçerli şekilde sekiz takıma bölünmüştür. Setler yangın testi ve kontrol olarak ikiye bölünmüştür. Kontrol seti güçlendirilmemiştir. Yangın testinde grup, güçlendirilmemiş bir kontrol seti, birleştirilmiş karbon lif takviyeli polimer plakaları ile güçlendirilmiş bir set, cıvatalı birleştirilmiş karbon lif takviyeli polimer plakaları olan bir settir. cıvatalı ankrajlar ve çimentolu bir yangından korunma sistemi. Yüksüz kirişler daha sonra bir fırında selülozik ateşe tabi tutuldu. Bukarbon lif takviyeli polimer plakasındaki reçine gibi korumasız kirişler üzerindeki yapıştırıcı da yangın tarafından tahrip edildi.

Güçlendirilmiş kirişlerde çimentolu yangın koruma sistemi yangın tarafından tahrip edildi ancak karbon lif takviyeli polimer levhadaki reçine hasar görmedi. Tüm kirişlerin yük kapasitelerini ve sertliklerini belirlemek için dört noktalı eğilme düzeneğinde test edildi. Yangın testine tabi tutulmamış kirişlerden kontrol kirişleri en zayıf olanlardı. Güçlendirilmiş kirişler daha güçlü ve daha sertti ve betonarme kirişlerin cıvatalı ve cıvatasız olanları arasında önemli bir fark yoktu. Yangında test edilmiş kirişler, yangın sonrası yüke maruz kalma testine tabi tutulmuştur. Yangın testi yapılmış kirişlerden kontrol kirişleri, diğer betonarme kontrol kirişleriyle aynı özelliklere sahipti. Cıvatasız kirişler, yangın korumasından bağımsız olarak aynı güce sahipti. Ateşli cıvatalı kirişlerden çimentolu yangın korumalı olan, yangın koruması olmayanlardan daha güçlüydü, ancak yangına karşı test edilmemiş kirişler kadar güçlü değildi. Şu sonuca varılabilir ki yangın testinde korumasız kirişlerdeki güçlendirme sistemi tahrip olmuştur. Yangından korunma sağlandığında bu, reçineyi korumuştur.

Bisby ve Kodur (2007) tarafından yapılan çalışmada, standart yangın koşulları altında lif takviyeli polimer betonarme döşemeler üzerinde sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş beton plakaların yangın performansını etkilemesi muhtemel faktörler belirlenmiş ve lif takviyeli polimer çubuklarla güçlendirilmiş beton plakaların yangına dayanımının değerlendirilmesi için ilk tasarım kılavuzunun geliştirilmesi genel hatlarıyla elde edilmiştir. Lif takviyeli polimer çubuklarla güçlendirilmiş beton plakaların yangına dayanımını değerlendirmek amacıyla mevcut tasarım çizelgelerinin uygulanmasını göstermek için örnekler sunulmuştur.

Wanyang vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, betonarme kirişlerde iki farklı tamamlayıcı yangın yalıtım malzemesi standart yangın testlerine tabii tutulmuştur. Farklı yangın yalıtım sistemlerinin ve karbon lif takviyeli polimer malzemelerin uç ankraj davranışlarının, güçlendirilmiş betonarme kirişlerin polimer yapıştırıcı sıcaklığı, orta açıklık sapma, başarısızlık modu ve yangına dayanıklılık derecesi üzerindeki etkileri araştırılmış ve normale göre yangına karşı daha dayanıklı olduğu elde edilmiştir.

Hawileha vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş T- betonarme kirişin ANSYS programında detaylı şekilde

sonlu eleman modeli çizilmiş ve ısı transferine, çeşitli çevresel etkilere maruz bırakılarak dirençleri araştırılmış ve ölçümlerin iyi olduğu anlaşılmıştır.

Tai vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, yalıtımlı yapıların termo dinamik analizi için sonlu eleman (FE) modeli çizilip yangına maruz kalan lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş RC kirişlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Ahmed ve Kodur (2011) tarafından yapılan çalışmada, beş dikdörtgen betonarme kirişlerin dördü karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilip geri kalanı ise kontrol betonarme kiriş numunesi olarak yangın ve servis yüküne maruz bırakılarak test edilmiş olup yangın direncini önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir.

Firmo vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer laminatlarla eğilme ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin yangın davranışı hakkında deneysel ve sayısal araştırmalar sunmaktadır. Temel amaç, farklı yangından korunma sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek ve bina katlarında kullanımlarının uygulanabilirliğini değerlendirmektir. Yüklü karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin ateş altındaki davranışını (ISO 834) araştırmak için orta ölçekli bir fırında yangına dayanıklılık testleri yapıldı. Yangından korunma sistemleri, doğrudan ateşe maruz kalan kirişlerin alt yüzeyi boyunca uygulanan, kalsiyum silikat levhalar ve 25 mm ve 40 mm kalınlığında vermikülit/perlit çimento esaslı harç katmanlarından oluşmaktadır. Ek olarak, karbon lif takviyeli laminatların ankraj bölgeleri, bu özel yapısal detayın faydalarını değerlendirmek için yüksek derecede termal olarak yalıtılmıştır. Testler sırasında orta açıklık bölümü boyunca eleman sapsması ve sıcaklıklar ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kirişin açıkta kalan uzunluğunda güçlendirme sistemi korumasız bırakıldığında, karbon lif takviyeli polimer laminat ankraj yaklaşık 23 dakika sonra ayrıldı. Kirişlerin açıkta kalan uzunluğuna yukarıda belirtilen yangından korunma malzemeleri uygulandığında, güçlendirme sistemi 60–89 dk (25 mm kalınlık) ile 137-167 dk (40 mm) arasında gevşemiştir. Malzemelerdeki sıcaklıkların değişimini tahmin etmek için test edilen tüm kirişlerin iki boyutlu sonlu elemanlı termal modelleri de geliştirilmiştir. Hesaplanan sıcaklıklar, testlerde ölçülenlerle oldukça iyi bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Yu ve Kodur (2014) tarafından yapılan çalışmada, yüzeye yakın monteli (NSM) lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş betonun bağlanma mukavemeti ve modülü üzerindeki sıcaklığın etkisine ilişkin deneysel araştırmaya yapılmıştır. Farklı tiplerde epoksi yapıştırıcı ve lif takviyeli polimer takviyesi kullanılarak üretilen 36 NSM lif takviyeli polimer numunesi, 20–400 °C sıcaklık aralığında bağ gücü test edilmiştir. Yapılan deneylerde 20–200 °C sıcaklık aralığında bağ kuvvetinin ve modülünün önemli ölçüde azaldığını ve 200 °C'de orijinal değerlerinin yalnızca %20–30'unu koruduğunu göstermektedir. NSM lif takviyeli polimer şeritleri ve çubukları, 400 °C'nin ötesinde ihmal edilebilir bir bağ kuvvetine sahiptir. Testlerden elde edilen veriler ayrıca NSM lif takviyeli polimer sisteminin hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda benzer bağ gerilimi-kayma tepkisi sergilediğini göstermiştir.

Maluk vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer tendonlarla öngerilmeli, optimize edilmiş, yüksek performanslı beton elemanlar, sürdürülebilir modern yapılı çevrede büyük potansiyel sunar. Ancak bu elemanların yangındaki performansı iyi bilinmemekte ve yangına dayanıklılık gerektiren uygulamalar için daha iyi anlaşılması gerekmektedir. İnce karbon lif takviyeli polimer öngerilmeli beton plakalar üzerinde yapılan büyük ölçekli yangına dayanıklılık testlerinden elde edilen bulgular sunulmakta ve tartışılmaktadır. Sonuçlar, yangında patlayıcı parçalanmanın ani çökmeyle sonuçlandığını ve parçalanmadan kaçınıldığında, tendonların sıcaklığı tarafından yönetilen ankraj kaybıyla başarısızlık meydana geldiğini göstermektedir.

Jiangtao vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimerler, beton yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, karbon lif takviyeli polimerlerin harici olarak yapıştırılmış güçlendirme sistemindeki ve yüzeye yakın monteli (NSM) sistemdeki yerleşimleri, yangına dayanıklılık hassasiyetine neden olur. Yüzeye yakın monteli karbon lif takviyeli polimerlerin güçlendirme sisteminin yangına dayanıklılık potansiyelini araştırmak için, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş 15 adet betonarme kiriş ve 2 referans kiriş, ISO 834 standart yangın altında veya ortam sıcaklığında kırılmaya kadar yüklendi. Testte, aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmuştur: güçlendirme yöntemi (yakın yüzeye montaj tekniği/dıştan yapıştırma tekniği), yapıştırıcı (epoksi ve magnezyum-oksiklorür çimento), yangından korunma

malzemeleri (ince şişen yangın geciktirici kaplama ve kalın yangın geciktirici kaplama) ve konum yangın koruması (yerel yama koruması/tek taraflı koruma/U-şekilli koruma) olarak uygulanmıştır. Uygun yangın koruması ile, yüzeye yakın monteli karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş betonarme kirişler, yüksek yük seviyesinde 3 saatten fazla standart yangına direnmiştir. Yukarıda bahsedilen faktörlerin etkilerinin yanı sıra, karbon lif takviyeli polimer küresel olarak kayma durumundayken CFRP/matris arayüzündeki sürtünme gerilmesinin, yüzeye yakın monteli karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirme sisteminin yangına dayanıklılığı için çok önemli bir rol oynadığı bulunmuştur. Deneysel gözlem, yüzeye yakın monteli karbon lif takviyeli polimer şeritlerinin yüksek sıcaklıklarda katkısını nasıl koruyabileceğine ve yüzeye yakın monteli karbon lif takviyeli polimer güçlendirmesinin yangına maruz kaldığında neden dıştan bağlı karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirmesinden daha iyi performans gösterdiğine biraz ışık tutuyor.

Turkowski vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, kağıt, karbon lif takviyeli polimerlerin güçlendirmesi olan ve olmayan betonarme kirişler üzerinde gerçekleştirilen on yangına dayanıklılık testinin sonuçlarını sunmaktadır. Kirişlerin bir kısmı, büyük kalınlıktaki yangın koruma levhaları ile yangından korunmuştur. Testler, güçlendirme öncesinde yangın durumunda tasarım yük taşıma kapasitelerinin %100'ü ile %163'ü arasında değişen çeşitli yük seviyeleri altında gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, karbon lif takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş elemanların yapısal yangın tasarımının, yük seviyesindeki azalmaya bağlı olarak ihtiyaç duyulan yangın koruma kalınlığının üç olası hesaplama modeline yol açtığını göstermektedir. 1. senaryo olarak karbon lif takviyeli polimerlerin güçlendirmesinden önce kirişin yangındaki yük seviyesi, kirişin direncinden daha düşüktür. Bu nedenle yangın koruması gerekmez. 2. senaryo karbon lif takviyeli polimerle güçlendirmeden önce kirişlerin yangında yük seviyesi dirençten daha düşük, ancak yangındaki direncinden daha yüksek, bu nedenle düzenli yangın koruması gerekli. 3. olarak da karbon lif takviyeli polimerle güçlendirme öncesi kirişin yangındaki yük seviyesi direncinden daha yüksek, bu nedenle ekstra yangın koruması gereklidir.

Kaya vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, 28 günlük basınç dayanım değeri 30 MPa olan 150x150x150 mm'lik küp ve 100x100x500 mm'lik beton kirişler üretilmiş olup üretilen küp beton numunelerinin yan yüzeylerine tek doğrultulu,

farklı şekillerde yapıştırılan karbon lif takviyeli polimer şeritler ile 6 tip numune oluşturulmuştur. Ayrıca kirişlerin çekme yüzeylerinin merkezlerine karbon lif takviyeli polimer şeritleri 50-75 mm genişliğinde ve 50, 150, 300 ve 450 mm uzunluklarında hazırlanan numuneler Sikadur 330 ile yapıştırılıp kirişler güçlendirilmiştir. Üretilen küp numuneler tek eksenli basınç testine, kiriş numuneleri ise dört nokta eğilme testine tabii tutulmuştur. Sonuç olarak uygulanan karbon lif takviyeli polimer miktarına göre dayanımın da doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Zhangab vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, bir betonarme kontrol kirişi ve yedi lifli levha üzerinde yangına dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Yapıştırıcı olarak jeopolimer ve reçine kullanılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan Geopolimer (FRPG)in karbon lif takviyeli polimere göre daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir.

