

Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımın etkisi

*Ali SARIBIYIK

*Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54187 Sakarya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, standart silindir boyutlarında üretilen 30 MPa basınç dayanımına sahip betonların karbon ve cam elyaf ile birlikte (hibrit) olarak güçlendirilmesinin beton davranışına etkileri araştırılmıştır. Betonlar tek doğrultulu sadece cam kumaş, sadece karbon kumaş ve cam ve karbon kumaş ile hibrit olarak güçlendirilmiştir. Betonların güçlendirilmesinde elyaf türü, sargı katmanı ve hibrit kullanımın etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Test sonuçları incelendiğinde, tekil olarak güçlendirmeye göre hibrit FRP kompozitler ile güçlendirilen betonların dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CFRP, GFRP, hibrit FRP, güçlendirme, silindir beton,

Abstract

In this study, the effects of strengthening with the hybrid FRP composites were investigated on the behavior of cylinder concrete specimens. Specimens were produced 30 MPa compressive strength with standard cylinder sizes. Specimens were strengthened with only unidirectional glass fiber fabric, only unidirectional carbon fiber fabric and together with the unidirectional glass and carbon fiber fabric as a hibrit system. The effects of hybrid use, fiber types and wrapping layer were comparatively investigated. The test results indicated that the strength of the concrete strengthened with hybrid FRP increased when they were compared with single use.

Keywords: CFRP, GFRP hybrid FRP, strengthening, cylinder concrete,

1. Giriş

Elyaf Takviyeli Polimer (Fiber Reinforced Polymer, (FRP)) kompozitler, betonarme yapıların ve elemanların onarım ve güçlendirilmesinde 10 yıllardır kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışma FRP kompozitler ile güçlendirilen yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur [1-11]. Yapı elemanlarının güçlendirilmesinde Karbon FRP (CFRP), Cam FRP (GFRP) ve Aramid FRP (AFRP) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıların güçlendirilmesi amacıyla FRP kompozitler, dayanım, dayanıklılık, şekil değiştirme kapasitesi, ekonomiklik gibi faktörlere bağlı olarak tercih edilmektedir.

Lam ve arkadaşları [3], ortalama 41,1 MPa ve 38,9 MPa basınç dayanımına sahip silindir betonlar üzerine FRP kompozitler ile güçlendirme çalışmaları yapmışlardır. Dış kısımdan bir kat veya iki kat CFRP ile sarılmış beton numuneleri sabit hızlı ve tekrarlı yüklemeler altında test ederek gerilme ve şekil değiştirme kapasiteleri açısından karşılaştırılmıştır. CFRP ile sarılarak güçlendirilen betonların sabit hızlı ve tekrarlı yükleme altında test edilmesi sonucunda

gerilme-şekil değiştirme eğrileri arasında çok az bir fark olduğu belirtilmiştir. Hua ve arkadaşları [4], 41,1 MPa ve 57,5 MPa basınç dayanımına sahip kare kesitli kolonları CFRP ile kısmi sarma metodu kullanarak güçlendirmeye çalışmışlardır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre; hasar verilmiş bölümler üzerinde yapılan güçlendirmenin kolonların dayanım ve sünekliğini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişleridir. Elemanların sadece zayıf bölgeleri güçlendirilerek aşırı maliyetten ve zaman israfından kazanç sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Shin ve Bassem[5], basınç dayanımları 47,3 MPa ve 39,2 MPa arasında değişen standart silindirik betonlar üretmişler, beton yan yüzeylerini çelik tel ve GFRP ile sararak güçlendirme çalışması yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada çelik tel sargı ve GFRP sargının birlikte kullanıldığı betonların dayanımlarında ve sünekliğinde önemli artışların olduğunu tespit etmişlerdir. GFRP ile güçlendirmenin yanında çelik tel sargı ile de betonların güçlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Dünyada yaygın olarak kullanılan ancak ülkemizde yakın zaman içerisinde kullanılması zorunlu hale gelen [9] normal dayanıma sahip betonlar ile inşa edilen yapılar giderek yaygınlaşmaktadır. Betonların güçlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda karbon ve cam elyaf kullanılmış eş zamanlı karşılaştırmalar ve sargı katmanının etkileri araştırılmıştır [10,11]. Sarıbiyik ve arkadaşları [10,11] eşit hacim oranlarına sahip tek doğrultulu karbon ve cam lifleri ile farklı dayanımlara sahip betonların güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, bir kat CFRP kompozit ile güçlendirilen betonların dayanımı ile iki kat GFRP kompozit ile güçlendirilen betonların dayanımının birbirine yakın olduğu tespit etmişlerdir. Her iki kumaş türünde de sargı katmanı attıkça betonların basınç dayanımı ve şekil değiştirme kapasitesi arttığını, ancak bu artışın aynı oranda olmadığını belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmaların devamı olarak bu çalışmada, 30 MPa basınç dayanımına sahip betonların CFRP ve GFRP kompozitler ile güçlendirilmesinde elyaf türü, sargı katmanı ve hibrit kullanımın etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla standart silindirik betonlar, tek doğrultulu cam ve karbon elyaf kumaşlar ile ayrı ayrı ve birlikte enine sarılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirilen betonlar test edilerek betonlarının basınç dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerindeki iyileşme karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2. Deneysel Çalışma

