

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

**BAZALT LİFLİ IZGARA KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KİRİŞLERDE DAYANIM ARTIŞLARININ İRDELENMESİ**

MUZAFFER ÇEVİK

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

**DANIŞMAN
PROF. DR. GÜRAY ARSLAN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZALT LİFLİ IZGARA KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KİRİŞLERDE DAYANIM ARTIŞLARININ İRDELENMESİ**

Muzaffer ÇEVİK tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2019 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



Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Cem AYDEMİR
İstanbul Aydın Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana yol gösteren ve önümü aydınlatan kıymetli Hocam Sn. Prof. Dr. Güray ARSLAN'a, şükranlarımı sunarım. Eğitim hayatımda bugünlere gelmeme vesile olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bana destek olan, beni yetiştiren ve bugünlere getiren kıymetli annem Habibe ÇEVİK'e minnettar olduğumu, emeklerinin karşılığını ödeyemeyeceğimi belirtmek isterim.

Çalışmam süresince benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, tüm sevdiklerim sayesinde ortaya çıkmıştır.

Temmuz, 2019

Muzaffer ÇEVİK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
DENEY DÜZENEGİ VE KIRIŞLARIN ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1 Deney Programı	5
2.2 Deney Elemanları	5
2.3 Malzeme Özellikleri ve Dayanımı.....	7
2.4 Güçlendirme Uygulaması	8
2.5 Deney Sistemi	9
BÖLÜM 3	
DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKENLERİN ETKİSİ	11
3.1 Deney Sonuçları	11
3.1.1 Güçlendirilmemiş (Referans) Kirişler	11
3.1.2 Güçlendirilmiş Kirişler	11
3.1.2.1 C2.5RBU1 Kirişi	12

3.1.2.2	C3.5RBU1 Kirişı.....	13
3.1.2.3	C4.5RBU1 Kirişı.....	13
3.1.2.4	C6.0RBU1 Kirişı.....	14
3.1.2.5	C2.5RBU2 Kirişı.....	15
3.1.2.6	C3.5RBU2 Kirişı.....	16
3.1.2.7	C4.5RBU2 Kirişı.....	17
3.1.2.8	C6.0RBU2 Kirişı.....	18
3.2	Yük- Yerdeğiştirme Eğrileri.....	18
3.3	Güçlendirme Biçimi Etkisi	21
3.4	a/d Etkisi	22
BÖLÜM 4		
SONUÇ VE ÖNERİLER		24
KAYNAKLAR		26
ÖZGEÇMİŞ		28

SİMGE LİSTESİ

a	Kiriş kesme açıklığı
A_s	Donatı alanı
b_w	Kiriş kesit genişliği
d	Kiriş etkili yüksekliği
h	Kiriş yüksekliği
L	Kiriş boyu
δ	Maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme
δ_u	Göçme anındaki yer değiştirme
\emptyset	Donatı çeliği çapı
ρ	Donatı oranı
P_{max}	Maksimum yük taşıma kapasitesi
P_u	Maksimum yük taşıma kapasitesinin %80'i
D_e	Kirişlerin enerji yutma kapasitesi

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
BFRC	Basalt Fiber Reinforced Concrete (Bazalt Fiber Takviyeli Polimer)
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polimer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)
FRP	Fiber Reinforced Polimer (Fiber Takviyeli Polimer)
PDT	Potentiometric Displacement Transducer (Düsey Yerdeğiştirme Ölçer)
TRC	Textile Reinforced (Concrete Çimento Esaslı Kompozit)
TRM	Textile Reinforced Mortar (Tekstil Takviyeli Harç)
TS	Türk Standardı
TS500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Deney Numuneleri Geometrik Özellikleri.....	7
Şekil 2.2 25x25 Bazalt Izgara Kumaş	8
Şekil 2.3 Kirişe Tamir Harcı Uygulama Aşamaları.....	9
Şekil 2.4 Deney Düzenegi	10
Şekil 3.1 Deney Öncesi ve Sonrası C2.5RBU1 Kirişi Görünümleri.....	12
Şekil 3.2 Deney Öncesi ve Sonrası C3.5RBU1 Kirişi Görünümleri.....	13
Şekil 3.3 Deney Öncesi ve Sonrası C4.5RBU1 Kirişi Görünümleri.....	14
Şekil 3.4 Deney Öncesi ve Sonrası C6.0RBU1 Kirişi Görünümleri.....	15
Şekil 3.5 Deney Öncesi ve Sonrası C2.5RBU2 Kirişi Görünümleri.....	16
Şekil 3.6 Deney Öncesi ve Sonrası C3.5RBU2 Kirişi Görünümleri.....	17
Şekil 3.7 Deney Öncesi ve Sonrası C4.5RBU2 Kirişi Görünümleri.....	17
Şekil 3.8 Deney Öncesi ve Sonrası C6.0RBU2 Kirişi Görünümleri.....	18
Şekil 3.9 Kirişlerin Yük-Yer Değiştirme Eğrileri.....	19
Şekil 3.10 Yük-Yer Değiştirme Eğrilerinin Karşılaştırılması.....	21
Şekil 3.11 Güçlendirme a/d Etkisi.....	23

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Deney elemanlarının özellikleri.....	6
Çizelge 2.2 Beton malzeme karışım oranları.....	7
Çizelge 2.3 Tamir Harcı Özellikleri.....	8
Çizelge 3.1 Betonarme Kirişlerde Yük,Yer Değişirme ve Enerji Yutma Kapasiteleri.....	20

BAZALT LİFLİ IZGARA KUMAŞ İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME KİRİŞLERDE DAYANIM ARTIŞLARININ İRDELENMESİ

Muzaffer ÇEVİK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güray ARSLAN

Son yıllarda, mevcut yapıların güçlendirilmesi veya hasarlı yapıların iyileştirilmesi amacıyla karbon, bazalt, cam lifli kumaşların betonarme yapı elemanlarında kullanımı ile ilgili araştırmalar artmıştır. Bu çalışmada; bazalt lifli çimento esaslı kompozit (Basalt Fibre Reinforced Composit, BFRC) malzemenin betonarme elemanların güçlendirilmesinde kullanımının dayanım değişimine etkisi değerlendirilmiştir. Değerlendirmedeki temel değişken: Kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı ($a/d = 2,5; 3,5, 4,5$ ve $6,0$), bazalt ızgara kumaş katı sayısıdır (tek kat, çift kat). Deneysel çalışmada; herbir a/d oranı için ikişer kiriş (tek katlı ve çift katlı bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilmiş) olmak üzere toplam 8 kiriş deneyi yapılmıştır. Deneysel sonuçlar referans kirişleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu; lifli polimerle yapılan güçlendirmenin dayanım ve süneklikte artışa neden olduğu görülmüştür.

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

**INVESTIGATION OF THE CHANGE IN THE STRENGTH OF REINFORCED
CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH BASALT FIBER MESH FABRIC**

Muzaffer ÇEVİK

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Güray ARSLAN

In recent years, there has been many researches about strengthening reinforced concrete structural elements with carbon, basalt, glass fiber mesh fabric with the aim of strengthening existing buildings or retrofitting damaged buildings. In this research, the effect of strengthening with basalt fiber reinforced composite on the strength of reinforced concrete members was investigated. The main parameters were shear span-to-effective depth ratio ($a/d = 2.5 ; 3.5 ; 4.5 ; 6.0$) and the number of plies of basalt fiber mesh fabric. In total eight beams, two beams having single ply and double plies of fabric for each value of a/d , were tested. Based on the comparisons with reference specimens, it was concluded that the strengthening with basalt fiber mesh fabric yielded increases in the strength and ductility.