Jia vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklığın karbon lif takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini, statik ve dinamik üç nokta eğilme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, karbon lif takviyeli polimer kompozitlerin düşük sıcaklıklarda ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) gelişmiş eğilme mukavemeti, maksimum sapma ve enerji absorpsiyonu sağlarken, daha yüksek bir sıcaklıkta ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) daha düşük performans sağladığını ortaya koymaktadır.

Nguyen vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, farklı mekanik yükleme koşullarında termal yalıtımlı ve yalıtımsız elle döşenmiş karbon lif takviyeli polimerin termomekanik performansını göstermektedir. karbon lif takviyeli polimerin farklı mekanik yük seviyelerinde maruz kalabileceği süreyi belirlemek için deneysel testler yapılmış olup uygulanan yük arttığında, kopma sıcaklığının ve maksimum maruz kalma süresinin azaldığı gösterilmektedir. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, karbon lif takviyeli polimerin yırtılma sıcaklığı, uygulanan yük malzemenin nihai mukavemetinin %10'undan %50'sine yükseldiğinde kademeli olarak düşer. Oda sıcaklığında, uygulanan yük nihai kuvvetin %75'ine ulaştığından, yırtılma sıcaklığı önemli ölçüde azalır. Aynı şekilde, maruz kalma süresi, uygulanan yük karbon lif takviyeli polimerin nihai kuvvetinin %10 ile %50'sine değiştiğinde yavaş yavaş azalır ve uygulanan yük, nihai kuvvetin %75'i olduğunda önemli ölçüde azalır. Termal ve mekanik yüklemeye maruz bırakılan karbon lif takviyeli polimerin

performansı üzerinde kullanılan kullanılmış yalıtım malzemesinin etkinliğini karakterize etmek için bir yalıtım malzemesi tarafından korunan karbon lif takviyeli polimer üzerinde ek testler yapılmıştır. Isı iletimini araştırmak için sonlu elemanlar modelleri kullanılmış ve bu modeller deneysel sonuçlarla başarıyla doğrulanmıştır.

Guruprasad ve Ramaswamy (2019) tarafından yapılan çalışmada, beton ve tamir malzemesinin ısı yalıtımı jeopolimer harç ve simwool seramik elyaf örtü kullanılarak beton silindirlere etrafına sarılmış karbon lif takviyeli polimerin etkinliğine bakılmaktadır. Isı yalıtımı, karbon lif takviyeli polimerin yüksek sıcaklığa (400 °C- 715 °C) maruz kalması durumunda delaminasyonunu önlemeye meyillidir. Elde edilen sonuçlardan, betona ve karbon lif takviyeli polimer sarılı silindirlere yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında jeopolimer ve elyaf örtü kullanılarak yapılan yalıtım nedeniyle geliştirilmiş bir yük deformasyonel tepkisi olduğu gözlenmektedir. Jeopolimer ve seramik elyaf battaniyenin farklı yalıtım kalınlıkları için deney sonuçlarını doğrulamak ve yalıtımın etkinliğini incelemek için FE analizi kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Erkan vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, 4 adet kiriş 12.5x25x250 cm ebatlarında üretilerek test edilmiştir. Bu kirişler yük ve deplasman yükleme protokolüne göre deneyi sonlandırıldı. Deney sırasında anlık okumalar 8 kanallı veri okuma sistemi ile yapılmıştır. Ayrıca düşey deplasmanlar düşey cetveller (potansiyometrik cetvel) ile yapılırken yük okumaları yük ölçerler (Loadcell) yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada ön hasarlı eğilme kirişlerinin CFRP ile sarılarak güçlendirilmesi araştırılmıştır. Sonuç olarak %20 civarında artış gözlemlenmiştir.

Akyürek (2019) tarafından yapılan çalışmada, cam takviyeli polimer (GFRP) donatıların Tg (Polimer Matrisli Malzemelerin Geçiş Sıcaklığı) sıcaklığını baz alarak beton ile paspayı ve beton sınıfı farklı olan numunelerin yangın etkisine karşı performansı gözlemlendi. Sonuç olarak yapılan deneyde paspayı miktarı arttıkça ve en yüksek C40 beton sınıfı olan GFRP donatılı numunenin dayanımı daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Imran ve Mahendran (2020) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş kısa kare boşluklu çelik kolonların yangın etkisi altında yapısal performansı iki aşama halinde araştırılmıştır. İlk aşamada, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş kısa kare boşluklu kolonları, kararlı hal yangın

koşullarına maruz bırakılmış ve hasar alana kadar aksenel basınç altında test edilmiştir. Test sonuçları, yapıştırıcının cam geçiş sıcaklığının (66 °C) ötesinde nihai aksenel basınç kapasitesinde ciddi bir bozulma sergilediği ve karbon lif takviyeli polimerin etkisinin 225 °C'de tamamen azaldığını göstermiştir. İkinci aşamada, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş kısa kare boşluklu kolonları, sprey uygulanan bir yalıtım malzemesi ile yalıtıldı ve üç yük koşulunda standart yangına maruz bırakıldı. Standart yangın testi sonuçları, karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş ve yalıtılmış kolonların, tatmin edici yangın direnci seviyesi öneren 0,2 yük oranı altında 60 dakikadan fazla yangın derecesi elde edebildiğini göstermektedir.

Gawil vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, değişen sıcaklığın lif takviyeli polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini ve lif takviyeli polimer kompozitlerle bağlı bozulan beton yapıların yapısal performansı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Lif takviyeli polimer bağlı kirişler ve kolonlar yapısal davranışı simüle etmek için sonlu eleman modellerini (FEM) kullanan hesaplamalardan oluşur. Üç boyutlu genişletilmiş sonlu eleman modelleme programı kullanılarak (25 °C, 100 °C ve 180 °C) FRP ile güçlendirilmiş kirişlerin ve yapışkan malzemeli kolonların kırılma yükleri hesaplanmıştır. Ek olarak, lif takviyeli polimerin betondan katmanlara ayrılmayı modellemek için yapışkan çekme-ayırma hasarı modeli kullanıldı. Eğilme mukavemeti, açıklık ortası sehim, çatlak modelleri, kırılma yükleri ve test edilen modeller için başarısızlık modu, önceki deneysel çalışma ile karşılaştırıldı. Sonuçlar, bir FEM sonuçlarının deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir. Lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş beton kirişler için sıcaklık artışı ile eğilme mukavemeti azalır. Yüksek sıcaklık 180 °C, numunelerin basınç dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

Akpınar Sungur (2020) tarafından yapılan çalışmada, lif takviyeli polimer kompozitlerin yangına karşı dayanım sürecini tespit etmek amacıyla beyaz alçıpan, kırmızı alçıpan, seramik yünü, taş yünü ve alçı kaplı taş yünü kullanılmıştır. Bu yangın yalıtım malzemeleri vida ve alüminyum folyo bant ile birleştirilerek kutular oluşturulmuştur. Kutuların içerisine lif takviyeli polimer kompozit numuneler yerleştirilerek kullanılan yalıtım malzemesi, FRP kompozit ve ortamın sıcaklığını ölçmek amacıyla 3 adet K problu termometre yüzeylere yerleştirilmiştir. Deney

numuneleri ortam sıcaklığı maksimum 500 °C dereceye gelene kadar fırında ısıtılıp ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesinin yüzey sıcaklığı ile kutu içine alınan lif takviyeli polimer kompozitlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri K problu termometre yardımıyla ölçülerek, değerleri kaydedilmiştir. Kullanılan çeşitli yalıtım malzemelerinin lif takviyeli polimer kompozitlerin ortam sıcaklığına ulaşma sürelerini uzattığı görülmektedir. Bu sürelerin uzunluğu kullanılan yalıtım malzemelerine göre farklılık göstermektedir.

Ustabaş vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, mevcut köprü kolonlarından 9 adet karot numunesi alınarak karbon lif takviyeli polimer ile sarıldıktan sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda ANSYS yazılım programında modellenerek teorik basınç hesaplanarak uygulama ile teorik sonuçlar kıyaslanmıştır.

Abdulrahman ve Kadir (2021) tarafından yapılan çalışmada, yüksek dayanımlı basit destekli betonarme kirişlerin çekme ve basınç bölgelerini çeşitli yangınlara maruz bıraktıktan sonra karbon lif takviyeli polimer laminatlar kullanılarak güçlendirilen kirişlerin eğilme kapasitesini belirlemektir. Enine kesiti 200 mm ve yüksekliği 250 mm olan, 2000 mm uzunluğunda, basit destekli 10 adet yüksek dayanımlı betonarme kiriş, 45, 90,120 dakika süreyle standart ISO-834 veya ASTM E-119 yangına maruz kaldıktan sonra arızaya karşı test edilmiş ve karbon lif takviyeli polimer levhalarla güçlendirilmiştir. Kirişler üç gruba ayrıldı. Bir dizi dokuz ışın, kontrol ışınlarına ek olarak çeşitli maruz kalma süreleri için standart ateşe maruz bırakılmıştır. Bunu takiben, yangından zarar görmüş üç kirişi güçlendirmek için alt yüzeyine karbon fiber takviyeli polimer kullanılmıştır. Üç kirişin sıkıştırma yüzleri ateşe maruz bırakıldı. Test bulgularına göre, tüm numuneler küçük bir parçalanma ile eğilme modunda başarısız oldu. İki saat boyunca ateşe maruz kalan kiriş, kırılmadaki sapma kontrol kirişi ile hemen hemen aynı olmasına rağmen, patlamadan mukavemetinin %12'sini kaybetti. Yangından zarar görmüş kirişleri güçlendirmek için EB-karbon lif takviyeli polimer (dıştan bağlı) kullanmanın yangına maruz kalmanın etkilerini önemli ölçüde azalttığı fark edilmiştir. Kaybedilen sertliğin çoğunluğunu geri kazandırmak için de yeterliydi. Yangına maruz kalan sıkıştırma yüzeylerine sahip kirişler için nihai eğilme taşıma kapasitesindeki azalma, çekme yüzeyleri yangına maruz kalan kirişlerdeki düşüşten daha büyüktü. İki saat boyunca ateşe maruz kalan kiriş, nihai yükte %35'lik bir azalmaya sahipti. 90 ve 120

dakika boyunca yangına maruz bırakıldığında, yangına maruz kalan kirişlerin sıkıştırma bölgesinin sünekliği kabaca yarı yarıya azaldı.

Hamad (2021) tarafından yapılan çalışmada, kesme açısından yeterli olmayan betonarme T kirişlerin farklı karbon lif takviyeli polimer konfigürasyonu ile güçlendirilmesinde, güçlendirme tipinin davranışa olan etkisi deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Bu kirişlerin yedi tanesi kesme hasarının beklendiği bölgede parçalı karbon lif takviyeli polimer konfigürasyonları ile güçlendirilmiş bir tanesi ise kesme bölgesinde tam karbon lif takviyeli polimer sargılama yapılarak güçlendirilmiştir. Parçalı karbon lif takviyeli polimer uygulamasında güçlendirmelerin iki tanesinde karbon elyaf farklı açılardan (45° ve 90°) ankrajlarla kirişe sabitlenmiştir. Çalışmada ayrıca elde edilen deneysel sonuçlar ACI 440.2R-17, TDBY-2018 ve FIB- 2001'in vermiş olduğu amprik bağıntılarla da karşılaştırılmıştır. Her alternatifin çeşitli düzeyde dayanıma katkıda bulunduğu ama ankrajsız ve tam sargılı olmayan numunelerde özellikle karbon lif takviyeli polimer tabakalarının ayrılması (debonding) ile hasarın geliştiği görülmüştür.

