

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON LİFLİ IZGARA KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KİRİŞLERDE DAYANIMDAKİ DEĞİŞİMİN İRDELENMESİ**

ERSİN GÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. GÜRAY ARSLAN**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON LİFLİ IZGARA KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KİRİŞLERDE DAYANIMDAKİ DEĞİŞİMİN İRDELENMESİ**

Ersin GÜN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Rıza Secer Orkun KESKİN
TED Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar bana her türlü yardım ve desteği sağlayan, tecrübe ve birikimleriyle samimiyetle bana yol gösteren çok saygı değer hocam Prof. Dr. Güray ARSLAN'a, kıymetli zamanını ayırıp bu tez çalışmasında görüş ve önerilerini esirgemeyen Doç. Dr. Rıza Secer Orkun KESKİN'e, hayatım boyunca beni hiç yalnız bırakmayarak bugünlere gelmemde sonsuz emeği olan aileme ve bu tezin sonuçlanmasında beni motive eden hayat arkadaşım Ezgi GÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım, 2018

Ersin GÜN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
BÖLÜM 2	
BETONARME KİRİŞ DENEYLERİ.....	8
2.1 Betonarme Kirişlerin Malzeme ve Geometrik Özellikleri	8
2.2 Betonarme Kirişlerin Üretimi ve Deneysel Çalışmalar	10
BÖLÜM 3	
DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN ETKİSİ	13
3.1 Kiriş Deney Sonuçları	13
3.1.1 Güçlendirilmemiş (Referans) Kirişler	13
3.1.2 Güçlendirilmiş Kirişler	13
3.1.2.1 C2.5RCU1 Kirişi	14
3.1.2.2 C3.5RCU1 Kirişi	15
3.1.2.3 C4.5RCU1 Kirişi	15
3.1.2.4 C6.0RCU1 Kirişi	16

3.2	Yük- Yerdeğiştirme Eğrileri.....	17
3.3	a/d Etkisi	19

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER	21
KAYNAKLAR.....	23
ÖZGEÇMİŞ.....	26



SİMGE LİSTESİ

a	Kiriş kesme açıklığı
A_s	Donatı alanı
b_w	Kiriş kesit genişliği
d	Kiriş etkili yüksekliği
ε	Birim şekildeğiştirme
f_c	Beton basınç dayanımı
f_{ct}	Beton çekme dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
h	Kiriş yüksekliği
L	Kiriş boyu
δ_u	En büyük yükün %20 azaldığı andaki yerdeğiştirme
δ_y	Donatı akma anındaki yerdeğiştirme
$\emptyset$	Donatı çeliği çapı
ρ	Donatı oranı
P_u	Maksimum yük

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
CFRC	Carbon Fibre Reinforced Cement Composite
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Polimer (Carbon Fiber Reinforced Polymers)
FRCM	Fabric Reinforced Cementitious Matrix
FRP	Fiber Reinforced Polymers,
GFRP	Cam Fiber Takviyeli Polimer (Glass Fiber Reinforced Polymers)
PDT	Potentiometric Displacement Transducer
TRM	Textile Reinforced Mortar
TS	Türk Standardı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Deney numunelerinin geometrik özellikleri ve donatı düzenleri	9
Şekil 2.2 Tamir harcı	10
Şekil 2.3 Karbon lifli ızgara kumaş	11
Şekil 2.4 Karbon lifli ızgara kumaşın çimentolu harç yardımıyla betonarme kiriş yüzeyine uygulanması ve sonrasında harcın priz alması için beklenmesi	11
Şekil 2.5 Deney düzeneği.....	12
Şekil 3.1 Deney öncesi ve sonrası C2.5RCU1 kirişi görüntümleri	14
Şekil 3.2 Deney öncesi ve sonrası C3.5RCU1 kirişi görüntümleri	15
Şekil 3.3 Deney öncesi ve sonrası C4.5RCU1 kirişi görüntümleri	16
Şekil 3.4 Deney öncesi ve sonrası C6.0RCU1 kirişi görüntümleri	16
Şekil 3.5 Kirişlerin yük- yerdeğiştirme eğrileri.....	17
Şekil 3.6 Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş kirişlerinin yük- yerdeğiştirme eğrisi ...	18
Şekil 3.7 Güçlendirmede a/d etkisi.....	20

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Beton malzeme karışım oranları	8
Çizelge 2.2 Betonarme kirişlerin özellikleri	10
Çizelge 2.3 Karbon lifli ızgara kumaşın teknik özellikleri.....	11
Çizelge 3.1 Betonarme kirişlerde yük, yerdeğiştirme ve enerji yutma kapasiteleri ...	18

**KARBON LİFLİ IZGARA KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KİRİŞLERDE DAYANIMDAKİ DEĞİŞİMİN İRDELENMESİ**

Ersin GÜN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güray ARSLAN

Bu tez çalışmasında, karbon lifli ızgara kumaşın çimentolu harç kullanılarak betonarme kiriş üzerine sarılmasıyla güçlendirilen betonarme kirişlerin dayanımındaki değişim incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) 2.5, 3.5, 4.5 ve 6.0 olan 4 tip güçlendirilmiş kirişe açıklık ortasından tekil yük uygulanmış ve her bir kiriş için yük-yerdeğiştirme eğrileri bulunarak aynı tip güçlendirilmemiş kirişler ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilmiş kirişlerin süneklikleri ve yük taşıma kapasitelerinde güçlendirilmemiş kirişlere oranla ciddi ölçüde artış sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, a/d oranı arttıkça güçlendirilmiş kirişlerdeki maksimum yük taşıma kapasitelerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Kiriş, Karbon Lifli Izgara Kumaş, Güçlendirme.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE CHANGE IN THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHED WITH CARBON FIBER MESH FABRIC

Ersin GÜN

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Güray ARSLAN

In this thesis, the change in the strength of reinforced concrete beams strengthened by wrapping the beams with carbon fiber mesh fabric using cement mortar was investigated. In the experimental study, four types of strengthened reinforced concrete beams with shear span-to-effective depth ratios (a/d) of 2.5, 3.5, 4.5 and 6.0 were subjected to concentrated loads at their mid-spans and the load-displacement curve obtained for each beam was compared with the corresponding reinforced concrete beam without any strengthening. It was observed that the ductility and load-bearing capacities of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber mesh fabric were significantly increased compared to the reinforced concrete beams without any strengthening. It was also observed that the maximum load-bearing capacities of both the strengthened reinforced concrete beams were reduced as the a/d increased.

Keywords: Reinforced Concrete Beam, Carbon Fiber Mesh Fabric, Strengthening.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

GİRİŞ

Günümüzde yapıların kullanım amacının değişmesi, taşıyıcı sistem malzemelerinin dayanımını kaybetmesi veya yapılan bilimsel çalışmaların sonucuna göre yenilenen yönetmelik koşullarının sağlanamaması gibi durumlarda taşıyıcı sistem elemanlarında güçlendirilme gereği ortaya çıkabilmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarında yapılan güçlendirmeler ile yapıların öngörülen performans seviyesine çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, betonarme kirişlerin karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilerek kesme dayanımının ve sünekliliğin artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, a/d değeri oranına bağlı kırılma biçimindeki değişim gözlenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Ökten [1] yaptığı çalışmada, betonarme çerçeve sistem içerisinde yer alan bölme duvarların, deprem esnasında taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısını ifade etmiş, söz konusu bölme duvarların güçlendirilmesi ile yapı performansında daha iyi sonuçlar alınabileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda, İTÜ’de daha önce deneysel çalışması yapılan karbon lifli polimerler (Carbon Fiber Reinforced Polymers, CFRP) ile güçlendirilen bölme duvarların, yapı taşıyıcı sisteminde düşük yatay yüklerde yük taşıma kapasitesini artırdığı gözlenmiştir. Ancak, yüksek yatay yük düzeylerinde CFRP’nin yapıştırıldığı yüzeyden koparak ayrılabilirdiği, dolayısıyla CFRP’nin yapıştırıldığı yüzeyden ayrılmaması durumunda sistemin taşıma kapasitesine olumlu katkısının olduğu ve bu güçlendirmenin yangın esnasında yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmadığı da belirtilmiştir. Aynı çalışmada [1], literatürdeki deneysel çalışmalardan bölme duvarların güçlendirilmesinde CFRP ve karbon lifli çimento esaslı kompozit

(Carbon Fibre Reinforced Cement Composite, CFRC) kullanılmasının dayanıma katkısının yaklaşık aynı düzeylerde olduğu ifade edilmiş, özellikle yangın etkisine daha dayanıklı oluşu nedeniyle CFRC ile güçlendirilen bölme duvarların yatay yük altındaki davranışları incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, 7 adet dolgu duvarlı tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve ankrajlı ve 1 adet dolgu duvarsız hazırlanan betonarme çerçeve sistemde yüklemeler yapılmıştır. Karşılaştırılan parametreler: CFRC olmayan dolgu duvarsız çerçeve sistem, CFRC'nin duvarların tek yüzüne, iki yüzüne, tek katlı, çift katlı, ankrajlı ve ankrajsız olmasıdır.