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

1.1 Literatür Özeti

Betonarme taşıyıcı sistemlerde kullanım amacının değişmesi veya çeşitli sebeplerle zaman içerisinde performans kayıpları gibi nedenlerle güçlendirme gereği ortaya çıkabilir. Betonarme yapısal elemanların güçlendirilmesiyle ilgili bugüne kadar pek çok araştırma yapılarak, güçlendirme şeklinin dayanım değişimine ve sünekliğe etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, betonarme elemanların güçlendirilmesinde çimento esaslı kompozitlerden basalt lifli polimerlerle güçlendirmenin dayanıma etkisi araştırılmıştır. Benzer çalışmalar incelendiğinde, tekstil takviyeli harç (textile-reinforced mortar, TRM) ve epoksi esaslı kompozit malzeme ile güçlendirilmenin kirişlerin dayanım ve sünekliğe olumlu yönde katkısının olduğu görülmektedir. Literatürde ulaşılabilen çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

[2] Verbruggen vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; betonarme kirişlerin çimento esaslı kompozit (Textile Reinforced Cements, TRC) ve epoksi esaslı karbon lifli (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) kumaşlarla güçlendirmenin çatlak oluşumuna etkisi deneysel olarak incelenmiştir. İnceleme sonucu, çatlak oluşumu açısından davranışta önemli fark olmadığı, gelişen çatlak sayısının güçlendirme şekline bağımsız olduğu, güçlendirmeden sonra çatlak genişliklerinin güçlendirme olmadan önceki durum ile karşılaştırıldığında daha az olduğu gözlenmiştir.

[4] Raoof vd. (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmada, betonarme kirişlerin eğilme dayanımının güçlendirilmesinde, çimento esaslı kompozit (Textile Reinforced Cements, TRC) ve epoksi esaslı karbon lifli malzeme kullanılmasının dayanım değişimine etkisi

incelenmiştir. Deneysel çalışmada dört noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Değişken parametreler: Güçlendirme malzemesi, güçlendirme malzemesi tabaka sayısı, güçlendirilen yüzeyin kaplanmış olup olmaması ve uç bölge ankraj sistemi sayılabilir. Deney sonucu; güçlendirilmiş kirişlerin yük taşıma kapasitesinin artışıyla TRC sistemi etkisi lifli polimerlere göre daha azdır. Fakat, TRC'nin etkisi tabaka sayısına bağlıdır. Tabaka sayısı 1 den 3 e arttığı zaman, TRC'nin etkisi %70 artmaktadır. TRC ve FRP ile güçlendirilen sistemlerde çatlama ve akma sonrası rijitlik güçlendirilmemiş kirişe göre önemli derece artmaktadır.

[5] Tetta vd. (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmada, kesme dayanımı açısından FRP ve TRM ile güçlendirmenin katkıları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu; güçlendirmede FRP kullanımının TRM ile güçlendirmeye göre daha fazla dayanım artışına sebep olduğu görülmüştür. İleri yük düzeylerinde (yerdeğiştirme artışı ile), TRM'nin daha efektif bir yöntem olduğu ifade edilmiştir. U şeklinde ile sarılmanın yan iki yüzeye sarılmaya göre daha efektiftir.

[6] Ludovico vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, betonarme elemanların güçlendirilmesinde çimento esaslı basalt kompozitler yeni nesil güçlendirme malzemeleri olarak tanımlanmıştır. Beton silindirlerde farklı sargı malzemeleri etkisi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada; tek eksenli cam lifli donatılı plaka; çimento esaslı cam ızgara kumaşlar; çift yönlü bazalt plakanın epoksi ve çimento esaslı harç ile güçlendirilmesi ve çimento esaslı mantolama durumlarıdır. Farklı güçlendirme biçimlerinin karşılaştırılması sonucu; çimento esaslı basalt lifli kumaşların epoksi bazlı güçlendirmeye göre kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edilmiştir.

[1] Tetta ve Bournas (2016) tarafından yapılan çalışmada, TRM ve FRP kullanılarak güçlendirilen tam ölçekli betonarme kirişlerin, 20°C, 100°C, 150°C, 250°C sıcaklık etkisindeki performansları karşılaştırılmıştır. Güçlendirmede temel değişken parametreler: iki yan yüze güçlendirme, U şeklinde güçlendirme, dört yüzünde güçlendirme ve güçlendirme tabakası sayısıdır. Deneyler sonucu, yüksek sıcaklıkta TRM kullanımının FRP ye göre daha fazla etkili olduğu, en etkili güçlendirmenin tam sargılı (fully-wrapping FW) güçlendirmede olduğu belirlenmiştir. Güçlendirmede dayanıma katkının artıştan azalışa doğru, tam sargılı (fully-wrapping FW), U şeklinde kaplama (U-

wrapping, UW) ve yan yüzelere (side-bonding, SB) yapılan güçlendirme şeklinde sıralanmıştır.

[12] Escrig vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, çimento esaslı kompozit malzeme (fabric reinforced cementitious materials, FRCM) ile yapılan çalışmada, çatlama oluşumları ile güçlendirme malzemeleri arasında korelasyon olduğu ve FRCM kullanımının eğilme dayanımını arttırıp sünekliliği azalttığı görülmüştür.

[9] Yang (2018) vd. tarafından yapılan çalışmada, karbon lifli ızgara polimerde çimento esaslı harç ve epoksi reçinesi kullanılarak güçlendirilen betonarme kirişlerin davranışı ve dayanım değişimleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucu, epoksi reçinesi kullanılarak yapılan güçlendirmede lifli kumaşların uç bölgelerinde aderans sıyrılmasının önlenmesi durumunda, çimento esaslı harç (FRCM) ile güçlendirmeye göre daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

[10] Zheng (2016) tarafından yapılan çalışmada, epoksi reçinesi kullanılarak güçlendirilen bazalt lifli donatılı polimerlerin (Basalt fiber Reinforced Polymer, BFRP) kirişlerin davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada değişkenler; BFRP ızgara kalınlığı ve uzunluğudur. Deney sonucu, güçlendirilmiş kirişlerde güç tükenmesi oluşumuna kadar ki safhada belirgin aderans sıyrılması ile karşılaşılması, betonun ezilmesi ve BFRP yırtılması ile göçme oluşumu gözlenmiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş kirişlerin yük-yerdeğiştirme tahmini için analitik model oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada; bazalt lifli çimento esaslı kompozit (Basalt Fibre Reinforced Composit, BFRC) malzemenin betonarme elemanların güçlendirilmesinde kullanımının dayanım değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. İncelemede temel değişkenler: Kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı ($a/d = 2,5; 3,5 ; 4,5$ ve $6,0$), bazalt lifli ızgara kumaş kat sayısıdır.

1.3 Hipotez

Son yıllarda, karbon lifli ızgara kumaşa alternatif olarak bazalt lifli ızgara kumaş ile betonarme elemanların güçlendirmesi çalışmalarında artış gözlenmektedir. Kesme dayanımının eğilme dayanımından az olan betonarme kirişlerde, bazalt lifli ızgara kumaşın kiriş dayanımında artışa ve kiriş kırılma biçimi değişimine etkisi bilinmesi gereken konulardan biridir. Bu çalışmada, açıklık ortasından tekil yüklü güçlendirilmemiş kirişlerde Mazhari [2018], Özgen [2018] kesme kırılması oluşumu gözlenmiş olup aynı özellikli kirişlere, çimento esaslı harç ile “U” şeklinde bazalt lifli ızgara kumaşın yapıştırılmasının dayanıma olan katkısı belirlenmeye çalışılmıştır.



DENEY DÜZENEĞİ VE KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Deney Programı

Bu çalışmada; tek yönlü artan (monotonik) yük etkilerine maruz çimento esaslı kompozit kullanılarak yapıştırılıp güçlendirilen betonarme kirişlerde, a/d ve güçlendirme katman sayısı değişimine göre kirişlerin dayanımları bulunarak deneysel karşılaştırılmıştır. Açıklık ortasından tekil yüklü kirişlerde yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılmıştır. Enkesit boyutları 150mm/240mm olan betonarme kirişlerde kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) 2,5, 3,5, 4,5 ve 6,0 alınmıştır.

Güçlendirilen kirişler ile Mazhari (2018) tarafından raporlanan C2.5R kirişi ve Özgen (2018) tarafından raporlanan C2.5R, C3.5R, C4.5R ve C6.0R referans kirişleri deneysel sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan temel parametreler; yük-yerdeğiştirme eğrileri, maksimum yük taşıma kapasitesi, maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirme, maksimum yük taşıma kapasitesinin %80'i olarak kabul edilen göçme yükü, göçme anındaki yerdeğiştirme değerleridir.