Al-Rousan (2021) tarafından yapılan çalışmada, betonarme kirişler için iç kesme donatısı olarak karbon lif takviyeli polimer şeritlerin entegre edildiği bir uygulama yapılmıştır. Amaç, karbon lif takviyeli polimer şeritlerinin kesme mukavemetine katkısını değerlendirmek ve böylece şeritlerin yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce ve sonra ana veya ek kesme takviyesi olarak kullanmanın etkinliğini değerlendirmektir. karbon lif takviyeli polimer şeritler kirişin içinde bulunan donatıya yapıştırılmadan yan yana koyulmuştur. Önerilen teknik, yalnızca yeni betonarme elemanlara uygulanır ve mevcut yapı elemanlarını güçlendirmede uygulanmaz. Araştırılan parametreler, karbon lif takviyeli polimer şeritlerinin alanı, katmanlarının sayısını ve farklı yüksek sıcaklıkları içerir. Betonarme kirişlerin yüksek sıcaklığa maruz kaldığında nihai dayanım, nihai eğilme, sertlik ve toklukta önemli bir artış ile yüksek yapısal performans sergileyen bulgular elde edilmiştir.

Mahmood vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, yedi dikdörtgen betonarme kiriş inşa edilip üçü ortam sıcaklığında, dördü ISO 834 standart yangın ateşine maruz bırakılmıştır. yalıtımlı FRP kesme ile güçlendirilmiş betonarme kirişler ile yalıtımsız betonarme kirişler kıyaslandığında yalıtımlı olan kirişlerin 2,5 saatlik tatmin edici bir direnç sağladığı gözlemlenmiştir.

Wang vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer takviyeli öngerilmeli kirişlerin yorulma performansı üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Monotonik veya yorulma koşulları altında toplam 10 numune tasarlanmış ve test edilmiştir. Wang ve dig., (2022)'nin çalışması karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirme uygulamasının öngerilmeli betonarme kirişlerin monotonik ve yorulma koşulları altındaki performansını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır.

Jafarzadeh ve Nematzadeh (2022) tarafından yapılan çalışmada, gömülü cam takviyeli polimer ile düz ve fiber takviyeli beton kiriş numunelerinin eğilme tepkisi yangın sonrası karbon lif takviyeli polimer levhalarla güçlendirilmiş çubuklar incelendi. 10 cam takviyeli polimer çubukla güçlendirilmiş beton kirişte incelenen değişkenler arasında maruz kalma sıcaklığı (20, 400 ve 600 °C), hacimdeki çelik lif yüzdesi (%0 ve %1), inşaat demiri oranı (0,00314 ve 0,00872) ve karbon lif takviyeli polimer levha yer alır. U-şekilli ankrajın katmanlar (0, 1 ve 2), varlığı veya yokluğu şeklindedir. Isıtılmamış ve ısıtılmış kirişler üzerinde dört noktalı yarı statik eğilme deneyi yapıldıktan sonra, kirişlerin süneklik, çatlama deseni ve kırılma modu dahil olmak üzere çeşitli parametreler, yük-sehim diyagramları ile birlikte değerlendirilmiştir. Sonuç olarak karbon lif takviyeli polimer levhalar kullanılarak yapılan eğilme güçlendirmesinin numunelerin eğilme kapasitesini geliştirdiğini ve bu performans artışının maruz kalma sıcaklığındaki artışla daha belirgin hale geldiğini gösterilmiştir.

Azevedo vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, karbon lif takviyeli polimer şeritler ile güçlendirilmiş betonarme plakaların yangın davranışı hakkında üç farklı tekniğe göre deneyler yapılmıştır. Bu deneyler: dıştan bağlı donatı (EBR), yüzeye yakın (NSM) ve uçlara gömülü sürekli takviye (CREatE), erken karbon lif takviyeli polimer bağlarının ayrılmasını önleyen yeni bir tekniktir. Bu çalışmanın ana hedefleri üç yönlü olup güçlendirme tekniklerinin, yani CREatE tekniğinin (henüz incelenmemiş) yangın davranışını anlamak ve karşılaştırmaktır. Elde edilen sonuçlara göre koruma olmadan, CREatE tekniği alternatif NSM ve EBR tekniklerinden daha yüksek yangın direnci göstermiştir (24 dakikaya karşı 16 dakika ve 2 dakika); yangından korunma ile, geometrisinden bağımsız olarak, NSM ve CREatE teknikleri, EBR tekniğinden daha yüksek (60 dakikadan az) benzer bir

yangın direnci (her ikisi de 120 dakikanın üzerinde) göstermiştir ve her teknik için "kritik" sıcaklıklar, EBR, NSM ve CREAtE için sırasıyla 1.0Tg, 2.5Tg ve 3.0Tg olarak tanımlanmıştır.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapıların taşıyıcı yapı elemanlarında meydana gelen şiddetli depremler, doğal afetler, yapının zamana göre dayanımının zayıflaması sonucu yapısal hasar oluşması ya da kullanım amaçlarının değişmesi durumunda taşıyıcı elemanların onarım ve güçlendirilmesi gerekmektedir (Erkan vd., 2019). Her bir eleman ve bu elemanların bağlantı noktaları için mühendisler çeşitli yöntemlerle güçlendirme çalışmaları yapmaktadır. Bu yöntemlerden kirişler için ön plana çıkan yöntemlerden birisi de karbon lif takviyeli polimer ile sargılanarak güçlendirilmesidir. Uygulanan yöntemin normal iklim koşullarında güçlendirdiği belirlenmiştir. Fakat yapılan projede söz konusu yöntem ile elde edilen kazanımların dış etkenlerden biri olan yüksek sıcaklığa maruz kaldığında ne düzeyde devam ettiği araştırılacaktır. Bu elemanlar geliştirilen yeni tekniklerle güçlendirilerek eski haline göre daha güvenli duruma getirilmektedirler.

Bu çalışmada; betonarme kirişlerin karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirildikten sonra yüksek sıcaklık etkisine maruz kalması durumunda kirişin dayanımındaki değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Güçlendirme Tanımı ve Güçlendirme Amaçları

Güçlendirme; bir yapının taşıma gücünü, rijitliğini, sünekliğini veya stabilitesini önceki durumundan geçerli bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Bina güçlendirmesi, bir yapının muhtemel bir depremde yıkılması veya çökmesi ile oluşacak can kaybını önlemek amacıyla yapılan, binayı yapısal ilavelerle depreme daha dayanıklı hale getirmeyi amaçlayan bir müdahaledir. Binanın yıkılıp yeniden yapılması çoğu zaman çok maliyetli olduğu için alternatif olarak güçlendirme işlemi yapılmakta ve daha az maliyetli ve az zahmetli olmaktadır. Her yapı birbirinden farklı özellikte ve amaçta kullanıldığı için güçlendirme yönteminin binaya uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir (Aytaç, 2011).

Ülkemizde mevcut olan bazı yapıların; depremler, savaşlar, yapı elemanlarının zamana bağlı zayıflaması, yangınlar vb. gibi nedenlerden dolayı veya yapının amacı dışında kullanılmasından kaynaklı yenilenmesi gerekmektedir.

1.4. Güçlendirme Yöntemleri

Ülkemizde taşıyıcı elemanları yetersiz kalan veya herhangi bir durumdan hasar alan yapıların güçlendirilmesiyle ilgili bir çok yeni yöntemler araştırılıp geliştirilmiştir. Buna göre güçlendirme yöntemleri olarak; lif takviyeli polimer ile güçlendirme konusuyla ilgili literatür incelendiğinde; tüm araştırmacılar lif takviyeli polimer kompozitlerin yapı elemanlarının dayanma önemli ölçüde katkı sağladığı konusunda hemfikirdirler (Xiao ve Wu, 2003; Seffo ve Hamcho, 2012; Ozbakkaloglu ve Lim, 2013; Yin vd., 2016; Lee vd.; 2017; Ustabas vd., 2020).

1. Lif takviyeli polimer ile güçlendirme
 - a. Karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirme (Şekil 1) (URL-1),
 - b. Cam takviyeli polimer ile güçlendirme (Şekil 2) (URL-2),
 - c. Aramid lif takviyeli polimer (AFRP) ile güçlendirme
 - d. Bazalt lif takviyeli polimer (BFRP) ile güçlendirme
2. Çelik levha ile güçlendirme (Şekil 3) (URL-3),
3. Betonarme güçlendirme (Şekil 4) (URL-4),
4. Epoksi enjeksiyon (Şekil 5) (URL-5),
5. Poliüretan enjeksiyon (Şekil 6) (URL-6),
6. Epoksi zemin kaplama (Şekil 7) (URL-7).

Yukarıda sıralanan güçlendirme yöntemlerinin genel amacı eleman ya da sistemin dayanımını, sünekliğini ve rijitliğini istenilen düzeye getirmektir (Tanarlan, 2007; Dalyan vd., 2017).



Şekil 1. Karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirme

Karbon lif takviyeli polimerler lif takviyeli polimer kompozitlerin bir çeşididir (Turgay vd., 2010, Ustabas vd., 2020). Taşıyıcı yapı elemanlarında yük artışı (ilave yük gelmesi veya bina kullanım amacının değişmesi), etriye sıklaştırma yapılmaması (proje hataları veya imalat hataları), beton kalitesinin düşük çıkması (hatalı beton dökümü), darbe ve patlama gibi etkiler (köprü ve viyadük ayaklarında meydana gelen hasarlar) nedenlerinden ötürü güçlendirmeye ihtiyaç duyarlar. Bu gibi durumlarda hasara göre karbon lifli polimer plaka veya karbon lifli polimer kumaş uygulanarak yapılar güçlendirilir. (URL-1). Ayrıca yüksek mukavemete sahip, uygulanması kolay ve korozyon, alkali gibi dirençlere ve tuz toleransı olan sert ortamlara karşı da direnç göstermektedir (Akpınar Sungur, 2020).