Escrig vd. [2] tarafından yapılan çalışmada, bazalt, karbon, cam, PBO (Poliparafenilen Benzobis Oxazole) ve çelik ızgara kumaş olmak üzere 5 tip kumaş takviyeli çimento esaslı malzeme (Fabric-reinforced Cementitious Matrix, FRCM) ile güçlendirilen betonarme kirişlerin eğilme kapasiteleri, süneklilikleri ve çatlak oluşumları incelenmiştir. Deneyler sonucunda, söz konusu güçlendirme malzemeleri ile kirişlerde oluşan çatlak biçimleri arasında bir bağlantı önerilmiş, ayrıca, FRCM ile güçlendirilen kirişlerde eğilme kapasitelerinin arttığı fakat kiriş sünekliliklerinin azaldığı görülmüştür.

Faella vd. [3] tarafından yapılan çalışmada, yığma duvarlı taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesini artırmak için FRCM ile güçlendirme uygulanmış ve daha sonra bu duvarda kayma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş duvarların dayanım ve süneklilikleri karşılaştırılmıştır.

Anandamurthy vd. [4] tarafından yapılan çalışmada, doğada bulunan lifli yapıdaki malzemeler (özellikle tarımsal kaynaklı olanlar) tanıtarak, bunların beton içerisinde kullanım durumlarında dayanıma olan etkileri açıklanmıştır. Yine güçlendirme malzemesi olarak günümüzde sıklıkla kullanılan karbon, cam ve çelik gibi lifli yapıdaki malzemeler yerine, yenilenebilir ve sürdürülebilir tarımsal kaynaklı liflerin kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Raoof ve Bournas [5] yapmış oldukları çalışmada, güçlendirilen elemana epoksi reçinesi ile yapıştırılan fiber takviyeli polimerlerin (Fiber Reinforced Polymers, FRP) ve çimento esaslı harç ile yapıştırılan tekstil takviyeli harç (textile-reinforced mortar, TRM) adı verilen kompozit malzemenin yüksek sıcaklıklardaki davranışları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu, TRM ile güçlendirilen kirişlerin yüksek sıcaklıklara çok daha

dayanıklı olduğu, TRM'nin bağlanma kuvvetinin %85'ni 400°C'ye kadar koruyabildiği, ancak FRP'nin bağlanma kuvvetinin sadece %17'sini 150°C'ye kadar koruyabildiği sonucuna varılmıştır. Donnini vd. [6] tarafından yapılan deneysel çalışmada, epoksi reçine kullanılarak FRP ile güçlendirmenin yüksek sıcaklıklarda dayanıma katkısının olmaması nedeniyle, günümüzde bu malzeme yerine TRM ile güçlendirilen kirişlerin yüksek sıcaklıklardaki dayanım değişimi incelenmiştir. TRM kullanılarak güçlendirilen sistemler 20°C ile 120°C arasında değişen sıcaklıklarda tek eksenli gerilme ve çift kesme testlerine maruz bırakılmış ve yüksek sıcaklıklardaki mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. TRM ve FRP'nin yüksek sıcaklıklarda betonarme kirişin kesme dayanımına katkısının araştırıldığı Tetta vd. [7] yaptıkları bir başka çalışmada, TRM'nin FRP'ye göre yüksek sıcaklıklarda daha iyi bir performans sergilediği ifade edilmiştir.

Awani vd. [8] yaptıkları çalışmada, FRCM ile beton arasındaki bağ özellikleri araştırılmıştır. Bunun için farklı boyutlarda ve farklı harç malzemesi kullanılarak iki tip çimento esaslı FRCM örneği ve bir tip epoksi esaslı CFRP örneği olmak üzere toplam 27 adet beton numunesi üzerinde çift kesitte kesme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu; FRCM örneklerinin beton yüzeyden ayrılmadan kumaş kopmaları yaşandığı ve FRCM örneklerinde kumaş kopmaları yaşanmadan çatlamaların oluştuğu, CFRP örneklerinde ise henüz çatlaklar oluşmadan kumaş kopmalarının yaşandığı tespit edilmiştir. Öte yandan kopma anında, FRCM örneklerindeki bağlanma kuvvetinin, CFRP örneklerine göre %28 daha az olduğu görülmüştür.

Papakonstantinou vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, cam ve karbon lifli polimerler (GFRP ve CFRP) için geliştirilen tasarım kodlarının, son yıllarda geliştirilen çelik ve bazalt lifli malzemelerin kumaş takviyeli harçlar (TRM) için de kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Yapılan inceleme sonucu; birkaç durum hariç çoğu yönetmelik tasarım tahminlerinin iyi performans sergilediği görülmüştür.

Betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde FRCM kullanımının sağlanmış olduğu katkıya ilişkin deneysel çalışmalar Adel Younis vd. [10] tarafından yapılmıştır. Karbon, cam ve PBO'dan oluşan FRCM sistemlerinin betonarme kiriş üzerindeki 15 farklı durumu için gerilme değişimleri üç noktalı yükleme deneyleri ile test edilmiştir. Deneyler sonucu, FRCM ile güçlendirilen kirişlerin referans numuneye göre yük taşıma kapasitesinin

yaklaşık %51 arttığı ve FRM'nin kiriş boyunca sürekli uygulanmasının aralıklı uygulanmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, FRM katkısının kullanılan kumaş türü ile doğrudan ilgili olduğu tespit edilmiştir. FRM uygulamasında kullanılan ankrajın ise kirişlerin yük taşıma kapasitesine önemli etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Shah vd. [11] tarafından yapılan çalışmada, betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde çimento esaslı harç (TRM) ile yapıştırılan cam lifli kumaşın kiriş eğilme ve kesme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Güçlendirme elemanında yapıştırma malzemesi olarak yangın güvenliği ve daha düşük maliyetlerden dolayı epoksi reçine yerine çimentolu harç kullanıldığı ifade edilmiştir. Betonarme kirişlerin cam tekstil takviyeli harç ile güçlendirilmesinde temel değişken katman sayısı olarak belirlenmiş, kirişler üç noktalı yükleme deneyi altında test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bazalt, karbon, cam ve PBO olmak üzere 4 tip TRM ile güçlendirilen betonarme kirişlerin mekanik davranışları Escrig vd. [12] tarafından yapılan çalışmada karşılaştırılmıştır. Deneylerde, TRM'nin bağlanma davranışı ve kirişlerin eğilme dayanımına TRM'nin katkısı incelenmiştir. Ayrıca deney sonuçlarına dayanarak TRM kullanılan kirişlerin kesme dayanımı tahmini için bağıntılar önerilmiştir.

Al-Salloum vd. [13] tarafından yapılan çalışmada, betonarme kirişlerin kesme dayanımına güçlendirme malzemesi olarak kullanılan tekstil takviyeli harçların (TRM) katkısı araştırılmıştır. Araştırma sonucu, TRM ile güçlendirmenin betonarme kirişlerin kesme dayanımına önemli katkısı olduğu ve TRM katman sayısının artışı ile dayanımda artış gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Jie Sheng vd. [14] tarafından yapılan çalışmada, takviyeli harç ile güçlendirilen betonarme kirişlerin performansı 4 noktalı eğilme deneyleri ile belirlenmiştir. Dönüştürülmüş kesit yöntemi ve etkin eylemsizlik momenti yaklaşımı ile kirişlerde oluşan ortalama çatlak aralığı ve güçlendirilmiş betonarme kirişin rijitliği belirlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde kiriş alt yüzüne veya "U" şeklide güçlendirme formu kullanıldığında betonarme kirişlerin eğilme kapasitelerinin ve çatlak oluşumlarının arttığı ve söz konusu çatlakların kiriş alt bölgelerinde üst bölgelere göre daha fazla ve yoğun olduğu görülmüştür. Dönüştürülmüş kesit yöntemi ile hesaplanan ortalama

çatlak aralığı sonuçlarının deney sonuçları ile uyumlu olduğu, etkin eylemsizlik momenti ile hesaplanan güçlendirilmiş kiriş rijitliğinin ise deney sonuçlarından fazla hesaplandığı görülmüştür.

Jie Sheng vd. [15] tarafından yapılan çalışmada; TRM ile güçlendirilen betonarme kirişlerin sürekli yük altındaki ve korozyon etkisindeki davranışları incelenmiştir. TRM ile güçlendirilen ve güçlendirilmeyen kirişlerin bazıları sürekli yük altında korozyona maruz bırakılmıştır. 6 ay sonunda tüm kirişlerin davranışları ve dayanım değişimleri incelendiğinde, güçlendirilmiş kirişin yorulma çatlaklarının dağılımı ve yorulma ömrünün korozyondan bağımsız olarak güçlendirilmemiş kirişe göre daha iyi olduğu, ancak korozyonun güçlendirilmiş kirişte TRM ile beton arasındaki bağı zayıflattığı görülmüştür. Ayrıca kirişlerin yorulma ömrünün, sürekli yük ve korozyonun birlikte uygulanmasıyla en az bulunduğu tespit edilmiştir.