2.2 Deney Elemanları

Betonarme kirişlerin isimleri ve özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. a/d kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranını, L kiriş uzunluğunu, A_s çekme donatısı alanını ve ρ çekme donatı oranını göstermektedir. a/d değeri 2,5; 3,5; 4,5 ve 6,0 olan bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen ve güçlendirilmeyen kirişler aynı yükleme ve mesnet koşulları altında test edilmiştir.

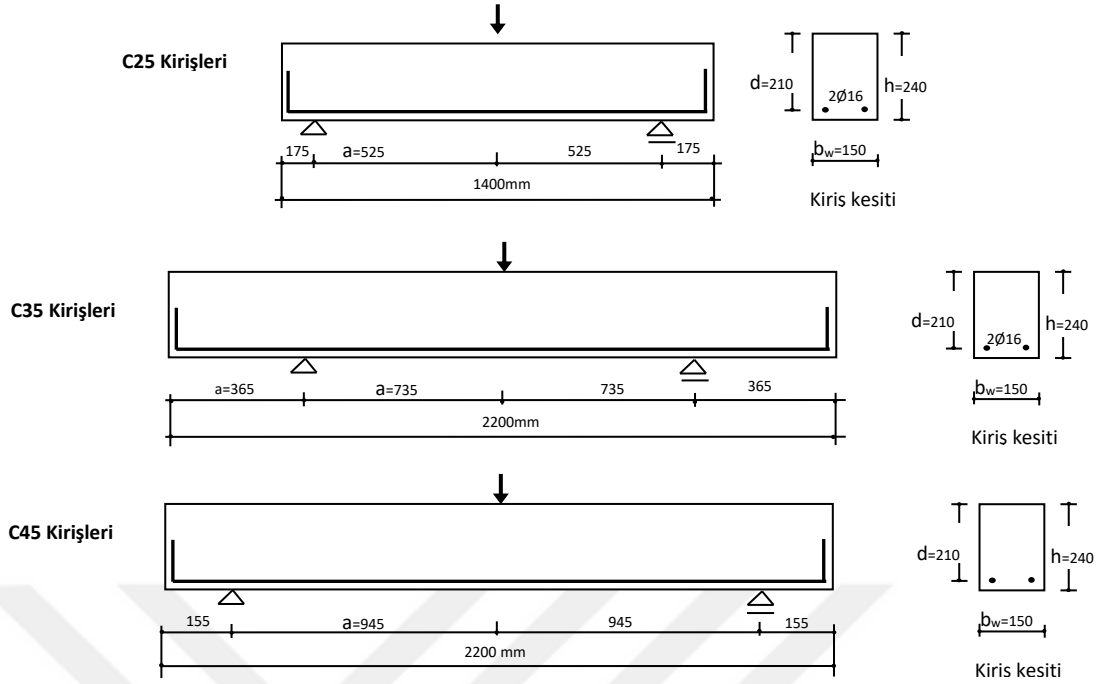
Güçlendirme yapılırken her bir a/d oranı için referans, tek kat ve çift kat basalt ızgara kumaş kullanılmıştır. Kirişlerin isimlendirilmesinde; “C” harfinden sonra gelen sayı (a/d) oranını, “R” harfi referans kirişlerini, R’nin yanındaki “B” harfi bazalt lifli ızgara ile güçlendirmenin yapıldığını, “U1” ise U şeklinde ve tek kat güçlendirme yapıldığını göstermektedir.

Çizelge 2.1 Deney elemanlarının özellikleri

Kirişler	Yapılan Uygulama	Sarılma Biçimi	a/d	L (mm)	As	ρ (%)
C2.5R*	Referans	---	2.5	2200	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
C2.5RBU1	Güçlendirme	U şeklinde 1 kat	2.5	2200	2Ø16	1.28
C3.5RBU1	Güçlendirme	U şeklinde 1 kat	3.5	2200	2Ø16	1.28
C4.5RBU1	Güçlendirme	U şeklinde 1 kat	4.5	2200	2Ø16	1.28
C6.0RBU1	Güçlendirme	U şeklinde 1 kat	6.0	3000	2Ø16	1.28
C2.5RBU2	Güçlendirme	U şeklinde 2 kat	2.5	2200	2Ø16	1.28
C3.5RBU2	Güçlendirme	U şeklinde 2 kat	3.5	2200	2Ø16	1.28
C4.5RBU2	Güçlendirme	U şeklinde 2 kat	4.5	2200	2Ø16	1.28
C6.0RBU2	Güçlendirme	U şeklinde 2 kat	6.0	3000	2Ø16	1.28

* Mazhari 2018; # Özgen 2018

Yüksekliği (h) 240mm, genişliği (b_w) 150mm, etkili yüksekliği (d) 210mm ve çekme donatısı 2Ø16 alınarak kirişler tasarlanmıştır. Deney elemanlarının kesit boyutları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Deney numuneleri geometrik özellikleri

2.3 Malzeme Özellikleri ve Dayanımı

Tüm deney elemanlarından alınan beton numuneler laboratuvar ortamında teste tabi tutulmuş ve özellikleri belirlenmiştir. Betonarme kirişlerin betonu hazır beton fabrikasından temin edilmiş ve dökülmüştür. Akışkanlaştırıcı olarak ASTM C 494 Type A ve çimento olarak CEM I 42.5R kullanılmış ve kirişlerde kullanılan betonların karışım oranları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 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

Betonun ortalama tek eksenli basınç dayanımları kirişler ile beraber dökülen 15cm x 15cm küp numunelerinin deney gününde kırılması ile bulunmuştur. Küp dayanımlarından bulunan sonuçlar değerlendirilerek ortalama silindir basınç dayanımı hesaplanmıştır. Ortalama beton basınç dayanımı 26.03 MPa olarak tespit edilmiştir.

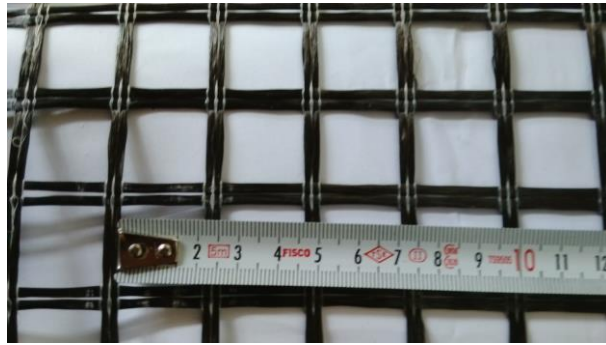
Çekme donatısı olarak kullanılan 16mm çaplı nervürlü donatının ortalama akma dayanım ve maksimum dayanım değerleri, sırasıyla, 679MPa ve 828MPa bulunmuştur.

Bazalt kumaş ile betonarme kirişin birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla tamir harcı (MasterEmaco S 488) kullanılmıştır. Kullanım kataloğundan alınmış olan MasterEmaco S 488 teknik özellikleri ise Çizelge 2.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.3 Tamir harcı özellikleri

Basınç Dayanımı (TS EN 12190)	1 gün	>25 N/mm ²
	7 gün	>50 N/mm ²
	28 gün	>70 N/mm ²
Eğilme Dayanımı (28 Gun) (TS EN 196)		>8,0 N/mm ²
Yapıma (Çekme) Dayanımı (TS EN 1542) (Betona) (28 Gun)		>2,0 N/mm ²
Elastisite Modülü		>20.000 N/mm ²
Kapiler Su Absorbsiyonu (TS EN 13057)		<0,5 kg.m ² .saat0,5
Uygulama Kalınlığı		Min. 10 mm Maks. 50 mm
Uygulanacak Zemin sıcaklığı		+5°C + 30°C
Servis Sıcaklığı		-20°C +400 °C
Kullanma Süresi(+20°C)		30 dak.
Üzerinde Yürünebilme Süresi (+20°C)		24 saat
Tam Kurlenme Süresi(+20°C)		28 gün

Kullanılan bazalt ızgara kumaşın kalınlığı 0,8~0,9mm, ağırlığı 303 g/m² ve ızgara aralıkları 25mm x 25mm şeklinde düzenlenmiştir. Bazalt kumaş özellikleri üretici firmadan alınmış olup, akma dayanımı 500MPa, çekme dayanımı 525MPa, göçme birim şekildeğiştirmesi %5 verilmiştir.



