



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



### Beton Basınç ve Eğilme Dayanımlarına CFRP'nin Etkisi

#### The Effect of CFRP on Concrete Compressive and Bending Strength

Turgut KAYA<sup>1\*</sup>, Murat ARAS<sup>1</sup>, Özlem ÇALIŞKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Bilecik, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Turgut KAYA, [turgut.kaya@ksu.edu.tr](mailto:turgut.kaya@ksu.edu.tr)

#### ÖZET

Yapısal elemanların Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) malzemelerle güçlendirilmesi kolay ve hızlı olmasından dolayı etkin bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Betonarme kirişlerin çekme yüzeylerine farklı malzemeler ile güçlendirme uygulamaları yaygın olarak yapılmaktadır. Bu deneysel çalışmada, 28 günlük basınç dayanım değeri 30 MPa olan 150x150x150 mm'lik küp ve 100x100x500mm'lik beton kirişler üretilmiştir. Üretilen küp beton numunelerinin yan yüzeylerine tek doğrultulu, farklı şekillerde yapıştırılan CFRP şeritler ile 6 tip numune oluşturulmuştur. Ayrıca kirişlerin çekme yüzeylerinin merkezlerine CFRP 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. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı, Güçlendirme, CFRP.

#### ABSTRACT

Strengthening structural members with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) is considered an effective method because of easy and fast technique. Reinforcement implements of reinforced concrete beams to the tensile faces are use different materials widely. In this experimental study, 150x150x150 mm concrete cube and 100x100x500 mm concrete beam specimens were produced with compressive strength of 30 MPa for 28 days. Six types of specimens were produced different adhering CFRP strips to the side surfaces of produced cube concrete samples in one direction. In addition, beams were strengthened with 50-75 mm widths and 50, 150, 300 and 450 mm lengths CFRP strips by using Sikadur 330 adhesive. The cube specimens and beam specimens were subjected to the pressure test and the four point bending test respectively. The obtained results are compared with each other.

**Keywords:** Concrete, Compressive Strength, Bending Strength, Strengthening, CFRP.

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapılar deprem, artan kesit zorları ve çevresel etkiler altında hasara uğramaktadır. Yeterli dayanım, rijitlik ve sünekliği sağlamayan yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. FRP sargılama ile basınç ve eğilme dayanımlarının artırılması, son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte sıkça başvurulan yöntemler arasına girmiştir. Bu yöntemle, kiriş sünekliğinin ve kesme dayanımının artırılmasında, FRP ile sargı kullanılmaktadır. Lifli Polimer dokumalar kesmeye karşı yaygın olarak kullanılırken, lifli şeritler halinde, kirişin alt bölgesine uygulanarak, kirişin eğilme kapasitelerinin artırılması için tercih edilmektedir. Literatürde konu ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır.

Betonarme kirişlerin eğilme etkisi sebebiyle çekme gerilmelerinin meydana geldiği alt yüzeylerde ve kesme gerilmelerinin meydana geldiği L/4 mesafedeki yan yüzeylerde CFRP tekstilleri ile güçlendirme amacıyla sarılma yapılmıştır. Güçlendirme sonrasında kirişlerde %60 kesme kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. 45°'lik ve 90°'lik CFRP uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir (Dündar, 2008). Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) kullanarak yeni güçlendirme yöntemleri geliştirmiş ve eksik detaylandırılmış numuneler üzerinde etkilerini incelemiştir. Test sonuçları, güçlendirilen numunenin yatay yük kapasitesinde ve dolayısıyla enerji tüketme kapasitelerinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir (Kaya, 2010). Özyüksel yaptığı çalışmada çelik levha ve CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilme davranışlarını araştırmış ve bu iki güçlendirme yönteminin sonuçlarını birbiriyle karşılaştırmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre güçlendirme işleminin kirişlerde dayanımı arttırdığı görülmüştür. CFRP ile güçlendirme çelik levha ile güçlendirmeye nazaran daha başarılı bulunmuştur. (Özyüksel, 2012). Yüksel, yaptığı çalışmada kesmeye karşı dış kelepçeler ve karbon lifli polimerler ile güçlendirilen hasarlı kirişlerin dayanım ve davranışlarının incelenmesi ve güçlendirme yönteminin etkinliği ile oluşan göçme mekanizmalarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda, kelepçe kullanılarak güçlendirilen betonarme kirişin yeterli davranış sergilediği görülmüştür (Yüksel, 2014).