Tuğla veya taş bloklardan oluşan yığma duvarların güçlendirilmesi üzerine Papanicolaou vd. [16] tarafından yapılan bir çalışmada, güçlendirme malzemesi olarak karbon, bazalt ve cam lif gibi ızgara kumaşların uygulanmasının deneysel sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada temel alınan değişkenler: katman sayısı, yapıştırma malzemesi olarak çimento esaslı harç veya epoksi reçinesi kullanımıdır.

Awani vd. [17] tarafından yapılan çalışmada, betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan FRP sistemlerin yerine tercih edilmeye başlayan TRM kullanılarak güçlendirilen betonarme kirişlerin performanslarını etkileyen temel parametreler çıkarılarak açıklanmıştır.

Donnini vd. [18] tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, karbon, bazalt ve PBO gibi kumaş türleri ile farklı dayanım sınıfına sahip harçlar ve yüksek performanslı çimentolu harçlar kullanılarak güçlendirilen TRM sistemlerin mekanik davranışları ve performanları incelenmiştir.

Tetta vd. [19] tarafından yapılan çalışmada, TRM ile güçlendirmede farklı tekstil ürünleri (karbon, cam, bazalt) ve farklı katman sayıları uygulanarak 22 adet deney gerçekleştirilmiş ve sonuçlar birçok parametreye bağlı olarak karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tetta vd. [20] tarafından yapılan kesme dayanımı değişiminin araştırıldığı bir başka deneysel çalışmada ise, TRM ve FRP kullanılarak güçlendirilmiş

kirişlerde uygulanan katman sayısı değişken alınarak 14 adet kirişte üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Kirişlerden bir tanesi referans kirişi olmak üzere 8 adedi TRM, 5 adedi ise FRP ile güçlendirilmiş kirişlerdir. Deney sonuçlarından, TRM'nin kesme dayanımına katkısının FRP'den daha az olduğu, ancak bu değerlendirmedeki dayanım farkının sarım tekniği ve katman sayısına bağlı olarak değişiklik gösterdiği ifade edilmiştir.

Gonzalez-Libreros vd. [21] tarafından yapılan çalışmada, TRM ile güçlendirilen kiriş deneyleri mevcut çalışmalardan bulunarak kesme dayanımını etkileyen parametreler belirlenmiştir. Tekstil kumaş liflerinin kopması ya da TRM'nin uygulanan yüzeyden ayrılması ile güç tükenmesi durumlarında güçlendirme yönteminin istenen performansı sergileyemediği ifade edilmiştir. Ayrıca, kesme dayanımına TRM ile güçlendirilmenin katkısını tahmin etmek için önerilen dört tasarım modeli, oluşturulan bu veri tabanına göre test edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Raoof vd. [22] tarafından yapılan çalışmada, TRM ve FRP ile güçlendirilen betonarme kirişlerin eğilme performansı karşılaştırılmıştır. Tekstil malzemesi olarak karbon, bazalt ve cam kullanılarak yapılan bu çalışmada; bir tanesi kontrol kirişi olmak üzere 7 tanesi TRM, 5 tanesi ise FRP ile güçlendirilmiş olmak üzere toplam 13 adet betonarme kiriş test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Svetlana Verbruggen vd. [23] tarafından yapılan çalışmada, CFRP ve TRM ile güçlendirilen 17 adet betonarme kiriş test edilmiş ve Dijital Görüntü Korelasyonu (Digital Image Correlation, DIC) kullanılarak çatlama durumları detaylı bir şekilde incelenmiştir. CFRP ve TRC ile güçlendirilen kirişlerde çatlama davranışının benzerlik sergilediği görülmüştür.

Literatürde, yaygın olarak araştırılan güçlendirmenin epoksi esaslı karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirme olduğu görülmektedir. Ancak, yine yapılan çalışmalarda yüksek yatay yük düzeylerinde CFRP'nin yapıştırıldığı yüzeyden koparak ayrılabilirdiği ve yangın etkisine karşı dayanımının sınırlı olduğu ifade edilmektedir. Günümüzde, CFRP kullanımının dezavantajlarından kaçınmak için, çimento esaslı karbon lifli ızgara kumaş kullanımının yapısal eleman davranışına etkisinin araştırıldığı çalışmalar artmıştır. Bu çalışmada, yangın etkisine de daha dayanıklı olduğu bilinen çimento esaslı karbon lifli

ızgara kumaş ile kirişlerin güçlendirilmesinin dayanıma ve sünekliliğe etkisi araştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, karbon lifli ızgara kumaş ile “U” şeklinde sarılarak güçlendirilen ve kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) 2.5, 3.5, 4.5 ve 6.0 olan betonarme kirişlerin aynı tip güçlendirilmeyen kirişlere göre dayanım ve sünekliliğindeki değişim incelenerek karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Günümüzde alternatif güçlendirme malzemesi olarak kullanılmaya başlanan karbon lifli ızgara kumaşın betonarme kirişlerin dayanımını artırması beklenmektedir. Açıklık ortasından tekil yüklü güçlendirilmemiş kirişlerde Mazhari [24], Özgen [25] kesme kırılması oluşumu gözlenmiş olup aynı özellikli kirişlere, çimento esaslı harç ile “U” şeklinde karbon lifli ızgara kumaşın yapıştırılmasının dayanıma olan katkısı belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

BETONARME KİRİŞ DENEYLERİ

2.1 Betonarme Kirişlerin Malzeme ve Geometrik Özellikleri

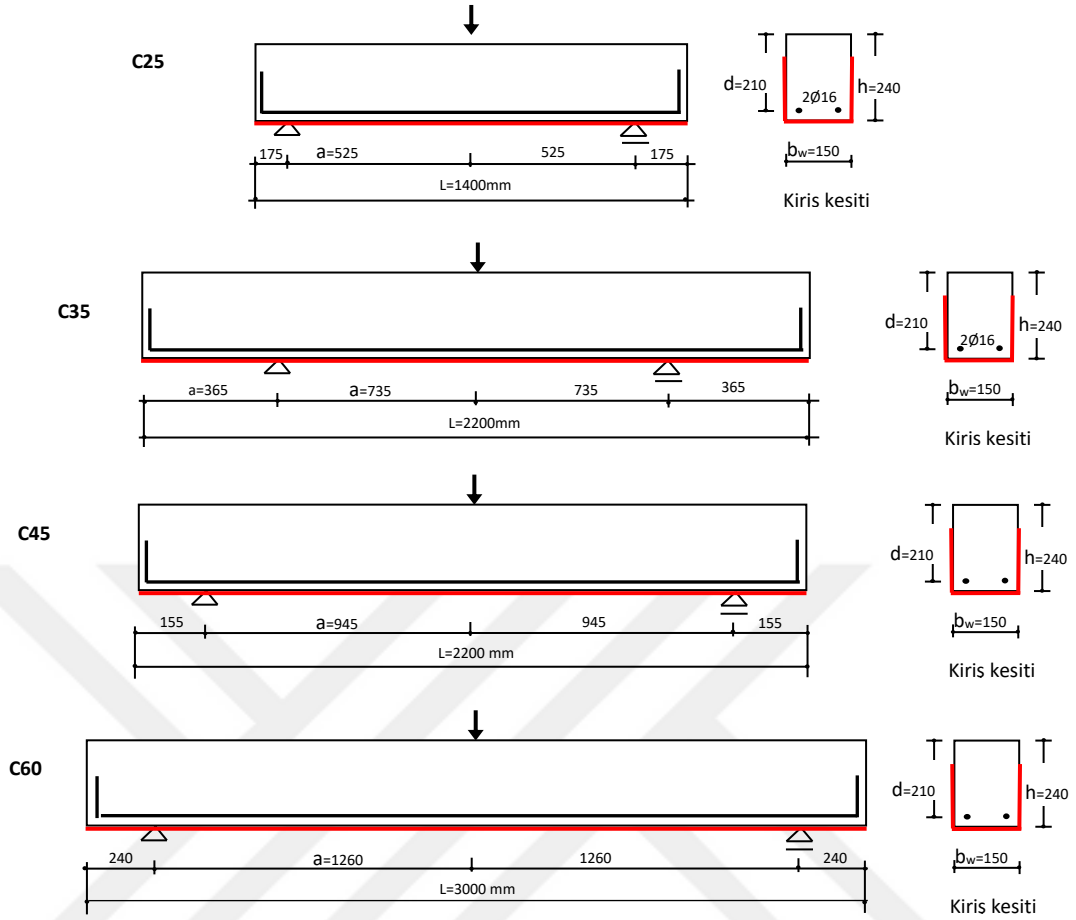
Yapılan çalışmada güçlendirme yapmak amacıyla dört adet betonarme kiriş üretilmiştir. Kirişlerde, karbon lifli ızgara kumaşın çimento esaslı yapısal tamir harcı ile “U” şeklinde yapıştırılması ile güçlendirme uygulanmıştır. Tüm kirişlerde kullanılan beton malzeme karışım oranları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Beton malzeme karışım oranları

Malzeme	Karışım oranları (kg/m ³)
0–1 mm doğal kum	350
1–3 mm kırma kum	550
5–12 mm kırma taş	1000
Su /Çimento	165/300
Akışkanlaştırıcı	3

Betonarme kirişlerde beton dökümü esnasında 15cm x 15cm küp numuneler alınarak, kiriş deneyinin yapıldığı gün içinde küplerin kırılmaları yapılarak beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Tespit edilen küp numune ortalama dayanımı 0.85 katsayısı ile çarpılarak silindir basınç dayanımı 24.85MPa bulunmuştur.