Şekil 2.2 25x25 bazalt ızgara kumaş

2.4 Güçlendirme Uygulaması

Bazalt ızgara kumaşın kiriş yüzeylerine yapıştırılma işlemine geçmeden önce, ilk olarak bazalt ızgara kumaş yapıştırılacak kiriş yüzeyleri temizlenmiş ve kiriş ile ızgara kumaş

arasındaki aderansın istenen düzeyde sağlanabilmesi için yüzeyler pürüzlendirilmiştir. Daha sonra yaklaşık 4mm kalınlığında tamir harcı mala yardımıyla sürülmüş, sonrasında basalt ızgara kumaşlar gergin U şeklinde kiriş yüzeyine sabitlenerek üzerine yaklaşık 2mm kalınlığında son kat tamir harcı uygulanmıştır. Böylece, U şeklindeki bazalt ızgara kumaş 6mm kalınlığındaki tamir harcının ortasında bulunması sağlanmıştır. Çift kat ızgara kumaş ile güçlendirme uygulaması yapılan kirişlerde, tek kat ızgara kumaşın sabitlenmesi sonrası üzerine 4mm kalınlığında tamir harcı uygulanmış ve 2. kat ızgara kumaş gerilerek sabitlenmiş, üzerine 2mm kalınlığında tamir harcı uygulanarak güçlendirme sonlandırılmıştır.



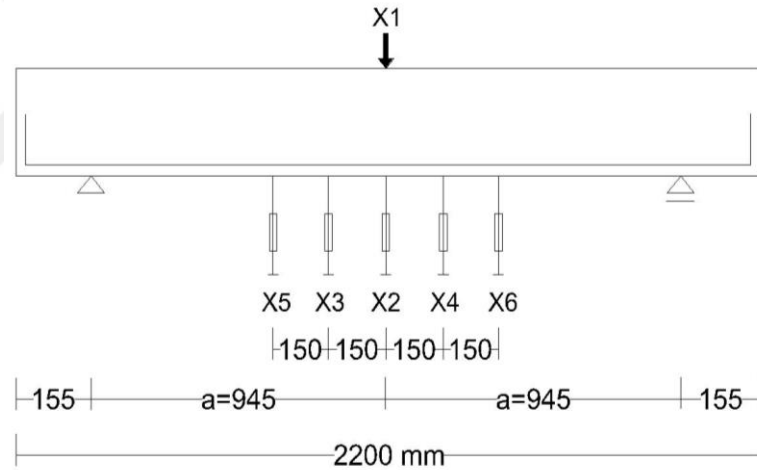
Şekil 2.3 Kirişe tamir harcı uygulama aşamaları

2.5 Deney Sistemi

Kirişlerin bazalt ızgara kumaşlar ile kaplanması ve sonrasında yapılan deneylerin tamamı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı laboratuvarında yapılmıştır. Betonarme kirişlerin davranışını tespit etmek amacıyla 800

kN kapasiteye sahip sistemde, yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılmış olup, yükleme hızı 0,50 mm/dakika uygulanmıştır. Kirişlerin bir ucu basit, bir ucu kayıcı mesnet alınmıştır. Tüm deneysel kirişlerin yükleme durumu ve mesnet koşulları aynıdır.

Yükleme esnasında kiriş açıklığındaki 6 adet düşey yerdeğiştirme ölçer (sehimler) PDT (potentiometric displacement transducer) yardımı ile ölçülmüş, alınan veriler kaydedilmiştir. Şekil 2.4’de deney düzeneği ve yerdeğiştirme ölçerlerin yerleri gösterilmiştir. Yük uygulama noktasındaki yerdeğiştirmelerin ölçüldüğü nokta “1”, kiriş açıklık ortasından 15cm sağ ve sol taraftaki yerdeğiştirmelerin ölçüldüğü noktalar “2” ve “3”, kiriş aıkluk ortasından 30cm sağ ve sol taraftaki yerdeğiştirmelerin ölçüldüğü noktalar “5” ve “6” olarak alınmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Deney düzeneği

DENEY SONUÇLARI VE TEMEL DEĞİŞKİMLERİN ETKİSİ

3.1 Deney Sonuçları

a/d değeri 2,5; 3,5; 4,5 ve 6,0 olan güçlendirilmiş etriyesiz betonarme kirişlerde yerdeğiştirme kontrollü yükleme yapılarak veriler kaydedilmiş; kirişlerin kırılma biçimleri ve yük-yerdeğiştirme eğrileri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.1.1 Güçlendirilmemiş (Referans) Kirişler

Referans C2.5R kirişi (Mazhari 2018 []), C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinin (Özgen 2018) [] deneysel sonuçları güçlendirmenin dayanıma katkısını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda (Mazhari 2018, Özgen 2018 []), C2.5R, C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinde, ani kesme kırılma oluşumu ile güç tükenmesi oluşumu gözlemlendiği ifade edilmiştir.

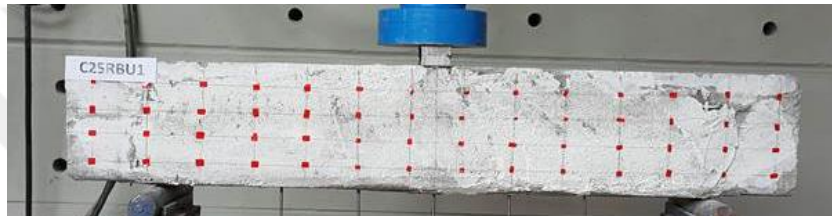
3.1.2 Güçlendirilmiş Kirişler

Kirişlerde çatlak oluşumları yerdeğiştirme artışı ile izlenmiş, hasar oluşumları değerlendirilmiştir. Değerlendirmede, TS500 (2000) ve ATC-38 (2000)'de kullanılabilme sınır durumu olarak belirlenebilecek çatlak genişliği değerleri alınmıştır. TS500 (2000)' e göre, yapı içi normal çevre koşulları altında en büyük çatlak genişliği sınırı 0.4mm verilmiştir. ATC-38 (2000)'de ise, çatlak oluşumunun belirgin olmaması "Hasarsız", kabuk betonunda sınırlı çatlak oluşumu ve ezilme gözlenmesi ise "Sınırlı hasar" durumu

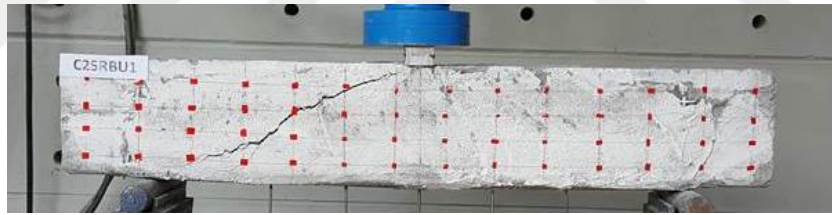
olarak belirtilmiştir. sözkonusu bu değerlere göre, Kirişlerdeki çatlak genişlikleri belirlenerek hasar durumları tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.1.2.1 C2.5RBU1 Kirişi

a/d değeri 2,5 olan tek kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C2.5RBU1 kirişinin, yükleme öncesi Şekil 3.1a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.1b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ω_{max} (0,4 mm) değerinin altında olduğu, yük artışı ile eğilme çatlaklarının kiriş açıklık ortasına doğru yöneldiği, güç tükenmesinin ani kesme kırılması şeklinde oluştuğu gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 3.1 Deney öncesi ve sonrası C2.5RBU1 kirişi görünümleri ((a)Yükleme başlamadan önce C2.5RBU1 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C2.5RBU1 kirişi ön yüzü)

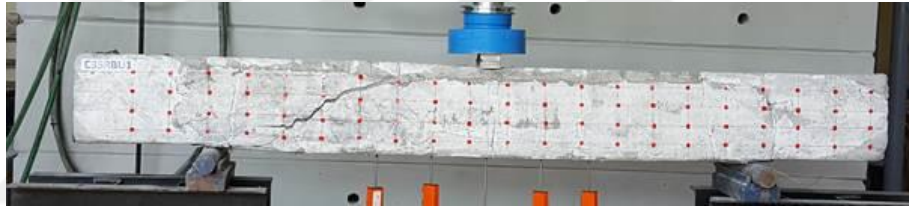
Güç tükenmesi oluşumu öncesi duruma kadar ki safhada, C2.5RBU1 kirişinin ATC-38 (2000)'de verilen çatlak oluşumunun belirgin olmaması, bir başka ifade ile "Hasarsız" durum kapsamında ifade edilebilir. Kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.