Şekil 2. Cam takviyeli polimer ile güçlendirme

Bu malzeme, polimer matrisi için takviye edici bileşen olarak cam içermektedir. Diğer lif takviyeli polimer formlarıyla karşılaştırıldığında, cam elyaf takviyeli plastik nispeten yüksek bir yoğunluğa ve orta ağırlığa sahiptir. Aynı zamanda güçlü bir malzemedir. Bunlara ek olarak, cam takviyeli polimer daha ucuzdur, bu da bu malzemeyi birçok uygulamada kullanmamızı sağlar. (URL-2)



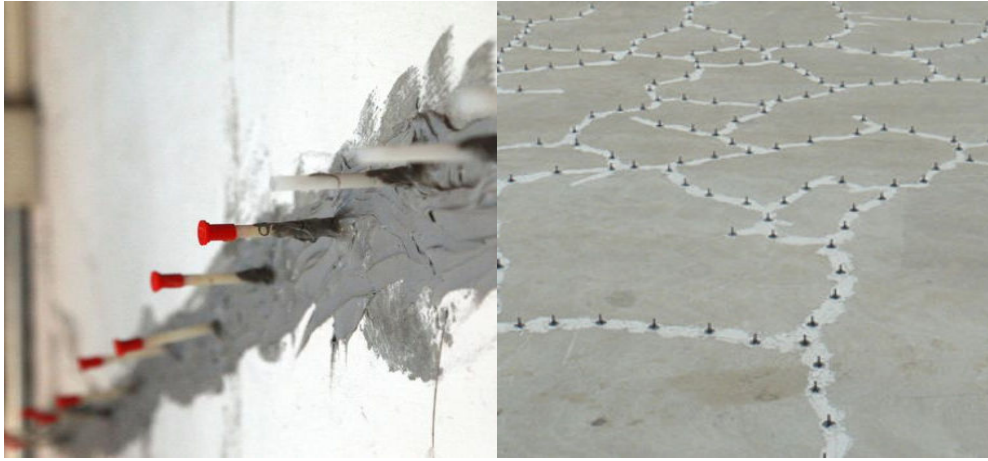
Şekil 3. Çelik levha ile güçlendirme

Binaların taşıyıcı elemanlarında yük artışı (ilave yük gelmesi veya bina kullanım amacının değişmesi), boyuna donatı veya etriye eksikliği, sıklaştırma yapılmaması (proje hataları veya imalat hataları), kirişlerde boşluk açılması ve tahribatlar (tesisat kanalları, çarpmaya bağlı hasarlar), beton kalitesinin düşük çıkması (hatalı beton dökümü) gibi nedenlerden dolayı güçlendirmeye ihtiyaç duyulur. Yapılan hasar tespitine göre çıkarılan projeyle, gerekli çelik konstrüksiyon destekler, kolonların veya kirişlerin çelik destek ile kaplanması imalatı yapılır. (URL-3)



Şekil 4. Betonarme güçlendirme

Betonarme yapı güçlendirme, taşıyıcı elemanlarda kesit yetersizliği ve zayıflığı nedeniyle oluşturulan yapısal güçlendirme projesi kapsamında, zayıf perde duvarlarının temelden çatıya veya taşıyıcı kolon sisteminin belli bir kısmında yapılan kesit yenileme oluşturma imalatıdır. Montalama, eski taşıyıcı elemana epoksi kimyasallar kullanılarak sabitlenen nervürlü inşaat demirleri, projede belirtilmiş donatılara bağlanıp kalıp kurulum beton dökme imalatıdır. (URL-4)



Şekil 5. Epoksi enjeksiyon ile güçlendirme

Taşıyıcı sistemde çeşitli nedenlerle oluşmuş çatlaklar elemanın taşıma kapasitesini düşürmektedir. Enjeksiyon sistemi ile epoksi uygulanarak kesit yetersizliğine bağlı güçlendirme çalışması yapılır. Yapı güçlendirme için özel üretilen epoksi kimyasal çatlak aralarını doldurup yapının mukavetini artırır ve tekrar çatlamaya ve kırılmaya karşı esneklik sağlar. (URL-5)



Şekil 6. Poliüretan enjeksiyon ile güçlendirme

Betonarme sistemde ve çeşitli zemin yapılarında oluşmuş çatlaklar, elemanın taşıma kapasitesini düşürmektedir ve zaman içerisinde yalıtım sorunlarına bağlı su kaçaqları oluşmaktadır. Enjeksiyon sistemi ile poliüretan malzeme uygulanarak su kaçaqlarına karşı yalıtım sağlanır. Zemin veya temel altındaki boşlukların oluşturduğu çökmeler poliüretan enjeksiyon ile düzeltilir ve güçlendirilir. Zemin güçlendirme ve çatlak sızdırmazlığı olarak iki farklı kullanım amacı vardır. (URL-6)



Şekil 7. Epoksi zemin kaplama ile güçlendirme

Zeminin taşıyacağı yük, mağruz kalacağı fiziksel ve kimyasal etkiler, ihtiyaç duyulan kayganlık veya pürüzlülük, elektriksel etkileşim, uygulanacak zeminin durumu gibi koşullara göre farklı karışımlarda ve kalınlıklarda uygulanan epoksi, yapının zeminini ihtiyaçlara göre tasarlanmasına olanak sağlar ayrıca temizlik ve hijyen konularında etkili bir çözüm üretir. (URL-7)

Her yapının kendine ait özellikleri ve farklı kullanım amacı olduğu için yapılacak olan güçlendirme işlemi de bunlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Burada amaç, yapıda meydana gelen hasarın giderecek şekilde önlemlerinin belirlenmesi ve hasarın etkisiyle ortaya çıkarn direnç kaybının giderilmesi ya da hasarın meydana gelmemesi için yapılması gerekli güçlendirme işlemlerinin belirlenmesidir (Aytaç, 2011). Yapılan güçlendirmelere bağlı olarak geleneksel güçlendirme yöntemleri olan betonarme güçlendirmesi vs. yerine daha az zahmet, daha kısa sürede ve genelde daha az maliyetli olan yöntemlerin kullanılması yaygınlaşmıştır ve buna bağlı olarak yeni yöntemler üzerinde daha fazla araştırma yapılmaktadır.

1.4.1. Lif Takviyeli Polimer Malzeme ve Tarihçesi

Lif takviyeli polimer ilk olarak Leo Baekeland tarafından 1905 yılında üretilebileceği keşfedilmiştir (URL-8). Bu buluş 5 Şubat 1909 yılında Amerika’da bir toplantıda duyurulmuştur (URL-9). Ticari anlamda lif takviyeli polimerlerin geliştirilip kullanılması 1930’lu yılları bulmuştur. Özellikle de havacılık endüstrisinin ilgisini çekmekteydi. 1932 yılında Games Slater tarafından erimiş cama yanlılıkla basınçlı hava püskürterek cam şeritlerinin icadını gerçekleştiriyor. Şekil 8’de görüldüğü gibi lif takviyeli plastik uçak olduğu düşünülen Fairchild-F46 gösterilmektedir (URL-10).



Şekil 8. Fairchild-F46

Ray Greene, 1937'de kompozitten tekne üretti fakat polimerin kırılabilirliğinden dolayı daha fazla ileriye götüremedi. Rusya 1939 yılında polimerden bir yolcu gemisi ürettiğini bildirdi. Amerika Birleşik Devletleri'nin bir uçağın gövdesi ve kanatları inşa ettiği duyuruldu. Cam elyaf gövdeye sahip ilk araba 1946 Stout Scarab idi. Bu modelden sadece biri inşa edildi. Ford prototip 1941 yılının ilk plastik otomobil olabilirdi fakat kullanılan polimer malzemelerden dolayı kısa bir süre sonra yıkıldı. Karbon lif takviyeli polimerlerin üretimi İngiliz endüstrisinde 1950'lerin sonlarında 1960 yıllarının başında gerçekleşmiştir. İlk olarak DuPont tarafından Nomex ticari adıyla ortaya çıktı. 1970 yıllarının sonunda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lif takviyeli polimer ile inşaat alanında güçlendirme ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında araştırılmaya başlanmıştır. Lif takviyeli polimer, 1980'lerde Avrupa'da ve Japonya'da, yüksek mukavemet / ağırlık oranının ve lif takviyeli polimer malzemelerinin kolay kurulumunun bir sonucu olarak popülerlik kazanmıştır. Ayrıca California'da ve Kobe'de meydana gelen yıkıcı depremlerin etkisiyle betonarme yapıların iyileştirmesi ve güçlendirilmesinde kullanılmıştır.

1.4.2. Lif Takviyeli Polimer ile Güçlendirme

Lif takviyeli polimerler (literatürde bilinen adıyla FRPler), bir polimer reçinesinin içine gömülmüş yüksek mukavemetli liflerden oluşan kompozit elemanlardır. Sertleşme oranı, yüksek sıcaklıklara ve iki tutucunun sıcaklığına bağlıdır. Epoksi ile yapıştırılan lif takviyeli polimer malzemelerle yapılan O/G yöntemleri kalıp, demir donatı, beton dökümü ve kalıp sökülme süresi gibi zaman alan imalatlar olmadığı için göreceli olarak daha hızlı yöntemlerdir (Çetinkaya vd., 2004). Bu yöntemler yapı ağırlığını arttırmayan, kolay ve hızlı uygulanabilen, elemanların kapasitelerini önemli ölçüde arttıran lif takviyeli polimer uygulamaları ön plana çıkmaktadır (Arya vd., 2002; Norris vd., 1997; Özcan, 2005). Lif takviyeli polimerlerin lif içeriğinin yüzdesi, liflerin polimerdeki yeri ve ısı transfer katsayısına bağlı olarak çekme, eğilme, kayma dayanımı, yorulma ve elektriksel dayanımı değişmektedir. Lif takviyeli polimer kompozitlerin özgül ağırlığının düşük olması, kopma dayanımının yüksek olması, çürüme, kurtlanma, paslanma yapmaması, istenilen şekil ve boyutlarda üretilebilmesi, yüksek elektriksel yalıtımlığa sahip olması, yüksek ısı ve su izolasyonuna sahip olması gibi üstün özelliklerine karşın, yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerinde önemli ölçüde azalmalar olduğu

bilinmektedir (Akpınar Sungur, 2020). Bu özellikler doğrultusunda savunma sanayisinde, uçak, helikopter gibi askeri hava araçlarında, makine yapımında, spor aletlerinde, zırhlı araçlarda, çelik ve beton tanklarda, kıyı ve açık deniz yapılarında, endüstriyel çatı tavanlarında, ahşap yapıların güçlendirilmesinde, patlamaya dayanıklı yapıların güçlendirilmesi ve benzeri gibi alanlarda da gelişme göstermiştir. Yapıların kiriş, kolon, perde, taşıyıcı duvar ve kat döşemeleri gibi taşıyıcı elemanlarda hızlı ve etkili bir güçlendirme yapılabilmektedir (Anania vd., 2005). Lif takviyeli polimer malzemeler lif yönünde çok büyük dayanım gösterirken lif yönüne dik yönde oldukça zayıf dayanım gösterirler.

1.4.2.1. Karbon Lif Takviyeli Polimer ile Güçlendirme

CFRP terimi, karbon lif takviyeli polimer anlamına gelir (URL-11). Bunlar hafif ve yüksek mukavemete sahip güçlendirilmiş polimer kompozitlerdir (Akpınar Sungur, 2020). Bu nedenle bu malzemeler günlük hayatımızda kullandığımız farklı ürünlerin imalatında önemlidir. Karbon lif takviyeli polimer, birincil yapısal bileşen olarak karbon fiber kullanılarak güçlendirilmiş bir kompozit malzemedir (Turgay vd., 2010; Ustabaş vd., 2020). Genel olarak, karbon lif takviyeli polimerler, epoksi, polyester veya vinil ester gibi ısıyla sertleşen reçinelerdir. Karbon lif takviyeli polimer çok hafif ve düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen, malzemenin birim ağırlığı başına çok daha güçlü ve daha serttir. Ancak, karbon lif takviyeli polimer malzeme kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Önemli bir dezavantajı maliyetidir. Karbon lif takviyeli polimerlerin çok fazla kullanılmamasının nedeni budur. Malzemenin maliyeti, mevcut piyasa koşullarına, takviye için kullanılan karbon elyafın türüne ve elyafın boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Genellikle, karbon lif takviyeli polimer pahalıdır, fiberglastan yaklaşık 5 ila 25 kat daha fazladır. Maliyet dışında, iletkenlik karbon lif takviyeli polimerin bir başka dezavantajıdır. Çünkü karbon lif son derece iletkendir (fiberglas yalıtkandır). Ancak bu özellik zaman zaman hem avantajlı hem de dezavantajlı olabilmektedir (URL-12).