Üretilen kirişlerin genişliği (b_w) 150mm, yüksekliği (h) 240mm ve etkili yüksekliği (d) 210 mm’dir. Tüm kirişlerde çekme donatısı olarak 2Ø16 kullanılmıştır. Betonarme kirişlerin kesiti, boyutu ve donatı düzeni Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Deney numunelerinin geometrik özellikleri ve donatı düzenleri

Betonarme kirişlerin isimleri ve özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. a/d kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranını, L kiriş uzunluğunu, A_s çekme donatısı alanını ve ρ çekme donatısı oranını göstermektedir. a/d değeri 2.5, 3.5, 4.5 ve 6.0 olan karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen ve güçlendirilmeyen kirişler aynı yükleme ve mesnet koşulları altında test edilmiştir.

Kirişlerin isimlendirilmesinde; “C” harfinden sonra gelen sayı (a/d) oranını, “R” harfi referans kirişlerini, R’nin yanındaki “C” harfi karbon lifli ızgara ile güçlendirmenin yapıldığını, “U1” ise U şeklinde ve tek kat güçlendirme yapıldığını göstermektedir.

Çizelge 2.2 Betonarme kirişlerin özellikleri

Kirişler	Yapılan Uygulama	Sarılma Biçimi	a/d	L (mm)	As	ρ (%)
C2.5R*	Referans	---	2.5	1400	2Ø16	1.28
C3.5R#	Referans	---	3.5	2200	2Ø16	1.28
C4.5R#	Referans	---	4.5	2200	2Ø16	1.28
C6.0R#	Referans	---	6.0	3000	2Ø16	1.28
C2.5RCU1	Güçlendirme	U şeklinde	2.5	1400	2Ø16	1.28
C3.5RCU1	Güçlendirme	U şeklinde	3.5	2200	2Ø16	1.28
C4.5RCU1	Güçlendirme	U şeklinde	4.5	2200	2Ø16	1.28
C6.0RCU1	Güçlendirme	U şeklinde	6.0	3000	2Ø16	1.28
* Mazhari 2018[24]; # Özgen 2018[25]						

2.2 Betonarme Kirişlerin Üretimi ve Deneysel Çalışmalar

Çizelge 2.1’de verilen malzeme ve karışım oranlarına göre hazırlanan beton, gerekli ölçüde hazırlanan kalıplara yerleştirildi ve kirişlerin üst yüzeyleri mala yardımıyla düzleştirildi. Kalıplara dökülen betonun priz alması için 48 saat beklendikten sonra kalıplar söküldü ve kür işlemi uygulandı.

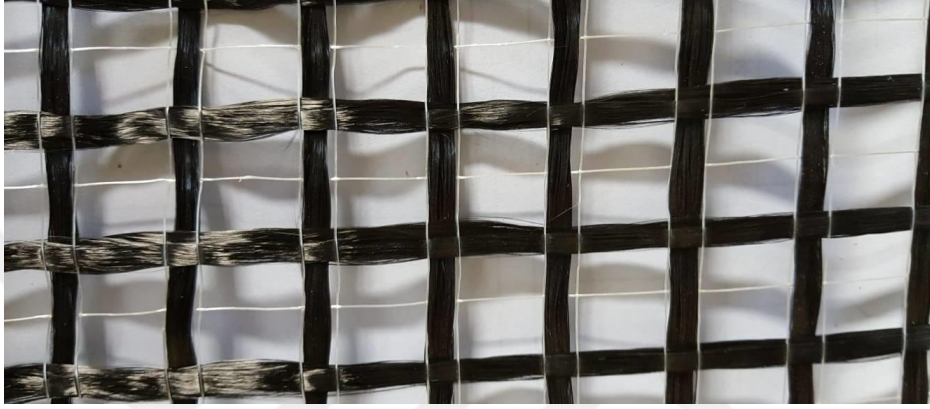
Güçlendirme işlemi yapılacak olan 4 adet betonarme kirişin yüzeyleri zımparalanarak düzleştirildi. MasterEmaco S 488 marka yapısal tamir harcı (Şekil 2.2) yardımıyla Çizelge 2.3’de teknik özellikleri verilen karbon lifli ızgara kumaş (Şekil 2.3), “U” şeklinde betonarme kiriş yüzeyine sarıldı ve harcın priz alması bekledi. (Şekil 2.4)



Şekil 2.2 Tamir harcı

Çizelge 2.3 Karbon lifli ızgara kumaşın teknik özellikleri

Ürün Kodu	CFM 200 / 100
Birim Ağırlık	200 gr / m ² ± % 5
Elyaf	12K Dowaksa Carbon A49
Her İki Yön İçin Toplam Kalınlık	0.048 mm
Elektriksel Yalıtkanlık	İletken (1.6 *10 – 5 Ω. M)
Çekme Dayanımı	2500 MPa
Elastisite Modülü	230000 MPa
Kopmada Uzama	1.40 %



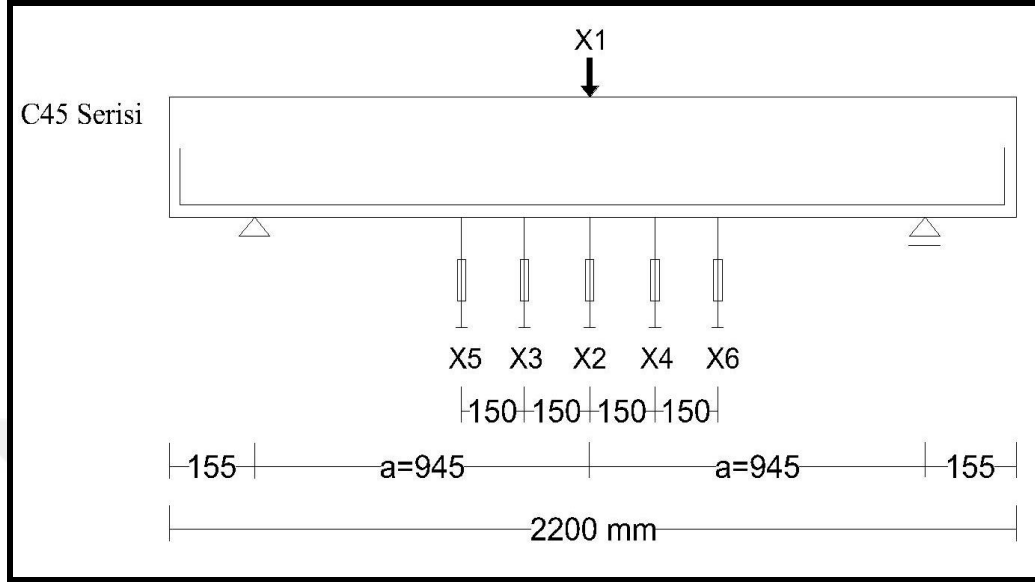
Şekil 2.3 Karbon lifli ızgara kumaş



Şekil 2.4 Karbon lifli ızgara kumaşın çimentolu harç yardımıyla betonarme kiriş yüzeyine uygulanması ve sonrasında harcın priz alması için beklenmesi

Güçlendirme işlemi tamamlanan betonarme kirişler, biri sabit diğeri kayıcı olan mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve açıklık ortasından yerdeğiştirme kontrollü 50μ/s hızla yükleme yapılmıştır. Yükleme esnasında kiriş açıklığındaki 6 noktadan düşey yerdeğiştirmeler (sehimler) PDT (potentiometric displacement transducer) yardımı ile ölçülüp veri kayıt cihazından alınarak kaydedilmiştir. Şekil 2.5’de gösterilen deney düzeneğinde kiriş mesnetlerinin, yapılan yüklemenin ve yerdeğiştirme ölçerlerin yerleri gösterilmiştir. Yük uygulama noktasındaki yerdeğiştirmelerin ölçüldüğü nokta “2”, kiriş

açıklık ortasından 15cm sağ ve sol taraftaki yerdeğıştirmelerin ölçüldüğü noktalar, sırasıyla, “3” ve “4”, kiriş açıklık ortasından 30cm sağ ve sol taraftaki yerdeğıştirmelerin ölçüldüğü noktalar, sırasıyla, “5” ve “6” olarak isimlendirilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Deney düzeneği

DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN ETKİSİ

3.1 Kirişlerin Deney Sonuçları

a/d değeri 2.5, 3.5, 4.5 ve 6.0 olan güçlendirilmiş etriyesiz betonarme kirişlerde 50 $\mu\text{m/s}$ hızda yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak veriler kaydedilmiştir. Açıklık ortasında tekil yüklü kirişlerde mesnetlerden biri sabit, diğeri hareketli tasarlanmış olup bütün numunelerde mesnet şartları aynıdır. Kirişlerin; kiriş kırılma biçimleri ve çatlak oluşumlarının ne şekilde gerçekleştiği gözlemlenerek uygulanan yük altındaki yerdeğiştirme grafikleri elde edilmiştir.