Bu deneysel çalışmada, beton basınç ve kiriş eğilme dayanımlarının farklı şekillerde bölgesel olarak artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, epoksi yardımı ile farklı şekillerde CFRP şeritleri numunelere uygulanması ile güçlendirilen elemanların dayanım artışları incelenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzemeler

Beton basınç ve eğilme dayanımına CFRP etkisinin araştırıldığı bu deneysel çalışmada, beton küp ve kirişlerin üretilmesinde CEM I 42.5 R Portland çimentosu, kırma taş agregası, mineral katkı olarak uçucu kül, kimyasal katkı olarak akışkanlaştırıcı, beton karma ve kür su olarak ta Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzeme ve karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Beton Karışım Oranları

	Malzemeler	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )
Agrega	0-4 mm	950
	4-11 mm	260
	11-22 mm	530
	<b>CEM I 42.5 R</b>	315
	<b>Su</b>	185
	<b>Uçucu Kül</b>	40
	<b>Akışkanlaştırıcı</b>	2

Güçlendirilen numunelerde Şekil 1’de verilen Sikadur 330 çift bileşenli epoksi yapıştırıcısı kullanılmıştır.

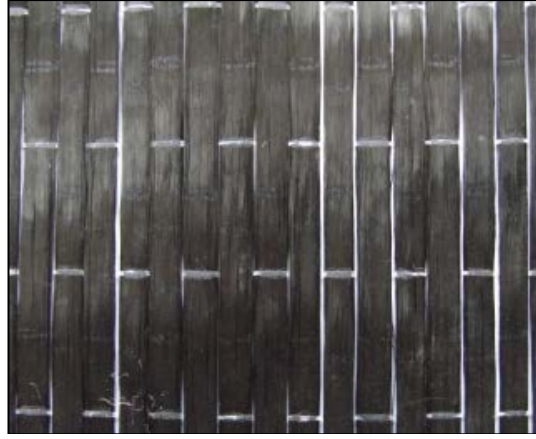


**Şekil 1.** Kullanılan Epoksi Yapıştırıcı

Güçlendirmede kullanılan Sika Wrap 230c CFRP malzemesine ve yapıştırıcıya ait teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. CFRP şerit örneği Şekil 2’de görülmektedir.

**Tablo 2.** CFRP ve Epoksi Teknik Özellikleri (Sika, 2006).

	CFRP Özellikleri	Sikadur 330
<b>Birim Ağırlık</b>	230 ±10 gr/m <sup>2</sup>	1.31 kg/l (+23C’de)
<b>Kopmadaki Uzama</b>	% 1.8	%0.9 (+23C’de 7 Günlük)
<b>Lif Yapısı</b>	%99 ana doğrultuda, %1 destekleyici doğrultuda lif	İki bileşenli epoksi reçinesi
<b>Çekme Dayanımı</b>	4300 MPa	30 MPa (+23 C’ de 7 günlük )
<b>Elastisite Modülü</b>	234000 MPa	Eğilme: 3800 N/mm <sup>2</sup> Çekme: 4500N/mm <sup>2</sup>
<b>Kalınlık</b>	0,131 mm	
<b>Karışım</b>		A : B Bileşeni = 4 : 1 ağırlıkça