3.1.2.2 C3.5RBU1 Kirişi

a/d değeri 3,5 olan tek kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C3.5RBU1 kirişinin, yükleme öncesi Şekil 3.2a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.2b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ω_{max} (0,4 mm) değerinin altında olduğu, yük artışı ile eğilme çatlaklarının kiriş açıklık ortasına doğru yöneldiği, güç tükenmesinin ani kesme kırılması şeklinde olduğu gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 3.2 Deney öncesi ve sonrası C3.5RBU1 kirişi görünümleri ((a)Yükleme başlamadan önce C3.5RBU1 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C3.5RBU1 kirişi ön yüzü)

Güç tükenmesi oluşumu öncesi duruma kadar ki safhada, C3.5RBU1 kirişinin ATC-38 (2000)'de verilen çatlak oluşumunun belirgin olmaması, bir başka ifade ile "Hasarsız" durum kapsamında ifade edilebilir. Kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.

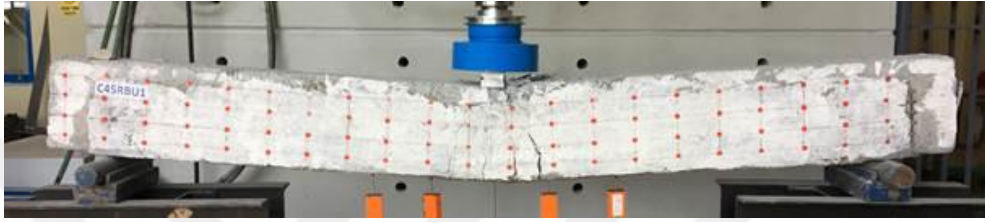
3.1.2.3 C4.5RBU1 Kirişi

a/d değeri 4,5 olan tek kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C4.5RBU1 kirişinin, yükleme öncesi Şekil 3.3a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.3b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ω_{max} (0,4 mm)

değerinin üstünde olduğu, güç tükenmesinin eğilme kırılması şeklinde olduğu gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 3.3 Deney öncesi ve sonrası C4.5RBU1 kirişi görünümleri ((a)Yüklemeye başlamadan önce C4.5RBU1 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C4.5RBU1 kirişi ön yüzü)

Güç tükenmesi oluşumu öncesi duruma kadar ki safhada, C4.5RBU1 kirişinin ATC-38 (2000)'de verilen çatlak oluşumunun belirgin olmaması, bir başka ifade ile "Hasarsız" durum kapsamında ifade edilebilir. Kirişte eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.

3.1.2.4 C6.0RBU1 Kirişi

a/d değeri 640 olan tek kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C6.0RBU1 kirişinin, yüklemeye öncesi Şekil 3.4a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.4b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ω_{max} (0,4 mm) değerinin üstünde olduğu, güç tükenmesinin eğilme kırılması şeklinde olduğu gözlenmiştir.



a)



b)

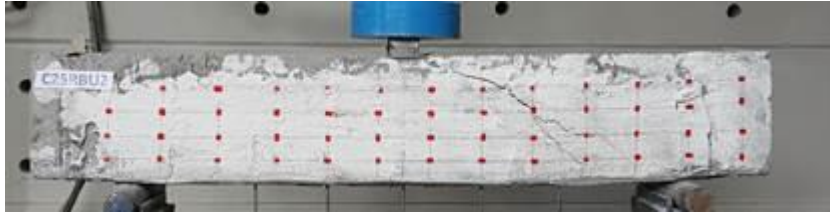
Şekil 3.4 Deney öncesi ve sonrası C6.0RBU1 kirişi görünümleri ((a)Yükleme başlamadan önce C6.0RBU1 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C6.0RBU1 kirişi ön yüzü)

3.1.2.5 C2.5RBU2 Kirişi

a/d değeri 2,5 olan çift kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C2.5RBU2 kirişinin, yükleme öncesi Şekil 3.5a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.5b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ($\omega_{max} \leq 0,4$ mm) sınır değerinin altında olduğu, ATC-38 (2000)'de verilen çatlak oluşumunun belirgin olmaması durumuna karşılık olarak kiriş "Hasarsız" ifade edilir. Kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 3.5 Deney öncesi ve sonrası C2.5RBU2 kirişi görünümleri ((a)Yükleme başlamadan önce C2.5RBU2 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C2.5RBU2 kirişi ön yüzü)

3.1.2.6 C3.5RBU2 Kirişi

a/d değeri 3,5 olan çift kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C3.5RBU2 kirişinin, yükleme öncesi Şekil 3.6a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.6b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ($\omega_{max} \leq 0,4$ mm) sınır değerinin altında olduğu, ATC-38 (2000)'de verilen çatlak oluşumunun belirgin olmaması durumuna karşılık olarak kiriş "Hasarsız" ifade edilir. Kirişte ani kesme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



a)

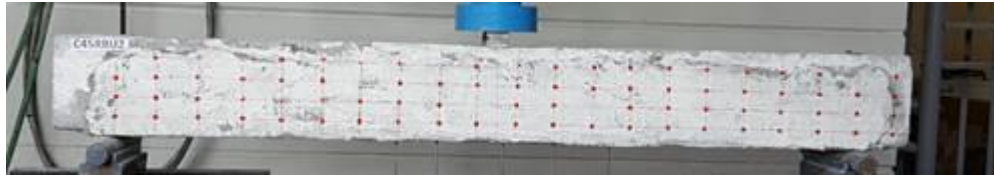


b)

Şekil 3.6 Deney öncesi ve sonrası C3.5RBU2 kirişi görünümleri ((a)Yüklemeye başlamadan önce C3.5RBU2 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C3.5RBU2 kirişi ön yüzü)

3.1.2.7 C4.5RBU2 Kirişi

a/d değeri 4,5 olan çift kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C4.5RBU2 kirişinin, yüklemeye öncesi Şekil 3.7a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.7b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ($w_{max} \leq 0,4$ mm) sınır değerini aştığı görülmüştür. Kirişte kesme-eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



a)

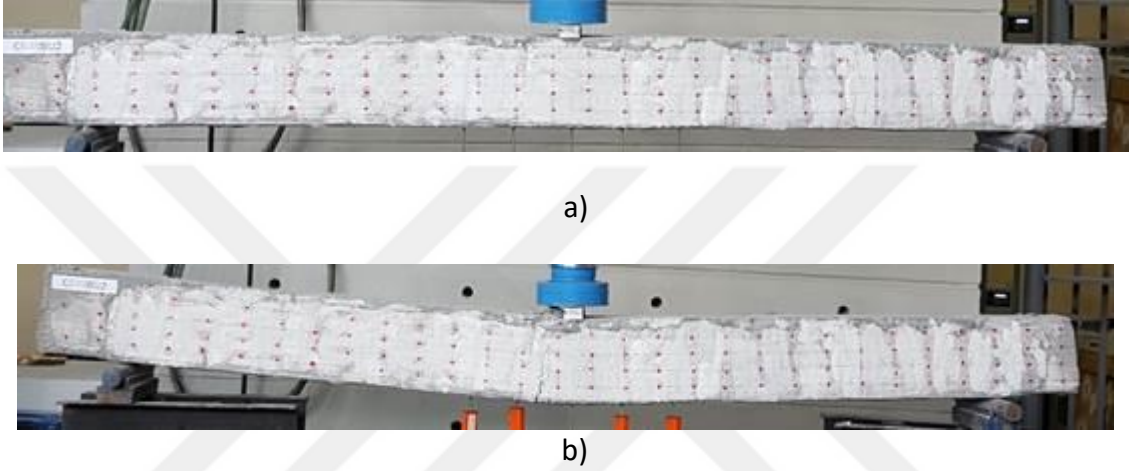


b)