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal ve Yöntem

2.1.1. Materyaller

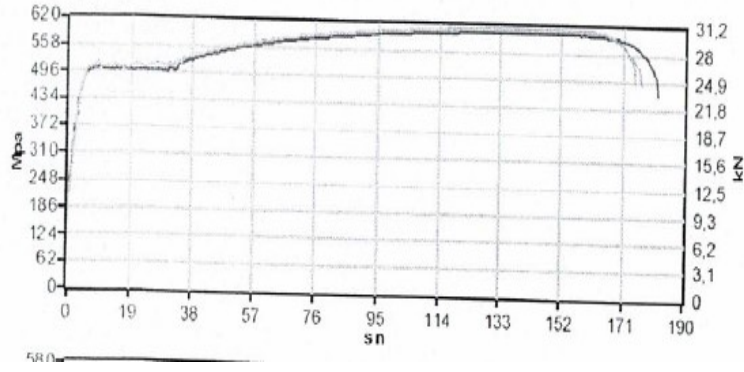
Kirişlere dıştan yapıştırılan karbon lif takviyeli polimer malzemelerin kirişlerin eğilme ve/veya kesme kapasitesini arttırdığına yönelik literatürde bir çok çalışma mevcuttur. (Khalifa ve Nanni, 2000; Karakoç vd., 2013; Sayed vd., 2014; Kim vd., 2015; Mostofinejad ve Khozaei, 2015; Dalyan vd., 2017). Bu çalışmada dayanımın daha fazla çıkması için karbon lif takviyeli polimer ile çift kat sargılanmış betonarme kiriş numunelerinin yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki eğilme dayanımındaki değişimin araştırılmıştır. Kiriş numunelerinin üretilmesinde CEM II 32,5 portland çimentosu, kaba ve ince mıcır, taş tozu, kimyasal katkı olarak mpozzolith ve kür su olarak da Trabzon şebeke suyu kullanılmıştır.

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin karışım oranlarına ait bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Beton karışım oranları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
15-30 mm Kaba Mıcır (Bmex)	671
07-15 mm İnce Mıcır	255
0-7 mm Taş Tozu	860
CEM II 32,5	310
Su	160
Kimyasal Katkı (mpozzolith3296)	4,2
Beton Sınıfı / Donatı Sınıfı	C25 / S420

Kiriş numunelerinde Ø8 lik donatı kullanılmış olup Şekil 9, Tablo 2 ve Tablo 3’te çekme ve akma özellikleri görülmektedir.



Şekil 9. Ø8 lik donatı akma noktası

Tablo 2. Ø8 lik donatı çekme/akma standart sınır değerleri

Standart sınır değerler	TS 708	TS ENISO 15630-1	TS EN ISO 6692-1
		Akma Min. 420 Mpa	
Numune çapı (mm)	8	9	10
Min.Anma Kütlesi Kg/m	0,371	0,469	0,580
Max.Anma Kütlesi Kg/m	0,418	0,528	0,654

Tablo 3. Ø8 lik donatı çekme/akma değerleri

Anma Çapı mm	Kütle Kg/m	Akma Mpa	Çekme Mpa	Çekme/ Akma	React/ Renom	Kopma Uzama%
8,0	0,396	487	609	1,25	1,16	28,8
8,0	0,398	492	604	1,23	1,17	31,0
8,0	0,398	505	613	1,22	1,20	30,0

Numuneleri güçlendirmek için kullanılan karbon lif takviyeli polimer ve epoksi setinin üretici tarafından bildirilen özellikleri Tablo 4’te verilmiştir. Şekil 10’ da da karbon lif takviyeli polimr örneği gösterilmektedir.

Tablo 4. Karbon lif takviyeli polimer kumaş ve epoksi teknik özellikleri

	CFRP	Epoksi
Yoğunluk (kg/m ³)	1850	1300
Çekme Dayanımı (Mpa)	4200	50
Elastisite modülü (Mpa)	240000	3800
Kopma Uzaması	%1,8	%0,9
Poisson Oranı	0,2	-



Şekil 10. Kullanılan karbon lif takviyeli polimer örneği

2.1.2. Yöntem

Kiriş numunelerin üretilmesinde istenilen ölçü ve şekli elde edebilmek için kullanılan kontraplaktan yapılan kalıplar Şekil 11’deki gibi görülmektedir .



Şekil 11. Kiriş numuneleri için yapılan çift kalıp

Numuneler 480 mm uzunluğunda, 100 mm yüksekliğinde (h) ve 150 mm gövde genişliğinde (b_w) üretilmiştir. Betonarme kirişlerin basınç dayanımı, C25/30 sınıfını sağlamaktadır. Beton dökümünden önce bütün kiriş kalıpları Şekil 12’de görüldüğü gibi kalıp yağı ile yağlanmıştır.



Şekil 12. Kalıp yağlanması

Kiriş numunelerine 2Ø8 çekme donatısı yerleştirilmiştir. Donatılar etriyesiz olarak uygulanmış ve 25 mm paspayı bırakılarak kalıba yerleştirilmiştir. Beton; kalıplara iki aşamada dökülmüştür. Her bir döküm aşamasında kalıplar 25'er defa şişlenmiş olup en son aşamada da tokmaklanmıştır. Beton kalıplara döküldükten sonra beton yüzey çelik mala ile Şekil 13'teki gibi tesviye edilerek düzeltilmiştir.

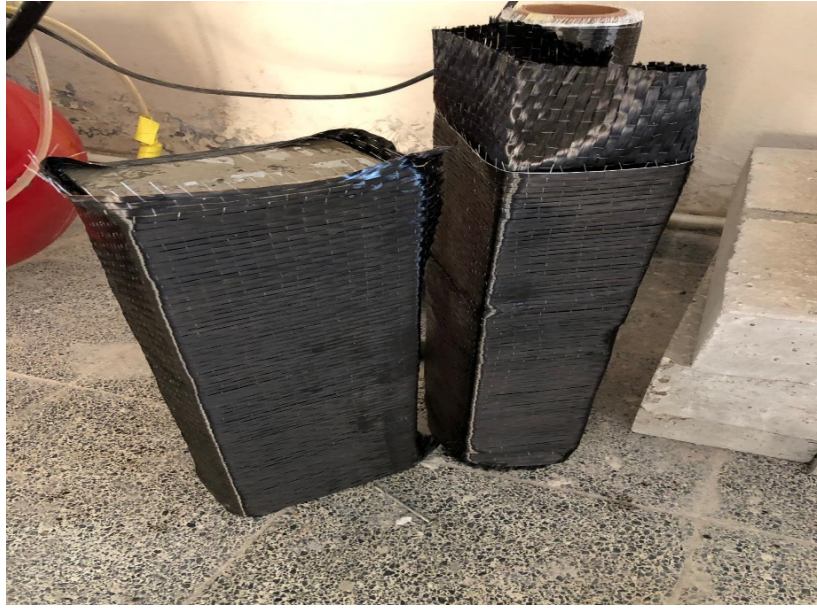


Şekil 13. Beton dökümü tamamlanmış kiriş numuneleri

Kiriş numuneleri beton dökümden 1 gün sonra çimentonun hidrasyon sürecinin devamı için priz alma sürecinde ısıнын artmasıyla birlikte kaybedilen suyun yerine kür edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bütün numuneler 28 günlük süre boyunca 20 °C (+ -2) de kür havuzunda bekletilmişlerdir.

Kiriş numunelerinin güçlendirilmesinde en önemli şey karbon lif takviyeli polimer malzemesini kaliteli reçine ve sertleştirici kullanarak beton yüzeye iyi bir şekilde yapışmasını sağlamaktır. karbon lif takviyeli polimer kiriş yüzeyine yapıştırılmadan önce kiriş numuneleri toz vb. maddelerden arındırılır. karbon lif takviyeli polimer kumaşlar kirişleri saracak şekilde kesilir. Daha sonra epoksi A tipi (karışım miktarı:3,73 kg) ve B tipi (karışım miktarı:1,27 kg) birleştirilerek homojen bir şekilde karıştırılıp elde edilir.

Epoksi reçine her iki kata sürülecek şekilde bir fırça yardımıyla 12'şer adet betonarme kiriş numunesinin tüm yüzeyini kaplayacak şekilde sürülmüştür. Bu işlemden sonra Şekil 14'te görüldüğü gibi kesilen karbon lif takviyeli polimer kumaşlar iki kat olacak şekilde ve iki yönde sarılmıştır. Epoksinin zaman ve sıcaklığa bağlı olarak sertleşmesini önlemek için sargı işlemi hızlı yapılmıştır. Kiriş numuneler epoksinin kurumması için minimum 7 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir.



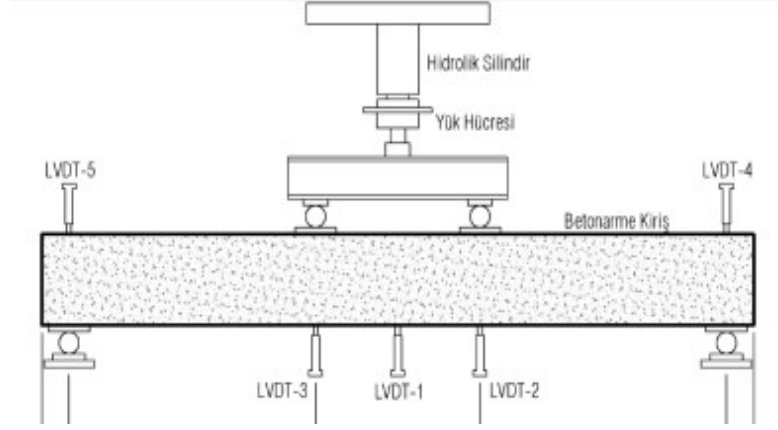
Şekil 14. Çift doğrultuda sarılmış kiriş numuneleri

Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş 4'er adet toplamda 24 adet betonarme kiriş numunesi 2 saat süreyle 24°C, 120°C ve 240 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklık uygulama işlemi Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarlarındaki "sıcaklık fırını" vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Isıtma işlemine ait fotoğraflar Şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 15. 240 °C 2 saat ısıtılmış güçlendirilmiş numuneler

İlk olarak 4'er adet ortalama 24 °C derece ortam sıcaklığında bekletilmiş güçlendirilmemiş betonarme kiriş numuneleri ile karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile sarılarak güçlendirilmiş numuneler kiriş eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Aynı işlem sırasıyla 120 °C ve 240 °C de 2 saat süreyle ısıtılmış güçlendirilmemiş ve karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş kiriş numuneleri için de uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen tüm deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygulanan kiriş eğilme deney düzeneği Şekil 16'da şematik olarak Şekil 17'de ise fotoğrafla gösterilmiştir.



Şekil 16. Deneylerde kullanılan dört noktalı yükleme düzeneği (Dalyan vd., 2017)



Şekil 17. Deney düzeneği

2.1.3. Güçlendirilmiş Numunenin ANSYS Modellemesi

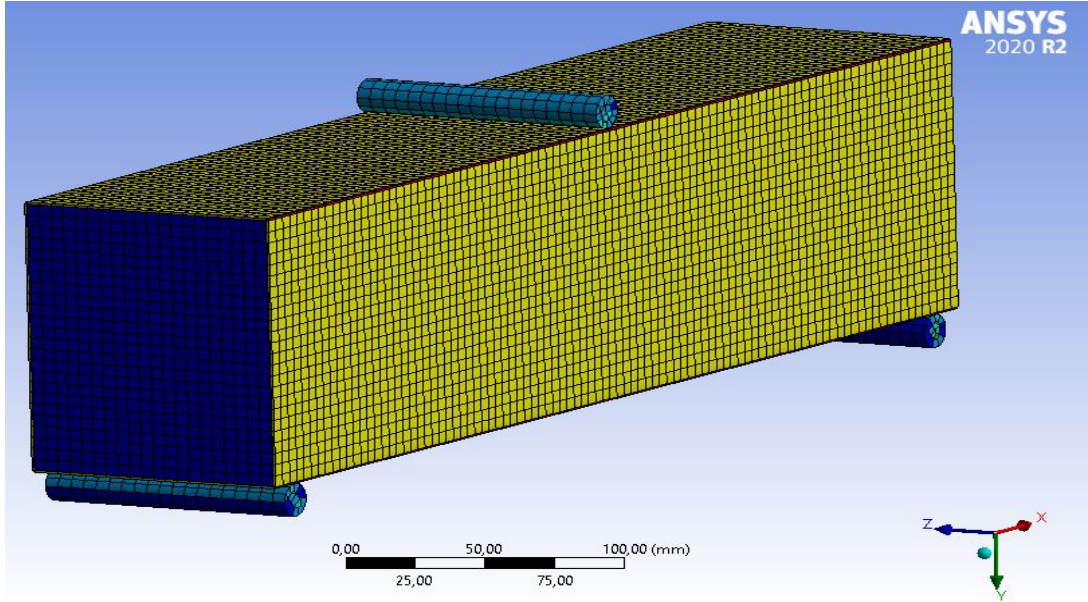
Basınç dayanımı testine tabi tutulan numuneler Ansys Workbench sonlu eleman paket programında yerinde dökülen betonarme kiriş numunelerinin boyutlarında modellenmişlerdir.