3.1.1 Güçlendirilmemiş (Referans) Kirişler

Mazhari [24] tarafından raporlanan C2.5R kirişi, Özgen [25] tarafından raporlanan C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinde yük artışı ile eğilme çatlaklarının kiriş açıklık ortasına doğru ilerlediği ifade edilmiştir. C2.5R, C3.5R ve C4.5R kirişlerinde, ani kesme kırılma oluşumu, C6.0R kirişinde ise eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu görülmüştür.

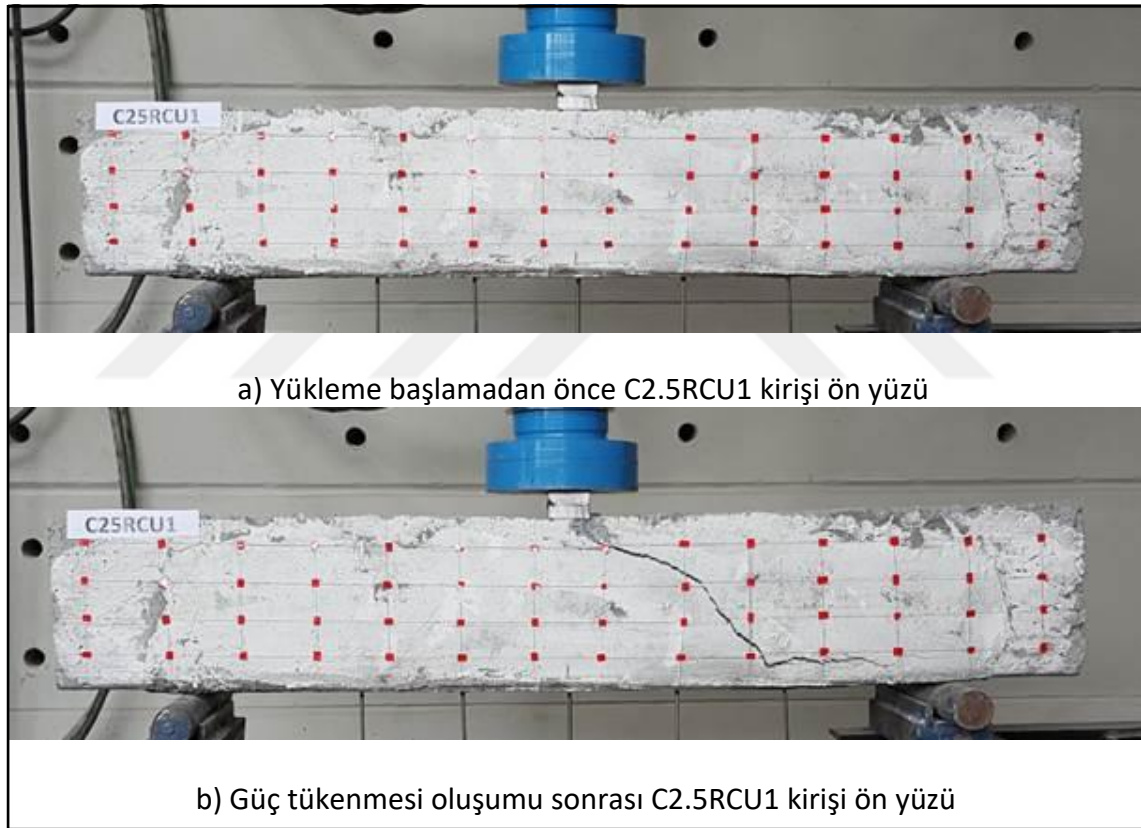
3.1.2 Güçlendirilmiş Kirişler

Kirişlerde çatlak oluşumları yerdeğiştirme artışı ile izlenmiş, yüzeysel çatlaklardan hasar oluşumları ile ilgili sonuç çıkarılmaya çalışılmıştır. TS500 (2000)' de [26] yapı içi normal çevre koşulları altında en büyük çatlak genişliği sınırı 0.4mm olarak verilmiştir. ATC-38 (2000)'de [27] çatlak oluşumunun belirgin olmaması “Hasarsız”, kabuk betonunda sınırlı çatlak oluşumu ve ezilme gözlenmesi ise “Sınırlı hasar” durumu olarak

belirtilmiştir. Kirişlerdeki çatlak genişlikleri göz önüne alınarak hasar durumları belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1.3.1 C2.5RCU1 Kirişi

a/d değeri 2.5 olan ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C2.5RCU1 kirişinin, yükleme başlamadan öncesi Şekil 3.1a'da, oluşan çatlaklar ve güç tükenmesi sonrası durumu ise Şekil 3.1b'de gösterilmiştir. C2.5RCU1 kirişinde, eğilme çatlaklarının $\omega_{\max}$ (0.4 mm) değerinin altında olduğu, yük artışı ile eğilme çatlaklarının kiriş açıklık ortasına doğru ilerlediği ve kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu görülmüştür.

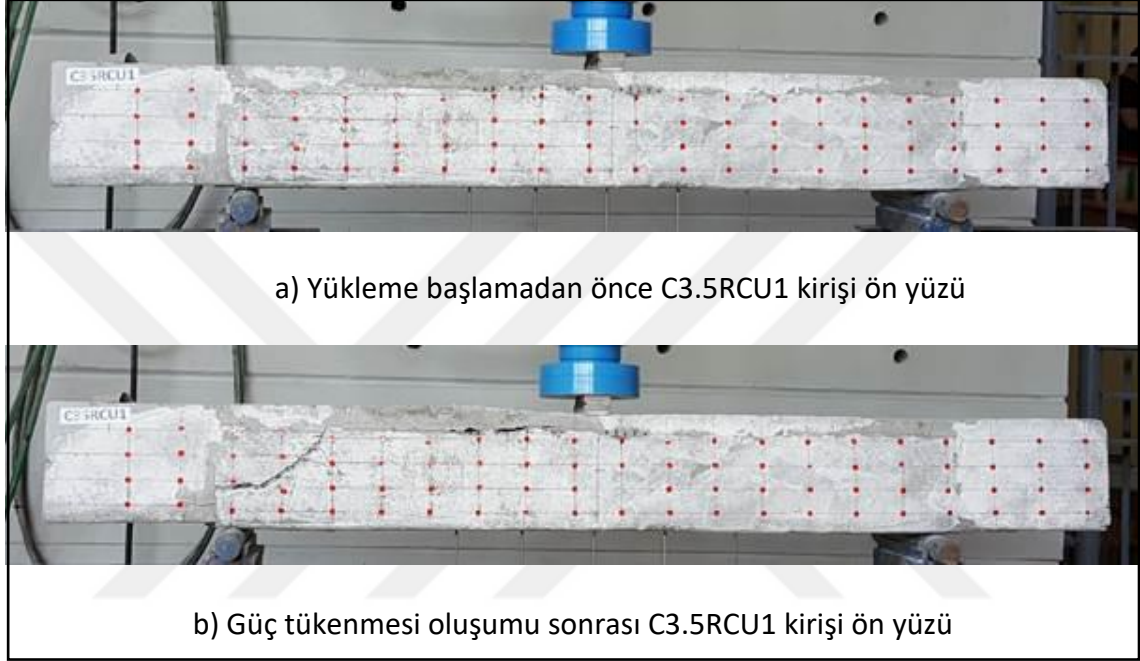


Şekil 3.1 Deney öncesi ve sonrası C2.5RCU1 kirişi görünüşleri

C2.5RCU1 kirişinde uygulanan yük artışı ile ani kesme kırılması oluşumu öncesi oluşan çatlak genişliği çok küçük olup, ATC-38'e göre "Hasarsız" durum sınıfında değerlendirilebilir. Kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.

3.1.3.2 C3.5RCU1 Kirişı

a/d değeri 3.5 olan ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C3.5RCU1 kirişinin, yükleme başlamadan öncesi Şekil 3.2a'da, oluşan çatlaklar ve güç tükenmesi sonrası durumu ise Şekil 3.2b'de gösterilmiştir. Kirişte eğilme çatlaklarının ω_{max} (0.4 mm) değerinin altında olduğu, yük artışı ile eğilme çatlaklarının kiriş açıklık ortasına doğru ilerlediği ve kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu görülmüştür.