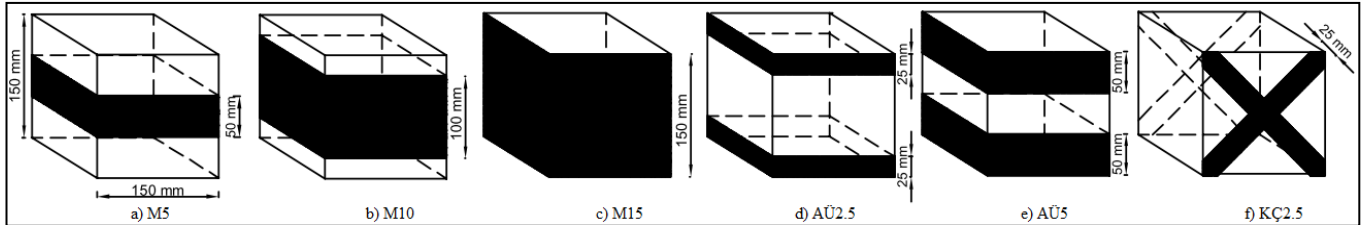


Şekil 2. Kullanılan CFRP Örneği

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Beton Basınç Dayanımı

Deneyel çalışmada 150x150x150mm'lik beton numuneleri kullanılmıştır. Küp numunelerin yüzeylerine uygulanan yük doğrultusuna dik olarak merkezde 50, 100 ve 150 mm olacak şekillerde tek katlı ve 50 mm bindirmeli CFRP malzemeleri epoksi ile yapıştırılmıştır. Bu şekilde kaplanan numuneler M5, M10 ve M15, alt ve üst kısımlarda 25-50 mm ile kaplanan numuneler AÜ2.5, AÜ5 ve karşılıklı iki yüzeye çapraz olarak 25 mm uygulanan şeride ise KÇ2.5 olarak kodlamalar yapılmıştır. Epoksi yapıştırıcısının hazırlanmasında %20 ve %80 olacak şekilde iki bileşen karıştırılıp spatula yardımı ile önceden belirlenen alanlar içinde beton numunelere uygulanmıştır. Beton numunelerine yapıştırıcı sürüldükten sonra hazırlanan karbon elyaf şeritleri yapıştırılıp 7 gün kür için laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Şekil 3'te güçlendirilen numunelere ait örnekler verilmiştir.



Şekil 3. Güçlendirilen Örnek Numuneler

Referans beton numuneleri ve CFRP ile güçlendirilen numuneler Şekil 4'te verilen 2000 kN kapasiteli tek eksenli beton basınç presinde TS 12390-3, (2010)'e uygun olarak deneye tabii tutulmuşlardır.



Şekil 4. Beton Basınç Presi

### 2.2.2. Kiriş Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımına karşı güçlendirilen numune üretimleri Şekil 5'te verilmiştir. Kalıplara taze beton döküldükten 24 saat sonra numuneler kalıplardan alınıp kür havuzunda 28 gün bekletilmiştir. Kür işleminin sonunda havuzdan çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında deney gününe kadar bekletilmiştir.



Şekil 5. Kiriş Numunelerinin Hazırlanması

Kür işlemleri tamamlanan numuneler Şekil 6'da görüldüğü gibi CFRP şeritleri ile güçlendirilmiştir. Kiriş numunelerinin yüzeyleri temizlendikten sonra basınç numunelerinde olduğu gibi epoksi yapıştırıcısının hazırlanmasında %20 ve %80 olacak şekilde iki bileşen karıştırılıp spatula yardımı ile önceden belirlenen alanlar içinde beton numunelere uygulanmıştır. Beton numunelerine yapıştırıcı sürüldükten sonra hazırlanan karbon elyaf şeritleri yapıştırılıp 7 gün kür için laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Numune Kodu	CFRP Ölçüleri(mm)	Numune Alt Yüzeyleri
1	-	
2	50x50	
3	50x150	
4	50x300	
5	50x450	
6	75x50	
7	75x150	
8	75x300	
9	75x450	

Şekil 6. CFRP'nin Kirişlere Uygulama Şekli

Hazırlanan epoksi ve CFRP malzemeleri beton numunesine uygulanmıştır. Güçlendirilen kirişlere ait örnekler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Güçlendirilen Kiriş Örnekleri

Deneyisel çalışmada üretilen referans ve CFRP ile güçlendirilen numuneler Şekil 8’de verilen kiriş eğilme cihazında TS 12390-5, (2010)’e uygun olarak deney tabii tutulmuşlardır.



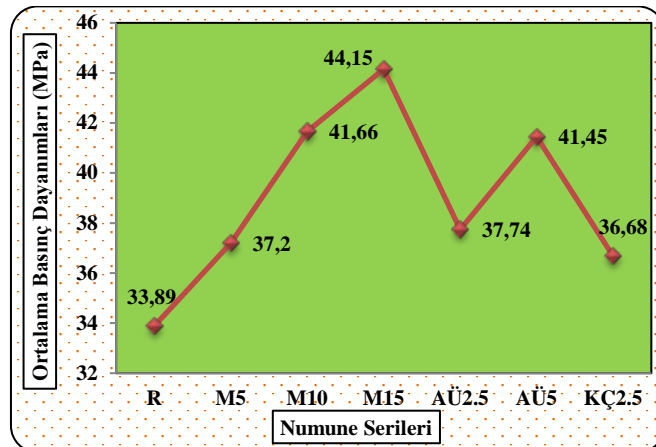
Şekil 8. Kiriş Eğilme Cihazı

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Beton Basınç Dayanımı Bulguları

Beton basınç dayanımına CFRP etkisinin araştırıldığı bu deneysel çalışmadan elde edilen ortalama basınç dayanım değerleri Şekil 9’da verilmiştir. Şekil incelendiğinde en düşük ve en yüksek dayanım değerleri sırası ile referans ve M15 numunelerinden 33,89 ve 44,15 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. M5, AÜ2,5 ve M10, AÜ5 numunelerinin basınç dayanım değerleri birbirilerine yakın oldukları görülmüştür. Bu durumun CFRP uygulama miktarının aynı olması durumunda farklı mahallerde olsa bile yaklaşık aynı dayanım değerlerinde dayanıma katkı sağladığını göstermektedir.