Şekil 3.7 Deney öncesi ve sonrası C4.5RBU2 kirişi görünümleri ((a)Yüklemeye başlamadan önce C4.5RBU2 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C4.5RBU2 kirişi ön yüzü)

3.1.2.8 C6.0RBU2 Kirişi

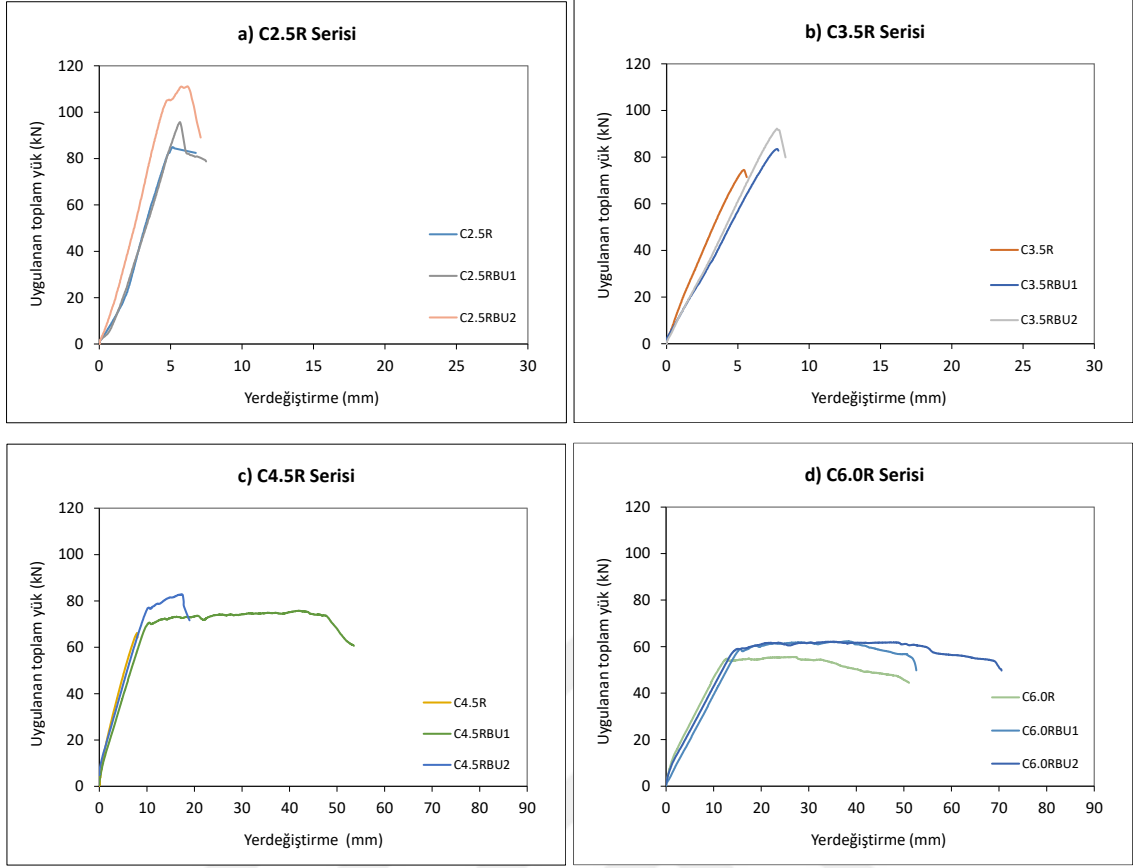
a/d değeri 6,0 olan çift kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen etriyesiz C6.0RBU2 kirişinin, yükleme öncesi Şekil 3.8a'da, güç tükenmesi oluşumu sonrası çatlak oluşumları ise Şekil 3.8b'de gösterilmiştir. Güç tükenmesi oluşumu öncesine kadar yerdeğiştirme artışlarında, eğilme çatlaklarının TS500 (2000)'de verilen ($w_{max} \leq 0,4$ mm) sınır değerini aştığı görülmüştür. Kirişte eğilme kırılması ile güç tükenmesi oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 3.8 Deney öncesi ve sonrası C6.0RBU2 kirişi görünümleri ((a)Yükleme başlamadan önce C6.0RBU2 kirişi ön yüzü, (b) Güç tükenmesine oluşumu sonrası C6.0RBU2 kirişi ön yüzü)

3.2 Yük- Yerdeğiştirme Eğrileri

Kiriş kesme açıklığının etkili yüksekliğine oranı 2,5; 3,5; 4,5 ve 6,0 olan güçlendirilmeyen, tek kat veya çift kat bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen betonarme kirişlerin yük-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 3.9'de karşılaştırılmıştır.



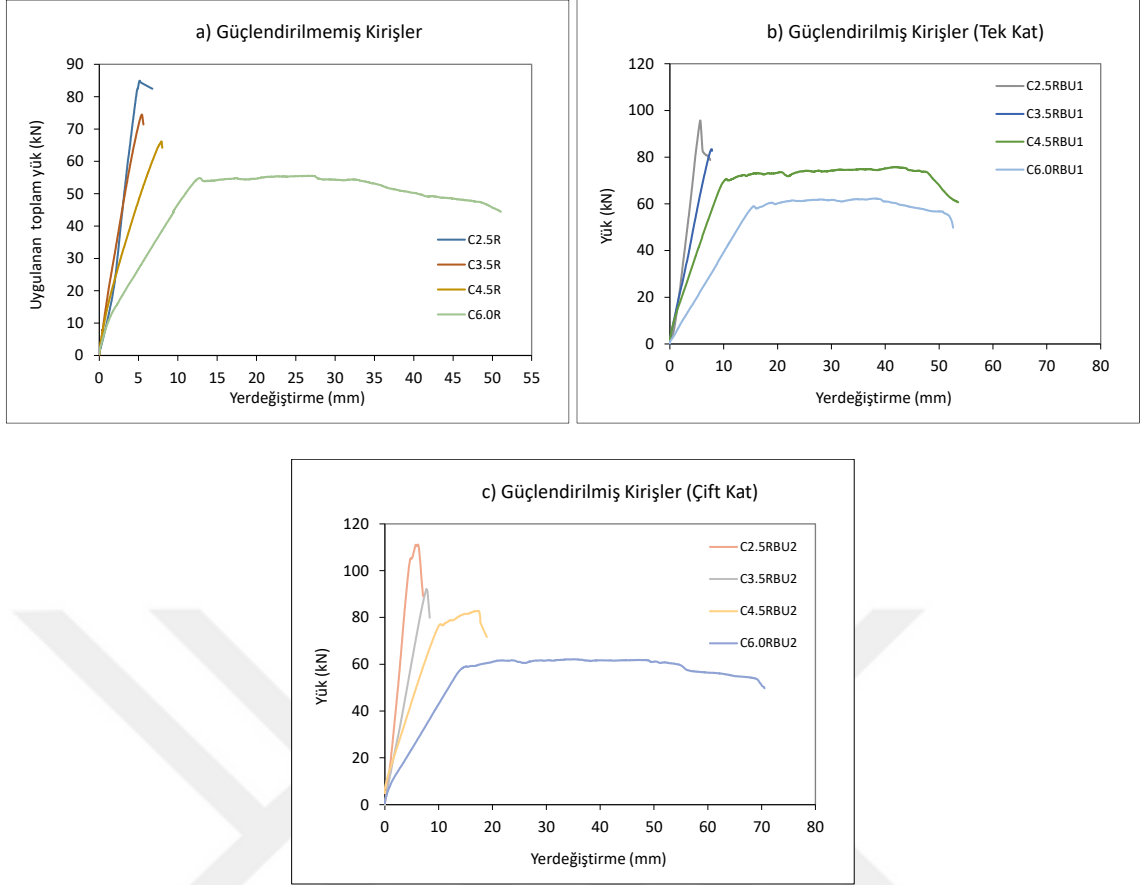
Şekil 3.9 Kirişlerin yük- yerdeğiştirme eğrileri