Şekil 3.2 Deney öncesi ve sonrası C3.5RCU1 kirişi görünüşleri

C3.5RCU1 kirişinde uygulanan yük artışı ile ani kesme kırılması oluşumu öncesi oluşan çatlak genişliği çok küçük olup, ATC-38'e göre "Hasarsız" durum sınıfında değerlendirilebilir. Kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.

3.1.3.3 C4.5RCU1 Kirişı

a/d değeri 4.5 olan ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C4.5RCU1 kirişinin, yükleme başlamadan öncesi Şekil 3.3a'da, oluşan çatlaklar ve güç tükenmesi sonrası durumu ise Şekil 3.3b'de gösterilmiştir. C4.5RCU1 kirişinde, düşük yük düzeylerinde kiriş açıklık ortasında eğilme çatlakları oluşumları gözlemlendiği, yük artışı ile mevcut eğilme çatlaklarının genişlediği ve uzadığı tespit edilmiştir. Güç tükenmesine yakın yük düzeylerinde ise, kiriş yük uygulama bölgesindeki betonda ezilme gözlenmiş ve kirişte eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu görülmüştür.



Şekil 3.3 Deney öncesi ve sonrası C4.5RCU1 kirişi görünüşleri

3.1.3.4 C6.0RCU1 Kirişi

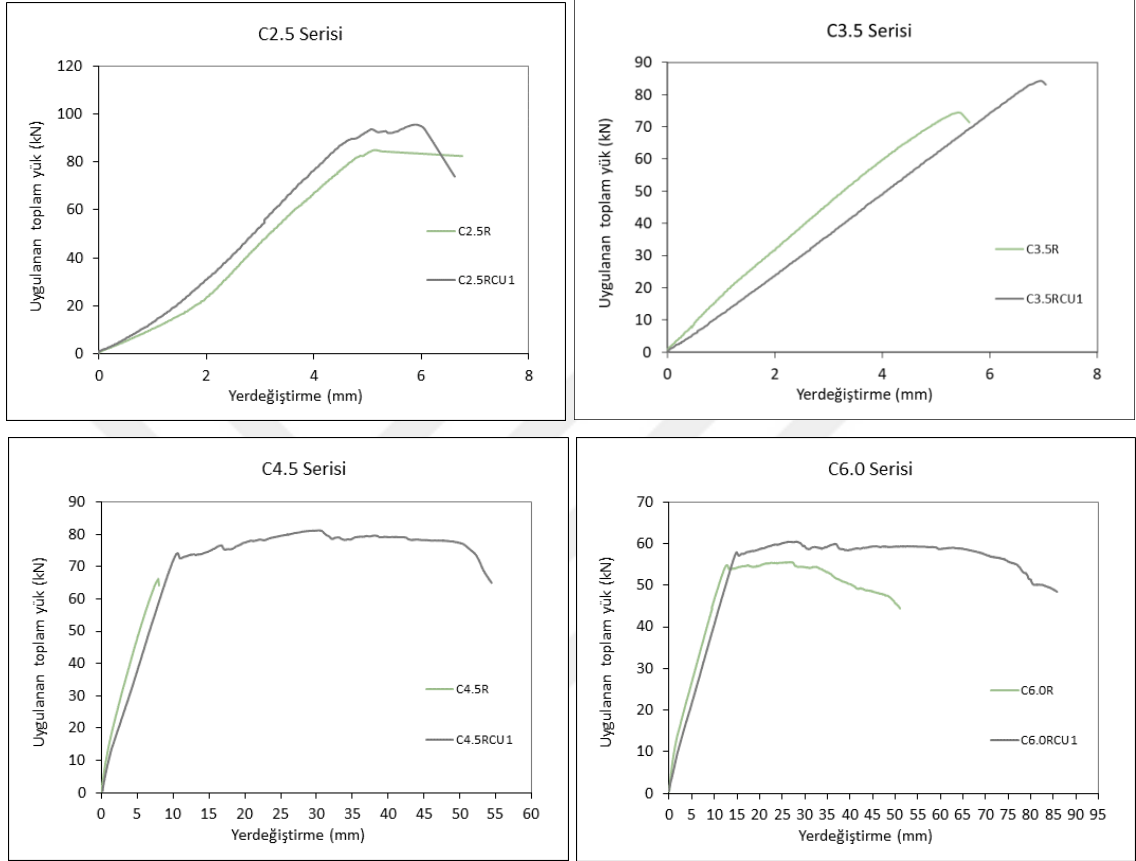
a/d değeri 6.0 olan ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C6.0RCU1 kirişinin, yükleme başlamadan öncesi Şekil 3.4a'da, oluşan çatlaklar ve güç tükenmesi sonrası durumu ise Şekil 3.4b'de gösterilmiştir. C6.0RCU1 kirişinde, düşük yük düzeylerinde kiriş açıklık ortasında eğilme çatlakları oluşumları gözlemlendiği, yük artışı ile mevcut eğilme çatlaklarının genişlediği ve uzadığı tespit edilmiştir. Güç tükenmesine yakın yük düzeylerinde ise, kiriş yük uygulama bölgesindeki betonda ezilme gözlenmiş ve kirişte eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu görülmüştür.



Şekil 3.4 Deney öncesi ve sonrası C6.0RCU1 kirişi görünüşleri

3.2 Yük- Yerdeğiştirme Eğrileri

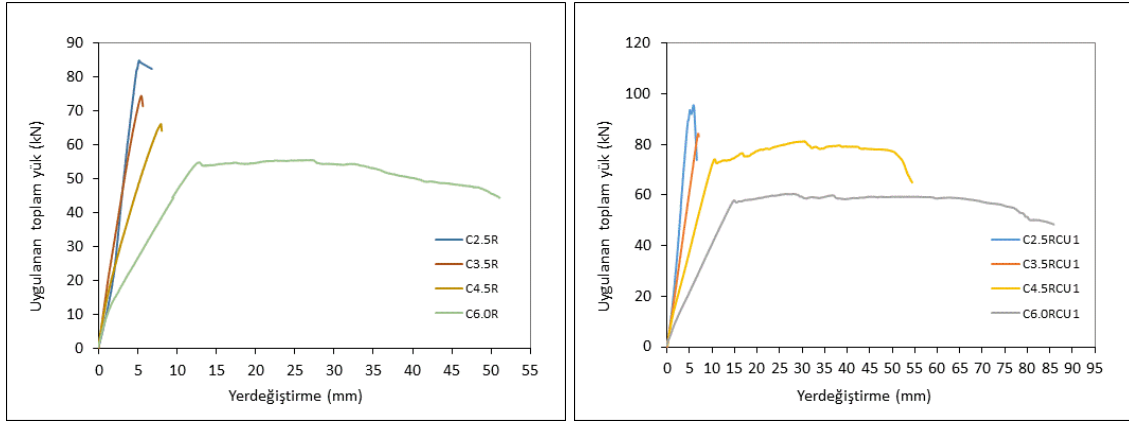
Kiriş kesme açıklığının etkili yüksekliğine oranı 2.5, 3.5, 4.5 ve 6.0 olan karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen ve güçlendirilmeyen kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrileri şekil 3.5'te karşılaştırılmıştır.



şekil 3.5 Kirişlerin yük- yerdeğiştirme eğrileri

Kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrileri karşılaştırıldığında, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kirişlerin rijitliklerinin hemen hemen aynı olduğu, küçük farklılıkların da yük uygulama yeri veya mesnetlerde agregaların ezilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kesme kırılması ile g tükenmesi oluşan C2.5RCU1 kirişinde, kesme çatlağı oluşumu sonrası kirişin yük taşıma ve yerdeğiştirme kapasitesinde artışlar görülmüştür. Yine kesme kırılması oluşumunun gözlendiği C3.5RCU1 kirişinde, kesme çatlağı oluşumu ile kırılma gerçekleşmiştir. Bir başka ifade ile, C3.5RCU1 kirişinde çatlama sonrası kiriş yük taşıma kapasitesi ve yerdeğiştirmelerde belirgin bir artış gözlenmemiştir.

Güçlendirilmemiş (Mazhari (2018), Özgen (2018)) ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen kirişlerin kendi içlerinde yük-yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 3.6’de verilmiştir.



Şekil 3.6 Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş kirişlerinin yük- yerdeğiştirme eğrisi

Çizelge 3.1’de, her bir kirişin maksimum yük taşıma kapasitesi (P_{max}), maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirme (δ), maksimum yük taşıma kapasitesinin %80’i olarak kabul edilen göçme yükü (P_u), göçme anındaki yerdeğiştirme (δ_u) ve yük-yerdeğiştirme eğrileri altındaki alanın bulunması ile elde edilen kirişlerin enerji yutma kapasitesi (D_e) verilmiştir.