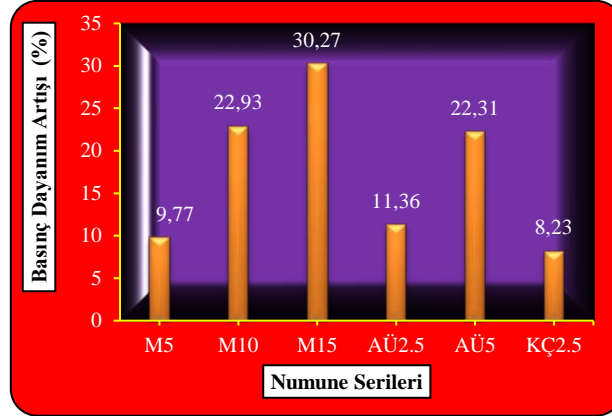
Karbon elyaf ile silindir beton numunelerinin güçlendirildiği bilimsel çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde; güçlendirilen numunelerin basınç dayanım değerlerinde %25 oranında ve sünekliliğinde artış olduğunu belirtmişlerdir (Veysel, K. ve Karaşın, H., 2014).



Şekil 9. Basınç Dayanım Değerleri

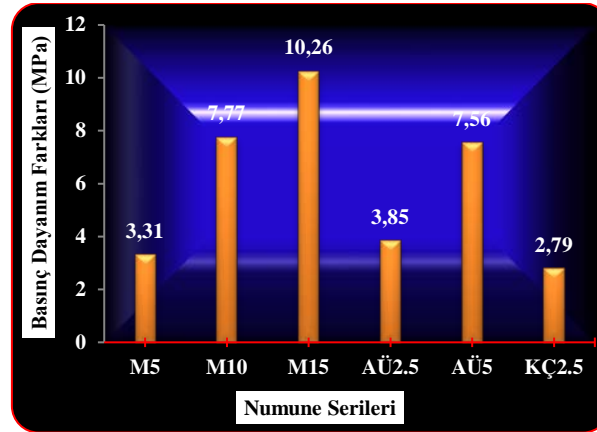
CFRP ile sarılan serilerden elde edilen dayanım değerlerinin referans değere oranla yüzde artışları Şekil 10'da verilmiştir. En düşük ve en yüksek değerler sırasıyla KÇ2.5 ve M15 serilerinden elde edilmiştir.

M15 serisinin çevresel olarak tam kaplı ve 50 mm lik bindirme yapılması durumunda betonun basınç dayanımında referansa oranla %30.27 daha yüksek değer elde edildiği görülmektedir. KÇ2.5 serisinde ise %8.23 daha yüksek değer elde edilmiştir. KÇ2.5 serisinde kullanılan CFRP miktarı yaklaşık 15 cm<sup>2</sup> ile en düşük güçlendirme serisidir.



Şekil 10. Güçlendirilen Numunelerin Dayanım Artışları (%)

Çevresel olarak güçlendirilen numunelerin minimum %9.77 ve maksimum %30.27 dayanım artışları elde edilmiştir. Şekil 11'de güçlendirilen numunelerin dayanım değerleri ile referans dayanımı arasındaki farklar görülmektedir.



Şekil 11. Dayanım Farkları (MPa)