Modelleme yapılırken betonun nonlineer özelliklerini dikkate almak için Ansys Workbench paket programı malzeme kütüphanesinde bulunan Drucker-prager malzeme parametreleri kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 5'te kullanılan betonun lineer ve nonlineer parametreleri verilmektedir.

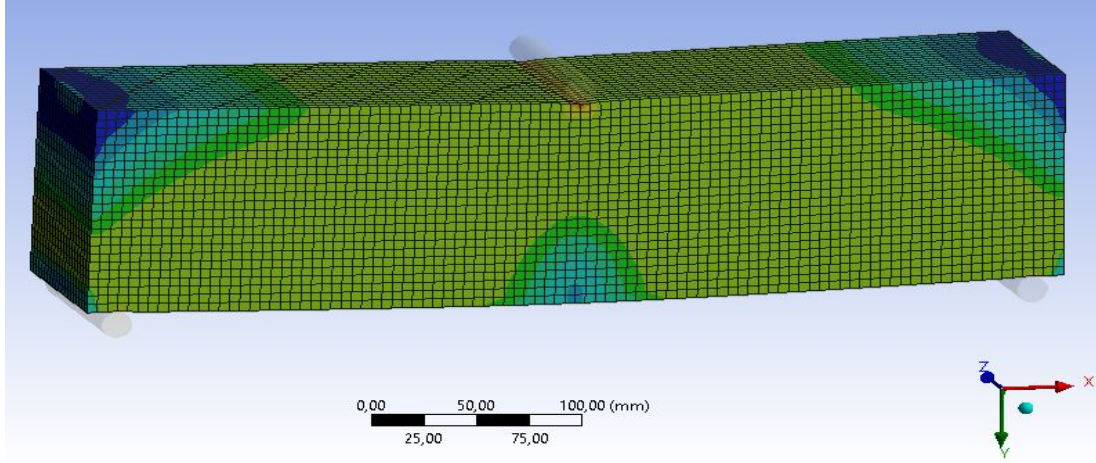
Tablo 5. Lineer ve Nonlinear Parametreler

Lineer Parametreler	Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	2300
Elastisite Modülü (Pa)	3E+10
Poisson Oranı	0.18
Hacim Modülü (Pa)	1.5625E+10
Kayma Modülü (Pa)	1.2712E+10
Nonlinear Parametreler (Drucker-Prager)	Değer
Ölçek	1
Öteleme (Pa)	0
Maksimum Çekme Gerilmesi (Pa)	-4E+0

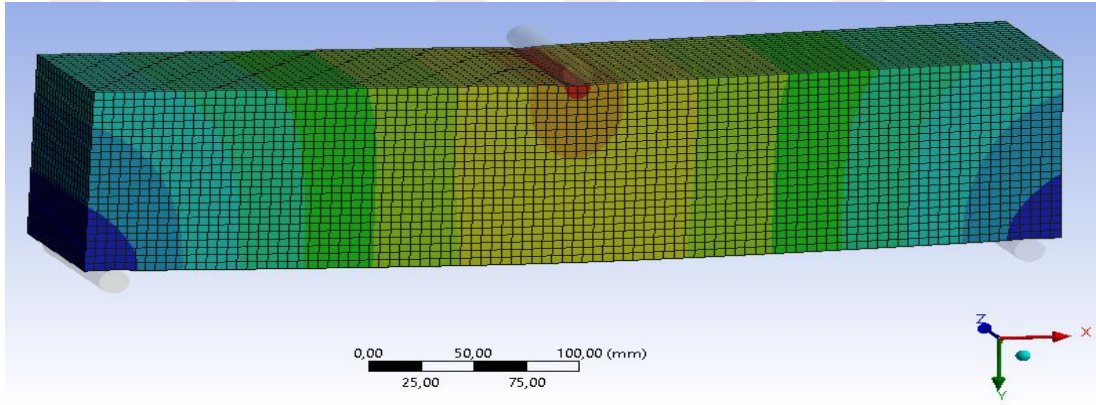
Modelleme esnasında epoxy malzeme tanımlanmamış, karbon lif takviyeli polimer malzemenin birbirine ve beton numunelere temas ettiği noktalarda kontakt tipi olarak bonded seçilmiştir. Bonded kontakt tipinde kullanılan geometrinin hem geometri eksenini hem de geometri eksenine dik doğrultuda yer değiştirmedeği kabul edilmektedir. Şekil 18'deki gibi Ansys modeli deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 18. Ansys modeli deney düzeneği



Şekil 19. Gerilme değerleri



Şekil 20. Oluşan deplasman değerleri

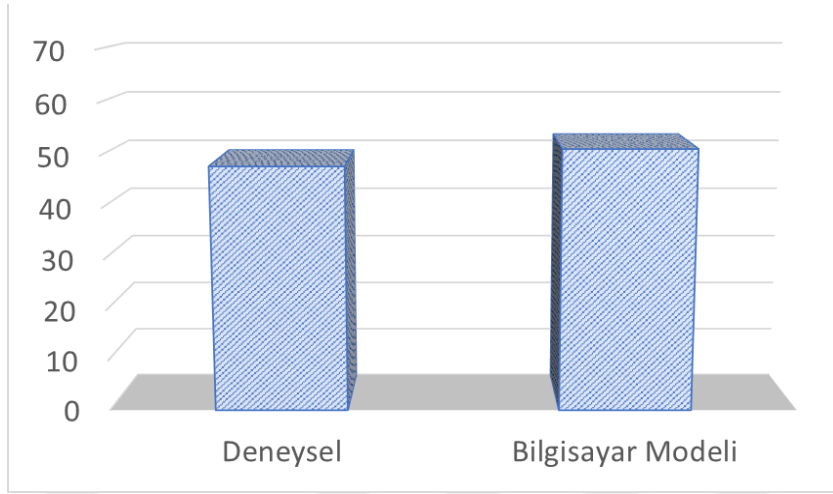
Yukarıda verilen Şekil 19 ve Şekil 20'deki gibi gerilme ve deplasman dağılımları görülmektedir. Tablo 6'da da gerilme ve deplasman dağılımların sayısal değerleri verilmektedir.

Tablo 6. Ansys modeli gerilme ve deplasman değerleri

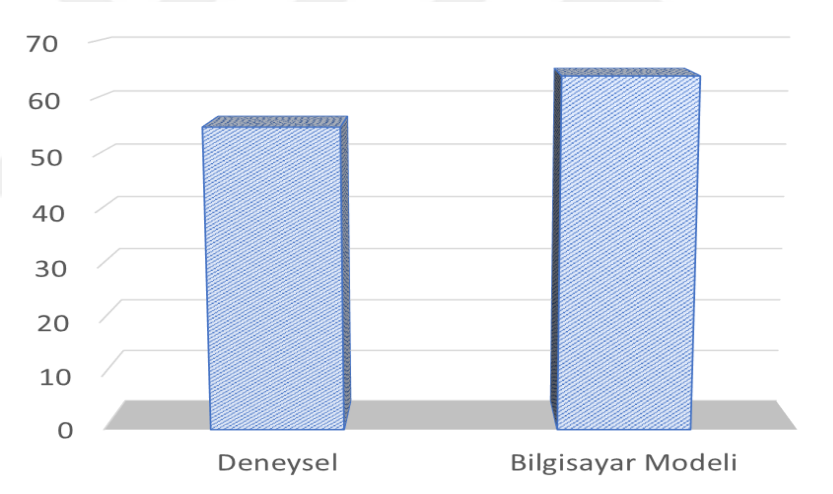
Kiriş Numune Adı	Gerilme (MPa)	Deplasman (mm)
Güçlendirilmemiş	51,3	11
Güçlendirilmiş	64,2	15

Tablo 6'da gösterilen güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş betonarme kiriş numunelerinin bilgisayar modelinde çıkan gerilme değerleri ile deneysel çalışmada

çıkan değerler karşılaştırılmış olup Şekil 21 ve Şekil 22'deki gibi grafiksel olarak gösterilmiştir.



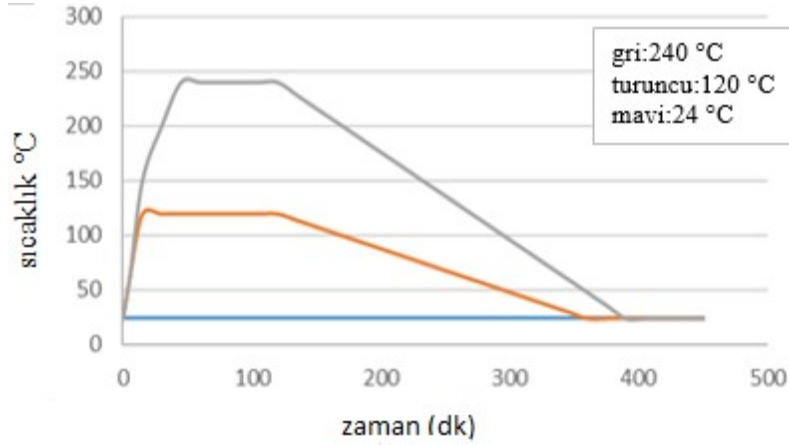
Şekil 21. Güçlendirilmemiş numunelerin gerilme değerleri



Şekil 22. Güçlendirilmiş numunelerin gerilme değerleri

2.2. Bulgular

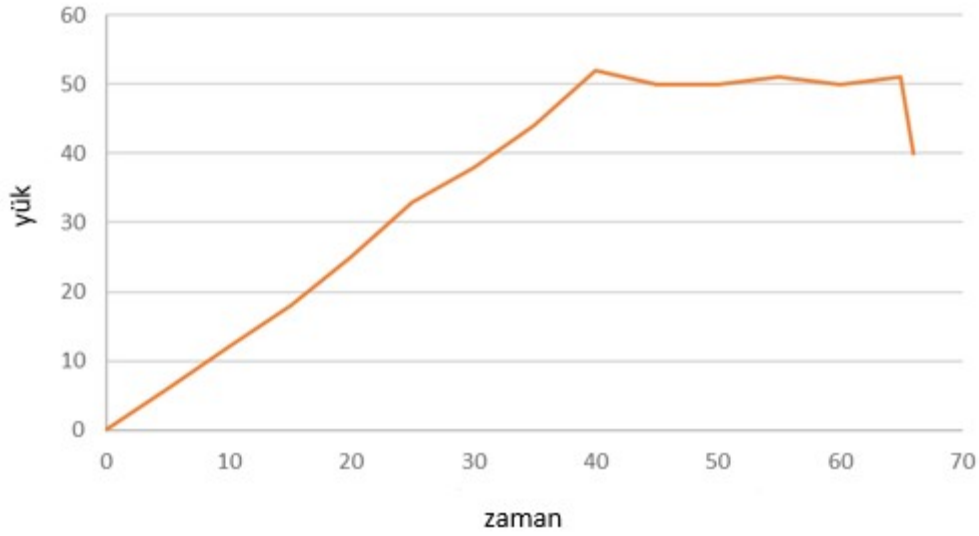
Bu tez çalışmasında eğilme deneyine tabi tutulan 24 adet betonarme kiriş numunelerine ait deney sonuçları Tablo 7'de görülmektedir. Hem güçlendirilmemiş hem de karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirilmiş numuneler deney öncesinde 24 °C (23 °C -25 °C doğal ortam sıcaklığı), 120 °C ve 240 °C olmak üzere üç farklı ısıda 2'şer saat süreyle sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Numunelere uygulanan ısı yüklemesinin "sıcaklık-zaman" grafiği üzerinde gösterimi Şekil 23'teki gibidir.