Çizelge 3.1 Betonarme kirişlerde yük, yerdeğiştirme ve enerji yutma kapasiteleri

Kiriş	P_{max} (kN)	δ (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)	δ_u / δ_c (mm)	D_e (kNm)
C2.5R*	84.93	5.12	67.94	6.76	1.32	0.3365
C3.5R#	74.49	5.42	59.59	5.62	1.04	0.2372
C4.5R#	66.19	7.92	52.95	8.02	1.01	0.3114
C6.0R#	55.58	26.94	44.46	51.08	1.90	2.4100
C2.5RCU1	95.54	5.88	76.43	6.62	1.13	0.3672
C3.5RCU1	84.28	6.94	67.43	7.04	1.01	0.3032
C4.5RCU1	81.28	30.48	65.02	54.42	1.79	3.8180
C6.0RCU1	60.52	28.10	48.41	85.82	3.05	4.5540
* Mazhari 2018; # Özgen 2018						

Çizelge 3.1’deki sonuçlar incelendiğinde, C2.5R kirişi ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen C2.5RCU1 kirişlerinin sırasıyla, maksimum yük taşıma kapasiteleri 84.93kN ve 95.54kN olduğu, enerji yutma kapasitelerinin ise 0.3365 ve 0.3672 olduğu

görülmektedir. Yapılan güçlendirme sonrası, yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %12, süneklilikte ise yaklaşık %9'luk bir artış sağlandığı görülmüştür.

C3.5 serisi kirişlerde, karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilme sonrası kirişin (C3.5RCU1) yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %13, sünekliliğinde ise yaklaşık %28'lik bir artış sağlandığı görülmüştür. Güçlendirilen C3.5RCU1 kirişi enerji yutma kapasitesinin C2.5RCU1 kirişinden daha az olmasının, beton dayanımının kiriş içerisinde homojen dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

C4.5 serisi kirişlerde, C4.5R kirişinin ve karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen C4.5RCU1 kirişinin, maksimum yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla 66.19kN ve 81.28kN olduğu, enerji yutma kapasitelerinin ise sırasıyla 0.3114 ve 3.818 olduğu görülmektedir. Yapılan güçlendirme sonrası kiriş kesme dayanımı arttığından kırılma biçimi, kesme kırılmasından eğilme kırılmasına dönüşmüştür. Yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %23, süneklilikte ise yaklaşık 11 kat bir artış görülmüştür.

C6.0 serisi kirişlerde, karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilme sonrası kirişin (C6.0RCU1) yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %9, sünekliliğinde ise yaklaşık %89'luk bir artış sağlandığı görülmüştür.

C4.5RCU1 kirişi hariç diğer güçlendirilmiş kirişlerin a/d değerine göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde artışın %9 ile %12 (Şekil 3.7a), maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmelerde artışın %4 ile %28 (Şekil 3.7b), göçme anındaki yerdeğiştirmelerde değişimin %-2 ile %68 (Şekil 3.7c) ve enerji yutma kapasitelerinde artışın %9 ile %89 (Şekil 3.7d) olduğu görülmüştür.

DeneySEL sonuçlar incelendiğinde, karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen tüm kirişlerin güçlendirilmeyen kirişlere göre hem yük taşıma kapasitesi hem de enerji yutma kapasitesinde ciddi oranda artış olduğu ve en büyük artışın ise C4.5R kirişi güçlendirilmesinde gerçekleştiği görülmüştür.

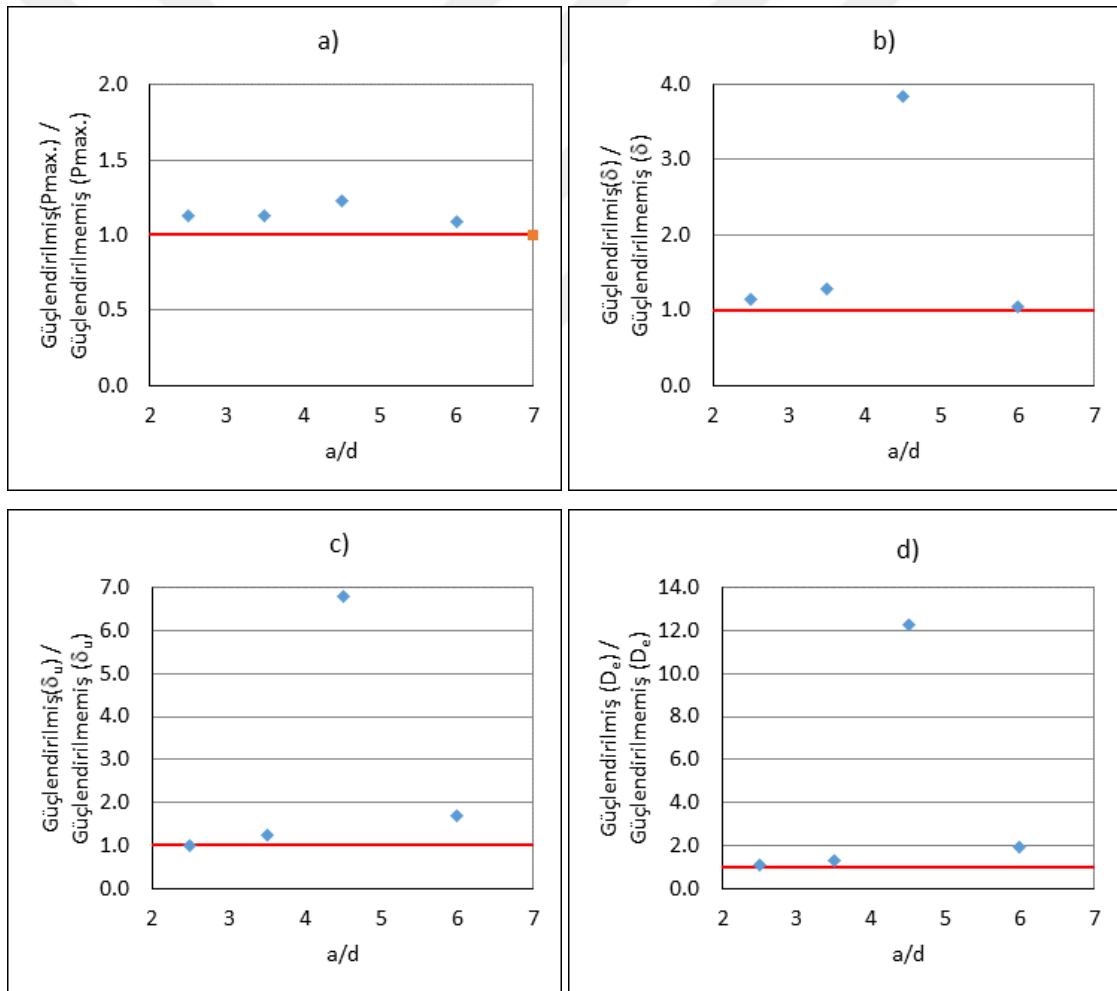
3.3 a/d Etkisi

Kirişlerin maksimum yük taşıma kapasiteleri (P_{max}), maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmeleri (δ), göçme anındaki yerdeğiştirmeleri (δ_u) ve enerji yutma

kapasiteleri (D_e) değerleri aynı kirişin güçlendirilmesi durumundaki artışları oransal olarak belirlenerek a/d değerine göre değişimleri Şekil 3.7’de verilmiştir.

Güçlendirilmiş kirişlerin a/d değerine göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde artışın %9 ile %23 arasında değiştiği ve değişimin belirgin bir eğilim sergilemediği görülmüştür (Şekil 3.7a). Güçlendirilmiş kirişlerin (C4.5RCU1 hariç) a/d değerine göre maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmelerinde artışın %4 ile %28 arasında değiştiği ve değişimin belirgin bir eğilim sergilemediği görülmüştür (Şekil 3.7b).

Güçlendirilmiş kirişlerin (C4.5RCU1 hariç), göçme anındaki yerdeğiştirmelerinin ve enerji yutma kapasitelerinin a/d artışı ile artış eğilimi gösterdiği görülmüştür (Şekil 3.7c-d).



Şekil 3.7 Güçlendirmede a/d etkisi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek yönlü artan yerdeğiştirme kontrollü yük altında, a/d değeri 2.5, 3.5, 4.5 ve 6.0 olan betonarme kirişlerde karbon lifli ızgara kumaşın çimento esaslı harç ile yapıştırılarak güçlendirmenin kirişlerin dayanımlarına katkısı deneysel olarak incelenmiştir.