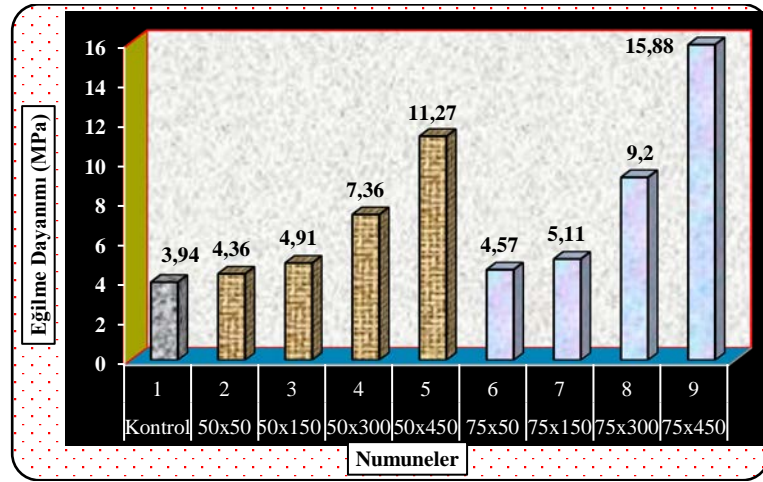
Numunelerin dayanım farkları incelendiğinde M15 serisinin referans numunesine göre 10.26 MPa dayanım artışı sağladığı gibi betonun ani olarak göçmesini engelleyeceği deneyler sonrası kırılan numunelerden anlaşılmaktadır. Şekil 12'de basınç dayanımı sonrası numunelerin son durumlarına ait birer numune görülmektedir. Özellikle M15, M10 ve AÜ5 numunelerinin deney sonrası en az hasar gören numuneler olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Basınç Deneyi Sonrası Numune Durumları

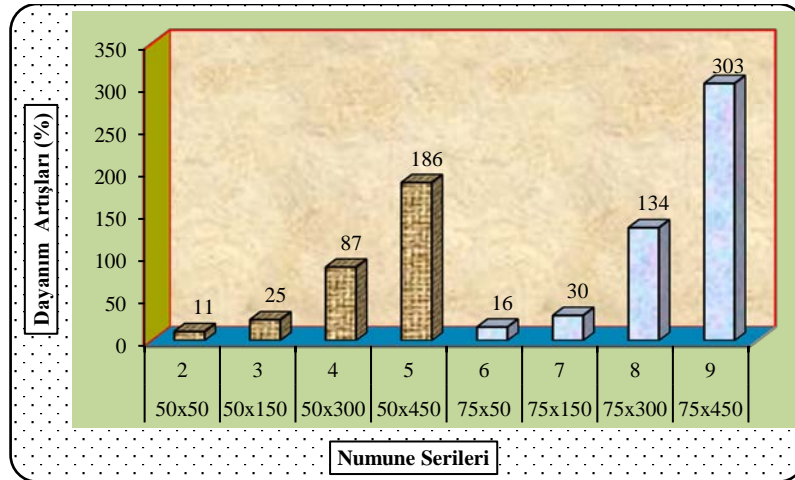
### 3.2. Kiriş Eğilme Dayanımı Bulguları

Çalışmadan elde edilen eğilme dayanım değerleri Şekil 13'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde en düşük ve en yüksek eğilme dayanımları sırası ile kontrol ve 9 nolu 75x450mm uzunluğunda uygulanan CFRP şeriti ile güçlendirilen numuneden elde edildiği görülmektedir.



Şekil 13. Eğilme Dayanım Değerleri (MPa)

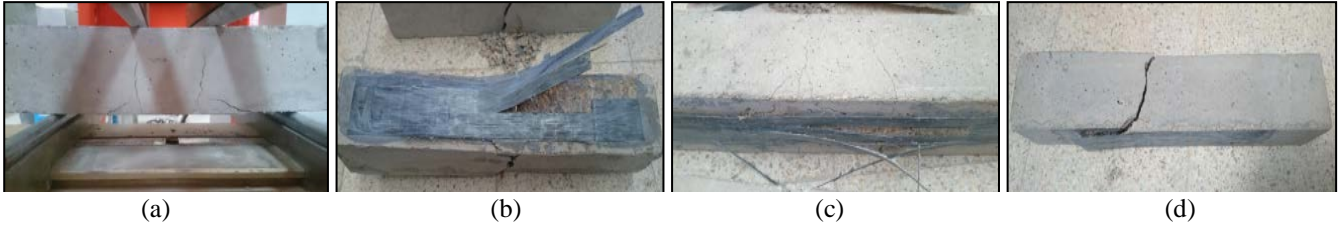
CFRP uygulanan numunelerin eğilme dayanım değerlerinin referans değere oranla elde edilen yüzde artışları Şekil 14'te verilmiştir. Kiriş güçlendirme sonuçlarının kontrol numunesine oranla dayanım artış yüzdeleri incelendiğinde %11-303 arasında artış sağladığı görülmektedir. Genel olarak dayanım artışlarının şerit uzunlukları ile orantılı bir şekilde artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 14. Güçlendirilen numunelerin dayanım artışları (%)

Kesme yönünden yetersiz olarak üretilen 3'er adet kiriş kesme bölgelerine 90° ve 45°'lik açılarla CFRP tekstilleri yapıştırılmıştır. Güçlendirme sonrasında kirişlerde %60 kesme kapasitesinin arttığı gözlenmiştir (Dündar, 2008).