Şekil 23. Sıcaklık-zaman grafiği

Şekil 23'teki grafik numunelerin zamana bağlı ısı yüklemesini göstermektedir. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş numunelerin ısınma ve soğuma süreleri birbirine çok yakın olduğundan grafikler çakışmaktadır. Bu nedenle grafikteki veri setleri sadece numunelerin maruz bırakıldığı maksimum ısıya göre isimlendirilmiştir. Grafikte mavi renkle gösterilen numune oda sıcaklığındaki kirişin ısı yüklemesidir. Bu numunede herhangi bir ısıtma ve soğuma işlemi uygulanmamıştır. Grafikte turuncu renkle gösterilen numune maksimum 120 °C derece ısıya maruz bırakılan kiriştir. Kiriş numunesinin maksimum ısıya ulaşma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür. 2 saat süreyle bu ısıya maruz bırakıldıktan sonra fırından çıkarılan numune yaklaşık 3 saat içinde oda sıcaklığına dönmüştür. Şekilde gri renkli olan 240 °C dereceye kadar ısıtılan numune yaklaşık 45 dakikada maksimum ısıya ulaşmıştır. 2 saat bu ısıya maruz bırakıldıktan sonra fırından çıkarılan numunenin oda sıcaklığına dönmesi yaklaşık 4 saat sürmüştür.

Isı yüklemesi tamamlanan numuneler basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numunelere uygulanan yüklemenin "Yük-zaman" grafiği Şekil 24'teki örnek bir numune için görülmektedir.



Şekil 24. Sargısız 24 °C olan numunenin yük-zaman grafiği

Tablo 7. Betonarme kiriş numunelerinin deney sonuçları

Kiriş Numune Adı	24 °C (MPa)	120 °C (MPa)	240 °C (MPa)
BK-SRGSZ 1(Sargısız)	47,9	47,8	44,3
BK-SRGSZ 2(Sargısız)	48,1	47,9	44,6
BK-SRGSZ 3(Sargısız)	47,7	47,7	44,9
BK-SRGSZ 4(Sargısız)	48,2	48,3	44,5
<i>Sargısız Ortalama Dayanım</i>	<i>47,98</i>	<i>47,93</i>	<i>44,58</i>
BK-SRGL 1(CFRP Sargılı)	55,6	55,3	50,7
BK-SRGL 2(CFRP Sargılı)	55,2	55,4	51,1
BK-SRGL 3(CFRP Sargılı)	54,8	55,1	51,0
BK-SRGL 4(CFRP Sargılı)	55,3	55,1	50,8
<i>Sargılı Ortalama Dayanım</i>	<i>55,23</i>	<i>55,23</i>	<i>50,9</i>

Tablo 7'deki sonuçlar 120 °C sıcaklık uygulanan kiriş örneklerinin dayanımında normal ortam sıcaklığına (24 °C) göre herhangi bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Ancak kiriş numunesinin ısı 240 °C'ye çıkarıldığında güçlendirilmemiş numunelerin kırılma yükleri %6 - %8 arasında düşüş göstermiştir. Karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirilmiş numuneler de güçlendirilmemiş numunelere benzer şekilde 120 °C ısıya maruz kaldığında anlamlı bir dayanım kaybı gözlemlenmemiştir. Güçlendirilmiş numuneler 240 °C ısıda bekletildiğinde ise %8-10 arasında dayanım kaybına uğradığı görülmüştür.

Numunelerin ortalama dayanım farkları incelendiğinde; güçlendirilmemiş numunelerde eğilme dayanımları, 24 °C’de ortalama 47,98 MPa 2 saat süreyle 120 °C ısıya maruz kaldığında ortalama 47,93 MPa, 240 °C ısıya maruz kaldığında ortalama 44,58 MPa olduğu belirlenmiştir.

Güçlendirilmiş numunelerin ortalama eğilme dayanımları da güçlendirilmemiş numunelere benzer şekildedir. Güçlendirilmiş numuneler hem 24 °C’de hem de 120 °C ‘de ortalama 55,23 MPa eğilme dayanımına sahip olduğu elde edilmiştir.. Böylelikle, 120 °C’ye kadar uygulanan ısının numunelerde dayanım kaybına sebep olmadığı gözlenmiştir. Güçlendirilmiş numuneler 2 saat süreyle 240 °C ısı uygulandığında ise ortalama eğilme dayanımı 50,90 MPa olarak elde edilmiştir.

Kiriş eğilme deneyi sonrası numunelerin hasarlı halleri Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27’de görülmektedir.



Şekil 25. Güçlendirilmemiş 24 °C kiriş numunesinin yükleme sonrası hali



Şekil 26. Güçlendirilmiş 24 °C kiriş numunesinin yükleme sonrası hali



Şekil 27. Güçlendirilmiş 24 °C kiriş numunesinin yükleme sonrası hali

3.TARTIŞMA, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Tartışma ve Sonuçlar

Bu tez çalışmasında karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirilen kirişlerin eğilme dayanımları ile güçlendirilen bu kirişlerin sonra farklı sıcaklık etkilerine maruz kalması durumunda dayanımlarındaki değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirilen kirişlerin güçlendirilmemiş kirişlere göre daha fazla eğilme dayanımlarına sahip olup elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada irdelenen bir diğer parametre ise; güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş kirişlerin ısıya maruz kaldıktan sonraki dayanımlarındaki değişimin belirlenmesidir.. Bu kapsamda; 0,0067 donatı oranına sahip güçlendirilmemiş betonarme kirişin eğilme dayanımı ortalama 48 MPa olarak ölçülmüştür. Karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirilmiş kirişlerin ortalama dayanımı ise 55 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerler literatürdeki benzer araştırmaların sonuçlarını doğrular niteliktedir (Rousan, 2020). Betonarme kirişlere 1, 2, 3 ve 4 karbon lif takviyeli polimer şeritle güçlendirme uyguladığı çalışmasında güçlendirilmemiş kirişlerin kırılma yükünü 65 kN olarak hesaplamıştır. Kiriş numunelerini tek şerit karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirdiğinde kırılma yükü 74 kN'a yükselmiştir (Rousan, 2020).

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde kiriş yüzeyine yapıştırılarak yapılan güçlendirmelerin göçme mekanizması iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar; karbon lif takviyeli polimer tabakaların beton yüzeyinden sıyrılması ve karbon lif takviyeli polimerin kopması şeklindedir. Karbon lif takviyeli polimerin beton yüzeyden sıyrılması da iki şekilde olmaktadır (Niu ve Wu, 2005; Aram vd., 2008; Wang vd., 2013; Ha vd., 2015; Dalyan vd., 2017). Bunlar orta açıklıktaki sıyrılma ve tabaka sonundaki sıyrılmadır (Niu ve Wu, 2005; Aram vd., 2008; Wang vd., 2013; Ha vd., 2015; Dalyan vd., 2017). Bunun yanısıra kırılma mekanizmaları; eğilmeye bağlı çatlamlar ve göçme durumlarını da barındırmaktadır (Almusallam vd., 2001; Buyukozturk vd., 2004; Özcan, 2005). Bu tez çalışmasında kullanılan betonarme kiriş numunelerinin kırılma mekanizması incelendiğinde; kırılmanın karbon lif takviyeli polimer kumaşın betondan sıyrılması sonucunda oluştuğu gözlenmektedir. Hiçbir numunede güçlendirme malzemesi nihai dayanımına ulaşamamıştır. Bu durumun seçilen epoksinin özelliklerinden kaynaklandığı

düşünülmektedir. Güçlendirilmiş kirişlerin tümünde kırılma epoksida başlamıştır. Epoksinin yeterli süneklığe sahip olmaması nedeniyle erken kırılması sonucu karbon lif takviyeli polimer sargı ile betonarme elemanın bağlantısı kopmuş ve sıyrılma gerçekleşmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirme yöntemi betonarme kirişlerin eğilme dayanımını attırmaktadır.
- Düşük ısı etkilerine maruz kalması durumunda betonarme kirişlerin eğilme dayanımlarında çok fazla bir değişim gözlenmezken , yüksek ısı etkilerine (240 °C) maruz kalması durumunda eğilme dayanımlarında azalışlar gözlemlenmiştir.
- Karbon lif takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirilen kiriş numunelerinde ısı etkisi altında benzer oranlarda dayanım kaybı gözlemlenmiştir. Bu sonuç; karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirme uygulamasının en az 240 °C ısıya kadar güvenli olduğunu ve güçlendirme etkisini kaybetmediğini göstermektedir.

Karbon lif takviyeli polimer ile güçlendirmede en önemli parameterlerden birinin epoksi seçimi olduğu görülmüştür. Epoksinin kumaş ile yeterli uyumda olmaması güçlendirme performansını düşürmektedir.

3.2. Öneriler

Bu çalışmada numunelerin maruz bırakıldığı ısı değerleri 24 °C, 120 °C ve 240 °C ile sınırlıdır. Güçlendirilmiş numunelerin daha yüksek sıcaklıklardaki performansı da denenmelidir.

Bu çalışmada numunelerin kırılma türleri sıyrılma şeklinde olmuştur. Bunun en önemli sebebi ise kullanılan epoksinin yeterli süneklığe sahip olmaması olarak tahmin edilmektedir. Gelecek çalışmalarda; karbon lif takviyeli polimer sargı ve betonarme eleman sabit tutularak farklı tip epoksi türleriyle deneylerin tekrarlanması konuyla ilgili literatüre katkı sağlayacaktır.

Literatürde kiriş yüzeyinde oluk açılarak sargı donatısının oluk içine gömülmesine ilişkin uygulamaların güçlendirme performansını artırdığı gözlenmektedir. Bu tür uygulamaların ısıya maruz kaldıklarında nasıl sonuç vereceği araştırılması gereken konular arasındadır.

KAYNAKÇA

- Abdulrahman, A. S. ve Kadir, M. R. A., (2021). Behavior and flexural strength of fire-damaged high-strength reinforced rectangular concrete beams with tension or compression zones exposed to fire repaired with CFRP sheets. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00779.
- Ahmed, A. ve Kodur, V., (2011). The experimental behavior of FRP-strengthened RC beams subjected to design fire exposure. *Engineering Structures*, 33(7), 2201-2211.
- Akyürek, M., (2019). Yüksek sıcaklığa maruz FRP Donatılı betonlarda paspayı ve beton dayanımının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 100 s.
- Almusallam, T.H. ve Al-Salloum, Y.A., (2001). Ultimate strength prediction for RC beams externally strengthened by composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 32, pp. 609-619.
- Al-Rousan, R. Z., (2021). Integration of CFRP strips as an internal shear reinforcement in reinforced concrete beams exposed to elevated temperature. *Case Studies in Construction Materials*, Volume 14.
- Anania, L., Badalà, A. ve Failla, G., (2005). Increasing the flexural performance of RC beams strengthened with CFRP materials. *Construction and Building Materials*, 19(1), 55-61.
- Anonim, (2014). Kentsel Dönüşüm Türkiye, Cushman ve Wakefield, Türkiye, 14 s.
- Aram, M.R., Czaderski, C. ve Motavalli, M., (2008). Debonding failure modes of flexural FRP-strengthened RC beams. *Composites: Part B*, 826-841.
- Arya, C., Clarke, J.L., Kay, E.A. ve Oregan, P.D., (2002). TR 55: Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials: a review. *Engineering Structures*, 24, 889-900.
- Aytaç, E., (2011). *CFRP* güçlendirme malzemesi ve güçlendirme teknikleri. Doktora Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Azevedo, A. S., Firmo, J. P., Correia, J. R., Chastre, C., Biscaia, H. ve Franco, N., (2022). Fire behaviour of CFRP-strengthened RC slabs using different techniques—EBR, NSM and CREAtE. *Composites Part B: Engineering*, 230, 109471.
- Barnes, R. ve Fidell, J., (2006). Performance in fire of small-scale CFRP strengthened concrete beams. *Journal of composites for construction*, 10(6), 503-508.