- Güçlendirilmemiş C2.5R, C3.5R, C4.5R kirişlerinde kesme kırılması, C6.0R kirişinde eğilme kırılması ile güç tükenmesi olduğu gözlemlenmiştir [24, 25]. Güçlendirilmiş C2.5RCU1, C3.5RCU1 kirişlerinde kesme kırılması, C4.5RCU1 ve C6.0RCU1 kirişlerinde ise eğilme kırılması tespit edilmiştir. C4.5R kirişinde, güçlendirme ile (C4.5RCU1) kiriş kesme dayanımı arttığından eğilme kırılması oluşumu gözlenmiştir.
- C2.5RCU1, C3.5RCU1, C4.5RCU1 ve C6.0RCU1 kirişlerinde a/d artışıyla beraber kirişlerin göçme durumundaki yerdeğiştirme değerlerinde artış, yük taşıma kapasitelerinde ise azalma gözlenmiştir. $a/d=2.5, 3.5, 4.5$ ve 6.0 alındığında, kiriş yük taşıma kapasiteleri, bir önceki a/d değerine göre sırasıyla 12%, 4%, ve 26% azalmış ve göçme durumundaki yer değiştirme değerleri ise (bir önceki a/d değerine göre) sırasıyla 6%, 673%, ve 58% artmıştır. Ayrıca en düşük enerji yutma kapasitesine C3.5RCU1 kirişi sahip olurken en yüksek enerji yutma kapasitesine C6.0RCU1 kirişi sahip olmuştur.
- Güçlendirilen C3.5RCU1 kirişi enerji yutma kapasitesinin C2.5RCU1 kirişinden daha az olmasının, beton dayanımının kiriş içerisinde homojen dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- a/d değerinin 4.5 olduğu güçlendirmesiz (C4.5R) ve güçlendirmeli (C4.5RCU1) kirişler karşılaştırıldığında; güçlendirme durumunda kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %23 artış gözlenmiştir. Maksimum yükün yaklaşık %80'i olarak tanımlanan göçme anındaki yerdeğiştirmeler karşılaştırıldığında ise, kiriş yerdeğiştirme kapasitesinde yaklaşık 6.79 kat artış gözlenmiştir. Kiriş kırılma biçimi ise kesme kırılmasından eğilme kırılmasına dönüşmüştür.
- C4.5RCU1 kirişi hariç diğer güçlendirilmiş kirişlerin a/d değerine göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde artışın %9 ile %12, maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmelerde artışın %4 ile %28, göçme anındaki yerdeğiştirmelerde değişimin %-2 ile %68 ve enerji yutma kapasitelerinde artışın %9 ile %89 olduğu görülmüştür.
- Karbon lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen tüm kirişlerin güçlendirilmeyen kirişlere göre hem yük taşıma kapasitesi hem de enerji yutma kapasitesinde ciddi oranda artış olduğu ve en büyük artışın ise kırılma biçimi değişen C4.5R kirişi güçlendirilmesinde gerçekleştiği görülmüştür.
- Güçlendirilmiş kirişlerin (C4.5RCU1 hariç), maksimum yük taşıma kapasitelerinde ve maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmelerde a/d değeri artışına göre bir eğilim sergilemediği görülmüştür. Güçlendirilmiş kirişlerin (C4.5RCU1 hariç), göçme anındaki yerdeğiştirmelerinin ve enerji yutma kapasitelerinin a/d artışı ile artış eğilimi gösterdiği görülmüştür(Şekil 3.7c-d).
- Yüksek dayanımlı betondan üretilmiş betonarme kirişlerde benzer güçlendirme uygulanması durumunda, a/d artışı ile dayanım değişimlerinin incelenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ökten, M., (2013). Lifli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Escrig, C., Gil, L. ve Bernat-Maso, E., (2017) "Experimental comparison of reinforced concrete beams strengthened against bending with different types of cementitious-matrix composite materials", Construction and Building Materials, 137: 317-329.
- [3] Faella, C., Martinelli, E., Nigro, E. ve Paciello, S. (2004). "Tuff masonry walls strengthened with a new kind of C-FRP sheet: experimental tests and analysis.", Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August 2004, Vancouver.
- [4] Anandamurthy, A., Guna, V., Ilango, M. ve Reddy, N., (2017) "A review of fibrous reinforcements of concrete", Journal of Reinforced Plastics and Composites, 36 (7): 519-552 .
- [5] Raoof, S.M. ve Bournas, D.A., (2017) "Bond between TRM versus FRP composites and concrete at high temperatures", Composites Part B, 127: 150-165 .
- [6] Donnini, J., De Caso y Basalo, F., Corinaldesi, V., Lancioni, G. ve Nanni, A., (2017) "Fabric-reinforced cementitious matrix behavior at high-temperature: Experimental and numerical results", Composites Part B, 108: 108-121 .
- [7] Tetta, Z.C., Bournas, D.A., (2016) "TRM vs FRP jacketing in shear strengthening of concrete members subjected to high temperatures", Composites Part B, 106: 190-205 .
- [8] Awani, O., Refai, A.E. ve El-Maaddawy, T., (2015) "Bond characteristics of carbon fabric-reinforced cementitious matrix in double shear tests", Construction and Building Materials, 101: 39-49 .
- [9] Papakonstantinou, C.G., Kakae, C. ve Gryllakis, N., (2018) "Can Existing Design Codes Be Used to Design Flexural Reinforced Concrete Elements Strengthened with Externally Bonded Novel Materials?", 2018 3rd International Conference on Building Materials and Construction (ICBMC 2018), 23–25 February 2018, Nha Trang, Vietnam.

- [10] Younis, A., Ebead, U. ve Shrestha, K.C., (2017) "Different FRCM systems for shear-strengthening of reinforced concrete beams", *Construction and Building Materials*, 153: 514-526 .
- [11] Shah, M.V., Engineer, K., Solanki, H. ve Sheth, H., (2017) "Enhancement of RC Beams by Textile Reinforced Concrete (TRC)", *International Journal of Science Technology & Engineering*, 3 (10): 524-528.
- [12] Escrig, C., Gil, L., Bernat-Maso, E. ve Puigvert, F., (2015) "Experimental and analytical study of reinforced concrete beams shear strengthened with different types of textile-reinforced mortar", *Construction and Building Materials*, 83: 248-260.
- [13] Al-Salloum, Y.A., Elsanadedy, H.M, Alsayed, S.H. ve Iqbal, R.A, (2012) "Experimental and Numerical Study for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Textile-Reinforced Mortar", *Journal of Composites for Construction*, 16 (1): 74-90.
- [14] Sheng, J., Yin, S, Xu, S. ve Jin, Z., (2018) "Experimental and theoretical investigations on crack spacing and stiffness of textile-reinforced concrete–strengthened reinforced concrete beams", *Advances in Structural Engineering*, 21 (11): 1696-1707.
- [15] Jie, S., Shi-ping, Y., Fei, W. ve Yangyang (2017) "Experimental study on the fatigue behaviour of RC beams strengthened with TRC after sustained load corrosion", *Construction and Building Materials*, 131: 713-720 .
- [16] Papanicolaou, C., Triantafillou, T. ve Lekka, M., (2011) "Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels", *Construction and Building Materials*, 25: 504-514 .
- [17] Awani, O., El-Maaddawy, T. ve Ismail, N., (2017) "Fabric-reinforced cementitious matrix: A promising strengthening technique for concrete structures", *Construction and Building Materials*, 132: 94-111 .
- [18] Donnini, J., Corinaldesi, V., (2017) "Mechanical characterization of different FRCM systems for structural reinforcement", *Construction and Building Materials*, 145: 565-575 .
- [19] Tetta, Z.C., Koutas, L.N. ve Bournas, D.A., (2018) "Shear strengthening of concrete members with TRM jackets: Effect of shear span-to-depth ratio, material and amount of external reinforcement", *Composites Part B*, 137: 184-201 .
- [20] Tetta, Z.C., Koutas, L.N. ve Bournas, D.A., (2015) "Textile-reinforced mortar (TRM) versus fiber-reinforced polymers (FRP) in shear strengthening of concrete beams", *Composites Part B*, 77: 338-348 .
- [21] Gonzalez-Libreros, J.H., Sabau, C., Sneed, L.H., Pellegrino, C. ve Sas, G., (2017) "State of research on shear strengthening of RC beams with FRCM composites", *Construction and Building Materials*, 149: 444-458 .

- [22] Raoof, S.M., Koutas, L.N. ve Bournas, D.A., (2017) "Textile-reinforced mortar (TRM) versus fibre-reinforced polymers (FRP) in flexural strengthening of RC beams", Construction and Building Materials, 151: 279-291 .
- [23] Verbruggen, S., Tysmans, T. ve Wastiels, J., (2014) "TRC or CFRP strengthening for reinforced concrete beams: An experimental study of the cracking behaviour", Engineering Structures, 77: 49-56 .
- [24] Mazhari S. Z., (2018). Etriyersiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Özgen U., (2018) Etriyersiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Eğilme Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] TSE 500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, I. Baskı, Ankara.
- [27] ATC 38, (2000). Database on the Performance of Structures Near Strong-Motion Recordings: 1994 Northridge, California, Earthquake, Applied Technology Council, Redwood City, CA.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ersin GÜN
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.07.1990 - Elazığ
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ersingun23@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Hıdır Sever Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2015	GÜLSAN HOLDİNG	Teknik Ofis Mühendisi
2015-	T. C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI	İnşaat Mühendisi