Kirişlerin 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-uerdeğiştirme eğrileri altındaki alanın bulunması ile elde edilen kirişlerin enerji yutma kapasitesi (D_e) Çizelge 3.1'de 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	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
C2.5RBU1	95.73	5.66	76.58	7.48	1.32	0,3984
C3.5RBU1	83.41	7.74	66.73	7.84	1.01	0,3484
C4.5RBU1	75.77	42.26	60.61	53.54	1.27	3,5547
C6.0RBU1	62.29	38.14	49.83	52.56	1.38	2,7020
C2.5RBU2	111.16	6.18	88.93	7.1	1.15	0,4887
C3.5RBU2	92.19	7.74	73.75	8.34	1.08	0,4169
C4.5RBU2	82.83	17.38	66.26	18.96	1.09	1,1469
C6.0RBU2	62.15	35.14	49.72	70.52	2.01	3,8086

Güçlendirilmemiş (Mazhari (2018), Özgen (2018)), ve bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen kirişlerin kendi içlerinde yük-yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Yük-Yerdeğiştirme Eğrilerinin Karşılaştırılması

DeneySEL sonuçlar incelendiğinde, bazalt 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 C4.5R kirişinin güçlendirilmesinde gerçekleştiği görülmüştür.

3.3 Güçlendirme Biçimi Etkisi

C2.5R, C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinin tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirildiğinde maksimum yük taşıma kapasitelerinde, sırasıyla, %13, %12, %14 ve %12 artış gözlenmiştir. C2.5R, C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinin çift katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirildiğinde maksimum yük taşıma kapasitelerinde, sırasıyla, %13, %12, %14 ve %12 artış gözlenmiştir.

Tek katlı (C2.5RBU1 C3.5RBU1 ve C4.5RBU1) ve çift katlı (C2.5RBU2, C3.5RBU2 ve C4.5RBU2) bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen kirişler karşılaştırıldığında, maksimum yük taşıma kapasitelerinde, sırasıyla, %16, %11 ve %9 artış gözlenmiştir.

Eğilme kırılması gözlenen C6.0R kirişinde, tek katlı (C6.0RBU1) ve çift katlı (C6.0RBU2) bazalt ızgara kumaş ile güçlendirme sonrası kat sayısı artışının yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olmadığı görülmüştür.

C2.5R ve C3.5R kirişlerinin tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirildiğinde referans kirişlerin göçme anındaki yerdeğiştirmelerine göre, sırasıyla, %11 ve %40 artış gözlenmiştir. Eğilme kırılması oluşan C6.0R kirişinde tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirme sonrası (C6.0RBU1) kiriş yerdeğiştirme kapasitesinde yaklaşık %3 artış görülmüştür. C4.5R kirişinde kesme kırılması oluşumu gözlenmiş, tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirme sonrası (C4.5RBU1) ise eğilme kırılması oluşumu gözlenmiştir. Bu nedenle kiriş yerdeğiştirme kapasitesinde yaklaşık 6 kat artış görülmüştür. Eğilme kırılması oluşan C6.0R, C6.0RBU1 ve C6.0RBU2 kirişlerinin göçme anındaki yerdeğiştirmeleri karşılaştırıldığında, güçlendirmenin yerdeğiştirme kapasitesine önemli katkısının olmadığı ifade edilebilir.

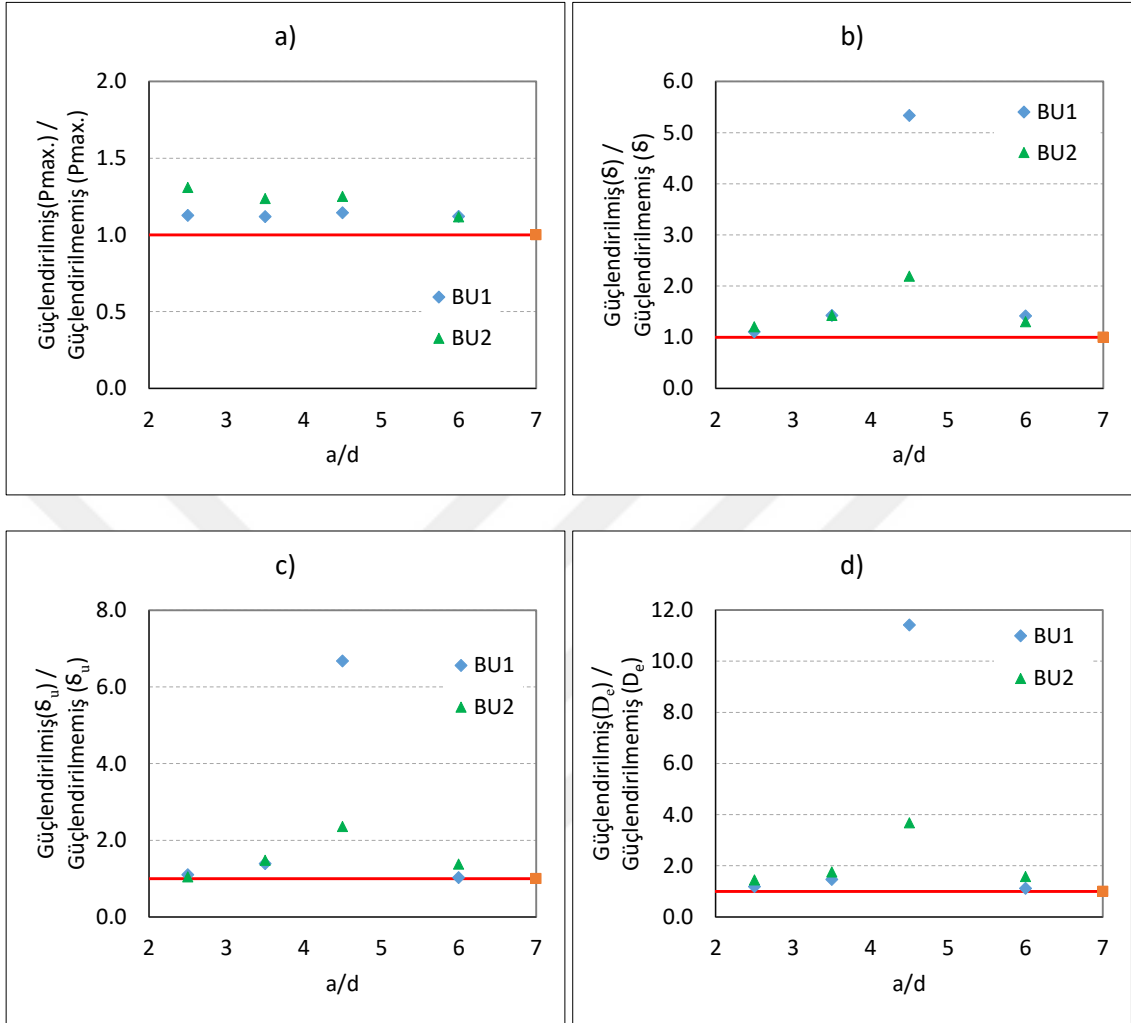
3.4 a/d Etkisi

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 değerlerinin a/d ile değişimleri Şekil 3.11’de verilmiştir.

a/d oranının etkisi incelendiğinde, tek katlı (C2.5RBU1 C3.5RBU1 ve C4.5RBU1)ve çift katlı (C2.5RBU2 C3.5RBU2 ve C4.5RBU2) bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilmiş kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitelerinde referans kirişlere göre artışın %12 ile %14 arasında değiştiği gözlenmiştir. Eğilme kırılması gözlenen C6.0R kirişinde, tek katlı (C6.0RBU1) ve çift katlı (C6.0RBU2) bazalt ızgara kumaş ile güçlendirme sonrası kat sayısı artışının yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olmadığı görülmüştür.

C4.5RBU1 kirişi hariç güçlendirilmiş kirişlerin göçme anındaki yerdeğiştirmelerinin ve enerji yutma kapasitelerinin a/d artışı ile artış eğilimi gösterdiği görülmüştür. C6.0R kirişinin tek katlı ve çift katlı güçlendirilmesi maksimum yük taşıma kapasiteleri, maksimum yüke karşılık gelen yerdeğiştirmeleri (δ), göçme anındaki yerdeğiştirmeleri

(δ_u) ve enerji yutma kapasitelerinde (D_e) önemli bir değişim omadıü görülmüştür (Şekil 3.11).