- Bayülke, N. (1998). Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. III. Baskı, İMO. İzmir Şubesi.
- Bisby, L.A. ve Kodur, V.K.R., (2007) Evaluating the fire endurance of concrete slabs reinforced with FRP bars: Considerations for a holistic approach Composites Part B: Engineering, Volume 38, Issues 5–6, Pages 547-558.
- Buyukozturk, O., Gunes, O. ve Karaca, E., (2004). Progress on understanding debonding problems in reinforced concrete and steel members strengthened using FRP composites. Const. and Build. Materials, 18, pp.9-19.
- Çetinkaya, N., Kaplan, H. ve Şenel, M., (2004). Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10 (3), 291-298.
- Dai, J. G., Gao, W. Y. ve Teng, J. G., (2015). Finite element modeling of insulated FRP-strengthened RC beams exposed to fire. Journal of Composites for Construction, 19(2), 04014046.
- Dalyan, İ., Doran, B., Aktan, S. ve Köksal, H. O., (2017). Farklı Tekniklerle Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışı. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Ekim, 1-2.
- Dilmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H. ve Demir, F., (2018). An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(Ek (Suppl.) 1), 224-237.
- Dilmaç, H. (2020). Preliminary assessment approach to predict seismic vulnerability of existing low and mid-rise RC buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-33. Mechanics, 75(2), 211-227.
- Erkan, İ. H., Aksoylu, C., Alshlash, S. ve Arslan, M. H., (2019). Eğilmeye Çalışan Betonarme Kirişlerde CFRP ile Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Deneysel olarak İrdelenmesi. V. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi – Mühendislik, Kızılay, Ankara, Türkiye, 07-10 Kasım.
- Firmo, J. P., Correia, J. R. ve França, P., (2012). Fire behaviour of reinforced concrete beams strengthened with CFRP laminates: Protection systems with insulation of the anchorage zones. Composites Part B: Engineering, 43(3), 1545-1556.
- Gawil, B., Wu, H. C. ve Elarbi, A., (2020). Modeling the behavior of CFRP strengthened concrete beams and columns at different temperatures. Fibers, 8(2), 10.

- Gurbuz, A. ve Tekin, M., (2017). Developing Damage Estimation Methods for Different Types of Reinforced Concrete Buildings. *Teknik Dergi*, vol.28, pp.8051-8076.
- Guruprasad, Y.K., (2019). Ananth Ramaswamy Thermal insulation of concrete and the repair material CFRP exposed to high temperature and different time intervals *Construction and Building Materials*. Volume 205, Pages 549-565.
- Ha, S.K., Khalid, H.R., Park, S.M. ve Lee, H.K., (2015). Interfacial crack-induced debonding behavior of sprayed FRP laminate bonded to RC beams. *Composite Structures* 128, 176-187.
- Hamad, A. A. H., (2021). Kesme Açısından Yetersiz Olan Tablalı Betonarme Kirişlerin CFRP ile Güçlendirilmesi ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 99 s.
- Hawileh, R. A., Naser, M., Zaidan, W. ve Rasheed, H. A., (2009). Modeling of insulated CFRP-strengthened reinforced concrete T-beam exposed to fire. *Engineering Structures*, 31(12), 3072-3079.
- Imran, M. ve Mahendran, M., (2020). Fire behaviour of CFRP strengthened short SHS steel columns with and without insulation. *Composites Part B: Engineering*, 193, 108016.
- Jafarzadeh, H. ve Nematzadeh, M., (2022). Flexural strengthening of fire-damaged GFRP-reinforced concrete beams using CFRP sheet: Experimental and analytical study. *Composite Structures*, 288, 115378.
- Jia, Z., Li, T., Chiang, F. P. ve Wang, L., (2018). An experimental investigation of the temperature effect on the mechanics of carbon fiber reinforced polymer composites. *Composites Science and Technology*, 154, 53-63.
- Jiangtao, Y., Yichao, W., Kexu, H., Kequan, Y. ve Jianzhuang, X., (2017). The performance of near-surface mounted CFRP strengthened RC beam in fire. *Fire Safety Journal*, 90, 86-94.
- Karakoç, C., Aktan, S., Doran, B. ve Köksal, H.O., (2013). Nonlinear Behaviour of RC Beams Wrapped with FRP Composites. *Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Austria.
- Kaya, A., Aras, M. ve Çalışkan, Ö., (2017). Beton Basınç ve Eğilme Dayanımlarına CFRP'nin Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 1-9.
- Khalifa, A. ve Nanni, A., (2000). Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites. *Cement And Concrete Composites* 22, 165-174.

- Kim, N., Shin, Y.S., Choi, E. ve Kim, H.S., (2015). Relationships between interfacial shear stresses and moment capacities of RC beams strengthened with various types of FRP sheets. *Construction and Building Materials* 93, 1170-1179.
- Kurt, Z. ve Ateş, Ş., (2019). Sismik İzolasyonlu Betonarme Bir Köprünün Dinamik Analiz Yöntemlerinin Kesit Tesirlerine Etkisi. 4. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu.
- Lee, D.H., Han, S.J., Kim, K.S. ve LaFave, J.M., (2017). Shear strength of reinforced concrete beams strengthened in shear using externally-bonded FRP composites. *Composite Structures* 173, 177–187.
- Mahmood, H., Gao, W. Y. ve Hu, K. X., (2021). Fire Performance of Insulated RC Beams Shear-Strengthened with CFRP Sheets. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 719 (2), p. 022044.
- Maluk, C., Terrasi, G. P., Bisby, L., Stutz, A. ve Hugi, E., (2015). Fire resistance tests on thin CFRP prestressed concrete slabs. *Construction and Building Materials*, 101, 558-571.
- Mert, N., (2007). Karbon fiber takviyeli polimer plakalarla güçlendirilmiş betonarme kirişlerin doğrusal olmayan analizi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 186 s.
- Mostofinejad D. ve Khozaei K., (2015). Effect of GM patterns on ductility and debonding control of FRP sheets in RC strengthened beams. *Construction and Building Materials* 93, 110-120.
- Nguyen, P.L., Vu, X.H. ve Ferrier, E., (2019). Thermo-mechanical performance of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), with and without fire protection material, under combined elevated temperature and mechanical loading conditions. *Composites Part B: Engineering*, In press, accepted manuscript, Available online.
- Niu, H. ve Wu, Z., (2005). Numerical Analysis of Debonding Mechanisms in FRP-Strengthened RC Beams. *Computer –Aided Civil and Infrastructure Engineering* 20, 354-368.
- Norris, T., Saadatmanesh, H. ve Ehsani, M.R., (1997). Shear and flexural strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets. *Journal of Structural Engineering*, 123, 903-911.
- Ozbakkaloglu, T. ve Lim, J. C., (2013). Axial compressive behavior of FRP-confined concrete: Experimental test database and a new design-oriented model,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 55, 607–634.
- Ozcan, Z. ve Yöntem, K., (2005). Betonarme kirişlerin kompozit malzemeler ile güçlendirilmesi. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.

- Sayed, A.M., Wang, X. ve Wu, Z., (2014). Finite element modeling of the shear capacity of FC beams strengthened with FRP sheets by considering different failure modes. *Construction and Building Materials* 59, 169-179.
- Seffo, M. ve Hamcho, M., (2012). Strength of concrete cylinder confined by composite materials (CFRP),” in *Energy Procedia*. vol. 19, pp. 276–285.
- Sungur, R. A., (2020). FRP kompozitlerin sıcaklığa karşı farklı yangınyalıtım malzemeleri ile korunmasını araştırılması. Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.
- Tanarşlan, H.M., (2007). CFRP Şeritlerle Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Tersinir-Tekrarlı Yükler Altında Davranışı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tekeli, H., Dilmaç, H., Demir, F. ve Güler, K., (2020). Prediction of Seismic Performance of Existing Framed Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(3), 04020030.
- Turgay, T., Polat, Z., Koksall, H. O., Doran, B. ve Karakoç, C., (2010). Compressive behavior of large-scale square reinforced concrete columns confined with carbon fiber reinforced polymer jackets. *Mater. Des.*, vol. 31, no. 1, pp. 357–364.
- Turkowski, P., Łukomski, M., Sulik, P. ve Roszkowski, P., (2017). Fire resistance of CFRP-strengthened reinforced concrete beams under various load levels. *Procedia Engineering*, 172, 1176-1183.
- URL-1, (2022). <https://www.frpguclendirme.co/karbon-guclendirme> (15 Mart 2022).
- URL-2, (2022). <https://afzir.com/tr/glass-fiber/> (15 Mart 2022).
- URL-3, (2022). <https://www.frpguclendirme.co/celik-guclendirme> (15 Mart 2022).
- URL-4, (2022). <https://www.frpguclendirme.co/betonarme-guclendirme> (15 Mart 2022).
- URL-5, (2022). <https://www.frpguclendirme.co/epoksi-enjeksiyon> (15 Mart 2022).
- URL-6, (2022). <https://www.frpguclendirme.co/blank-1> (15 Mart 2022).
- URL-7, (2022). <https://www.frpguclendirme.co/epoksi-zemin-kaplama> (15 Mart 2022).
- URL-8, (2022). <http://www.time.com/time/time100/scientist/profile/baekeland02> (23 Temmuz 2022).
- URL-9, (2022). <https://timesmachine.nytimes.com/timesmachine/1909/02/06/101025892.pdf> (23 Temmuz 2022).

- URL-10, (2022). https://stringfixer.com/tr/Fibre-reinforced_polymer (23 Temmuz 2022)
- URL-11, (2022). https://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon_elyaf_takviyeli_plastik (20 Mart 2022).
- URL-12, (2022). <https://lafayettefirefighters.com/tr/difference-between-cfrp-and-gfrp> (24 Şubat 2022).
- Ustabas, I., (2012). The effect of capillarity on chloride transport and the prediction of the accumulation region of chloride in concretes with reinforcement corrosion. *Construction and Building Materials* 28 (1), 640-647.
- Ustabas, İ., Gürbüz, A., Kurt, Z. ve Deşik, F., (2020). Betonda CFRP Sargı Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (3), 921-930.
- Wang, W., Dai, J. ve Harries K.A., (2013). Intermediate crack-induced debonding in RC beams externally strengthened with prestressed FRP laminates. *Journal of Reinforced Plastics&Composites* 32(23) 1842–185.
- Wang, Q., Zhu, H., Su, W., Du, H. ve Chen, D., (2022). Fatigue performance of CFRP reinforced pretensioned prestressed beams. *Construction and Building Materials*, Volume 324.
- Wanyang, G., Kexu, H. Ve Zhoudao, L., (2008). Ateş altındaki karbon fiber takviyeli beton kirişlerin sıcaklık alan analizi. Doktora tezi.
- Williams, B., Bisby, L., Kodur, V., Green, M. ve Chowdhury, E. (2006). Fire insulation schemes for FRP-strengthened concrete slabs. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(8), 1151-1160.
- Xiao, Y. ve Wu, H., (2003). Compressive behavior of concrete confined by various types of FRP composite jackets.” *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 22, no. 13, pp. 1187–1201.
- Yin, P., Huang, L., Yan, L. ve Zhu, D., (2016). Compressive behavior of concrete confined by CFRP and transverse spiral reinforcement. Part A: experimental study, *Mater. Struct.*, vol. 49, no. 3, pp. 1001– 1011.
- Yu, B. ve Kodur, V. K. R. (2014). Effect of high temperature on bond strength of near-surface mounted FRP reinforcement. *Composite Structures*, 110, 88-97.
- Zhang, H.Y., Lv, H.R., Kodur, V. ve Qi, S.L., (2018). Comparative fire behavior of geopolymer and epoxy resin bonded fiber sheet strengthened RC beams. *Engineering Structures*, 155, 222-234.