Eğilme deneyleri sırasında ve sonrasında numunelere ait örnekler Şekil 15 (a-d)'de verilmiştir. 9 nolu numunenin Şekil 15-a'da görüldüğü gibi betonda gözle görülebilir çatlakların başladığı ancak yük almaya da devam ettiği, Şekil 15-b'de CFRP şeridin ve epoksinin betondan koptuğu ve Şekil 15-c'de şeritte yırtılmaların olduğu görülmektedir. Ancak bu numunede elde edilen dayanım değeri kontrol numunesinden %300 daha yüksek çıkmıştır. Şekil 15-d de verilen 8 nolu numuneye 300 mm uzunluğunda 75 mm genişliğinde uygulanan şeridin yapıştırıcısında kopma olduğu görülmüştür. Kontrol numunelerinde kırılmaların genelde merkezde olduğu ancak güçlendirilen numunelerde kırılmaların merkezden kaçtığı ve zayıf olan bölgelerde kırıldığı görülmektedir.



Şekil 15 (a-d). Deney Sonrası Kiriş Numune Örnekleri

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu deneysel çalışmada; beton basınç ve eğilme dayanımına CFRP etkisinin araştırılmasında aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Basınç dayanımlarında en düşük ve en yüksek dayanım değerleri sırası ile referans ve M15 numunelerinden 33.89 ve 44.15 MPa olarak elde edilmiştir.
- CFRP uygulama miktarının aynı olması durumunda farklı mahallerde olsa bile yaklaşık aynı dayanım değerlerinin elde edildiği görülmüştür.
- CFRP ile sarılan serilerden elde edilen dayanım değerlerinin referans numuneye oranla %8-30 arasında katkı sağlamıştır.
- Numunelerin dayanım farkları incelendiğinde M15 serisinin referans numunesine göre 10.26 MPa dayanım artışı sağlamıştır.
- Kirişlerin eğilme dayanımlarında en düşük ve en yüksek dayanım değerleri sırası ile referans ve 9 nolu numunelerden 3.94 ve 15.88 MPa olarak elde edilmiştir.
- CFRP ile güçlendirilen kiriş numunelerinin referans numunesinden daha yüksek dayanım değerleri verdiği görülmüştür. Ancak belirgin artışlar mesnetlere ulaşan CFRP şeritlerinin uygulandığı 300 ve 450 mm uzunluğa sahip numunelerde görülmüştür.
- CFRP ile güçlendirilen serilerden elde edilen eğilme dayanım değerlerinin referans değere oranla %11-300 arasında katkı sağlamıştır.
- Numunelerin deney sonrası görsel incelenmesinde, numunelerin yapıştırıcı ve şeritlerinde kopmalar olduğu görülmüştür. Ancak CFRP uygulaması ile kirişlerin eğilme dayanımlarında önemli derecede artışlar sağladığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak CFRP uygulaması eğilme ve basınç dayanımlarında artışlar sağladığı gibi betonun sünekliğine katkı sağlayacağı ve ani olarak göçmesini engelleyeceği, deneyler sonrası kırılan numunelerden görsel olarak yapılan incelemede anlaşılmıştır.

#### 5. KAYNAKLAR

Dündar, B. (2008). Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP ile Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 75s, Ankara.

Kaya, O. (2010). Seismic Retrofitting of RC Beam-Column Joints Using Composite Materials, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 222s, İstanbul.

Özyüksel, A. (2012). Çelik Levha ve CFRP ile Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 70s, İzmir.

Sika. (2006). Sika Wrap ve sikadur 330 Ürün Teknikbilgileri, [http://tur.sika.com/tr/solutions\\_products/documents/pds/pds-sika-d.html](http://tur.sika.com/tr/solutions_products/documents/pds/pds-sika-d.html) (Erişim Tarihi: 06.06.2017).

Tokgöz, H., Dündar, B. (2014). Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3, 2, 87-97.



TS EN 12390–3. (2010). Türk Standartları Enstitüsü. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 12390–5. (2010). Türk Standartları Enstitüsü. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Veysel, K., Karaşın, H. ( 2014). Karbon Elyaf ile Betonun Güçlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5, 1, 1-11.

Yüksel, B. (2014). Hasarlı Betonarme Kirişlerin Dış Donatılar ile Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 113s, Manisa.