Şekil3..11 Güçlendirmede a/d etkisi

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek yönlü yerdeğiştirme kontrollü artan yük altında, a/d değerleri 2,5; 3,5; 4,5 ve 6,0 olan bazalt lifli çimento esaslı kompozit malzeme kullanılarak yapılan güçlendirmenin kiriş dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

- C2.5R, C3.5R ve C4.5R referans kirişlerinde kesme kırılması ile kırıldığı. C6.0R kirişinin ise eğilme kırılması ile kırıldığı gözlemlenmiştir (Mazhari 2018, Özgen 2018)). C2.5RBU1, C2.5RBU2, C3.5RBU1, C3.5RBU2 kirişlerinde kesme kırılması, C4.5RBU2 kirişinde kesme-eğilme kırılması, C4.5RBU1, C4.5RBU2 ve C6.0RBU2 kirişlerinde ise eğilme kırılması oluşumları gözlenmiştir.
- C2.5R, C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinin tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirildiğinde maksimum yük taşıma kapasitelerinde, sırasıyla, %13, %12, %14 ve %12 artış gözlenmiştir. C2.5R, C3.5R, C4.5R ve C6.0R kirişlerinin çift katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirildiğinde referans kirişe göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde, sırasıyla, %13, %12, %14 ve %12 artış gözlenmiştir.
- Tek katlı (C2.5RBU1 C3.5RBU1 ve C4.5RBU1) ve çift katlı (C2.5RBU2, C3.5RBU2 ve C4.5RBU2) bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilen kirişler karşılaştırıldığında, maksimum yük taşıma kapasitelerinde, sırasıyla, %16, %11 ve %9 artış gözlenmiştir. Eğilme kırılması gözlenen C6.0R kirişinde, tek katlı (C6.0RBU1) ve çift katlı (C6.0RBU2) bazalt ızgara kumaş ile güçlendirme sonrası

ızgara kumaş kat sayısı artışının yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olmadığı görülmüştür.

- C2.5R ve C3.5R kirişlerinin tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirildiğinde referans kirişlerin göçme anındaki yerdeğıştirmelerine göre, sırasıyla, %11 ve %40 artış gözlenmiştir. Eğilme kırılması oluşan C6.0R kirişinde tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirme sonrası (C6.0RBU1) kiriş yerdeğıştirme kapasitesinde yaklaşık %3 artış tespit edilmiştir. C4.5R kirişinde kesme kırılması oluşumu gözlenmiş, tek katlı bazalt lifli polimer kullanarak güçlendirme sonrası (C4.5RBU1) ise eğilme kırılması oluşumu gözlenmiştir. Bu nedenle kiriş yerdeğıştirme kapasitesinde yaklaşık 6 kat artış görülmüştür. Eğilme kırılması oluşan C6.0R, C6.0RBU1 ve C6.0RBU2 kirişlerinin göçme anındaki yerdeğıştirmeleri karşılaştırıldığında, güçlendirmenin yerdeğıştirme kapasitesine önemli katkısının olmadığı ifade edilebilir.
- a/d oranının etkisi incelendiğinde, tek katlı (C2.5RBU1 C3.5RBU1 ve C4.5RBU1)ve çift katlı (C2.5RBU2 C3.5RBU2 ve C4.5RBU2) bazalt lifli ızgara kumaş ile güçlendirilmiş kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitelerinde referans kirişlere göre artışın %12 ile %14 arasında değıştiğı gözlenmiştir. Eğilme kırılması gözlenen C6.0R kirişinde, tek katlı (C6.0RBU1) ve çift katlı (C6.0RBU2) bazalt ızgara kumaş ile güçlendirme sonrası kat sayısı artışının yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olmadığı görülmüştür.
- C4.5RBU1 kirişi hariç güçlendirilmiş kirişlerin göçme anındaki yerdeğıştirmelerinin ve enerji yutma kapasitelerinin a/d artışı ile artış eğilimi gösterdiği görülmüştür. C6.0R kirişinin tek katlı ve çift katlı güçlendirilmesi maksimum yük taşıma kapasiteleri, maksimum yüke karşılık gelen yerdeğıştirmeleri, göçme anındaki yerdeğıştirmeleri ve enerji yutma kapasitelerinde önemli bir değışim olmadığı tespit edilmiştir.
- Betonarme kirişlerde, uygun güçlendirme yöntemi önerebilmek için, güçlendirme biçimi, malzemesi ve kiriş boyutları değıştirelerek ve daha fazla deney yapılarak kirişlerin rijitlik ve sünekliklerinin karşılaştırılması ile karar verilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tetta, Z. C., and Bournas, D. A. (2016). "TRM vs FRP jacketing in shear strengthening of concrete members subjected to high temperatures". *Composites Part B: Engineering*, 106, 190-205.
- [2] Verbruggen, S., Tysmans, T., and Wastiels, J. (2014). "TRC or CFRP strengthening for reinforced concrete beams: An experimental study of the cracking behaviour". *Engineering structures*, 77, 49-56.
- [3] Wu, C., and Li, V. C. (2017). "Thermal-mechanical behaviors of CFRP-ECC hybrid under elevated temperatures". *Composites Part B: Engineering*, 110, 255-266.
- [4] Raoof, S. M., Koutas, L. N., and 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.
- [5] Tetta, Z. C., Koutas, L. N., and Bournas, D. A. (2015). "Textile-reinforced mortar (TRM) versus fiber-reinforced polymers (FRP) in shear strengthening of concrete beams". *Composites Part B: Engineering*, 77, 338-348.
- [6] Di Ludovico, M., Prota, A., and Manfredi, G. (2010). "Structural upgrade using basalt fibers for concrete confinement. *Journal of composites for construction*". 14(5), 541-552.
- [7] Tetta, Z. C., Koutas, L. N., and 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: Engineering*, 137, 184-201.

- [8] Donnini, J., and Corinaldesi, V. (2017). "Mechanical characterization of different FRCM systems for structural reinforcement". *Construction and Building Materials*, 145, 565-575.
- [9] Yang, X., Gao, W. Y., Dai, J. G., Lu, Z. D., and Yu, K. Q. (2018). "Flexural strengthening of RC beams with CFRP grid-reinforced ECC matrix". *Composite Structures*, 189, 9-26.
- [10] Zheng, Y. Z., Wang, W. W., and Brigham, J. C. (2016). "Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened with a composite reinforcement layer: BFRP grid and ECC". *Construction and Building Materials*, 115, 424-437.
- [11] Papanicolaou, C., Triantafillou, T., and Lekka, M. (2011). "Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels". *Construction and Building Materials*, 25(2), 504-514.
- [12] Escrig, C., Gil, L., and 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.
- [13] Escrig, C., Gil, L., Bernat-Maso, E., and 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.
- [14] Younis, A., Ebead, U., and Shrestha, K. C. (2017). "Different FRCM systems for shear-strengthening of reinforced concrete beams". *Construction and Building Materials*, 153, 514-526.
- [15] Raoof, S. M., and Bournas, D. A. (2017). "Bond between TRM versus FRP composites and concrete at high temperatures". *Composites Part B: Engineering*, 127, 150-165.
- [17] Keskin, R. S. O., Arslan, G., and Sengun, K. (2017). "Influence of CFRP on the shear strength of RC and SFRC beams". *Construction and Building Materials*, 153, 16- 24.
- [18] Mazhari S. Z., (2018). "Etriyesiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı". Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Özgen U., (2018). "Etriyesiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Eğilme Dayanımı". Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muzaffer ÇEVİK
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.07.1993 - İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : muzaffercevik07@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bilimleri	Küçükçekmece Anadolu Lisesi	2011

YAYINLARI

Bildiri

1- ÇEVİK M., ve ARSLAN G. (2019) "External U-wrapping of RC beams with basalt fibre reinforced cement mortar" ICOCEM Internatinal Conference on Civil and Environmental Geology and Mining Engineering, 20-22 April 2019, ISTANBUL.