2.1 Test numuneleri ve araştırma parametreleri

150 mm çap ve 300 mm yüksekliğinde standart silindirik boyutlara sahip 16 adet beton laboratuvar ortamında üretilmiştir. Betonlar ortalama 30.25 MPa basınç dayanımına sahiptir. Dörderli gruplara ayrılan numuneler, kontrol betonu (Kontrol), üç kat cam elyaf kumaş ile güçlendirilmiş beton (C3), iki kat karbon elyaf kumaş ile güçlendirilmiş beton (K2) ve bir kat karbon + iki kat cam elyaf kumaş ile güçlendirilmiş betondan (K1+C2) oluşmaktadır. Betonların güçlendirilmesinde elyaf türü, sargı katmanı ve hibrit kullanımın etkileri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Güçlendirilen numunelerin basınç kuvveti altında basınç dayanımına ve deformasyon kapasitesine etkileri araştırılmıştır.

2.2 Güçlendirme malzemeleri

Betonların güçlendirilmesinde tek doğrultulu cam ve karbon elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Karbon elyaf kumaş olarak Sika Wrap -300 C/60, cam elyaf kumaş olarak ise Sika Wrap-430 G/25 ürünü kullanılmıştır. Kumaşların beton yüzeylerine yapışması için Sikadur 330 çift bileşenli epoksi esaslı doyumna reçinesi kullanılmıştır. Güçlendirilmede kullanılan malzemelerin bazı karakteristik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Güçlendirme malzemelerin genel özellikleri

Malzeme özellikleri	Karbon elyaf kumaş Sika Wrap -300 C/60	Cam elyaf kumaş Sika Wrap -430 G/25	Epoksi reçine Sikadur 330
Yoğunluk (g/cm ³)	1,79	2,56	1,31
Çekme dayanımı (MPa)	3900	2300	30
Çekme elastik modülü (GPa)	230	76	4,50
Kopma uzaması (%)	1,50	2,80	0,90
Dokuma kalınlığı (mm)	0,166	0,172	-

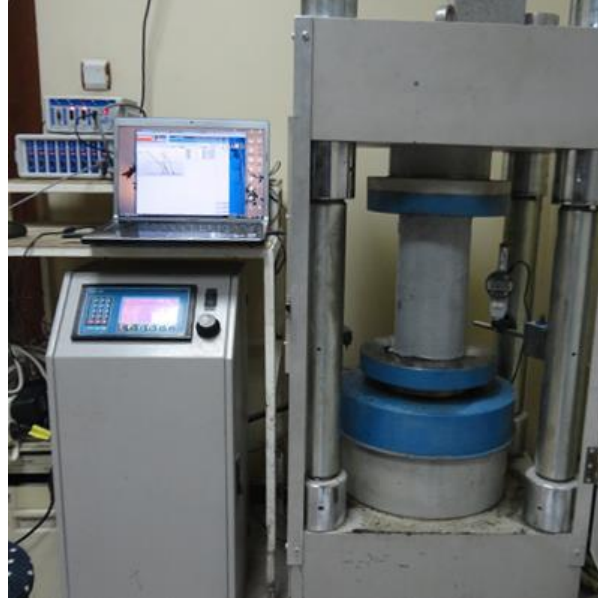
2.3 Numune üretimi ve deney düzeneği

Standart silindir boyutlara sahip betonlar kür havuzunda dayanım sürecini tamamlamasını takiben güçlendirme çalışmalarına geçilmiştir. Yükleme yüzeylerine başlık yapılarak yüklemenin bütün yüzeye eşit oranda gelmesi sağlanmış ve numunelerin yeterli kuruluğa erişmesi beklenmiştir. Betonların sarılma yüzeyleri, tel fırça ile fırçalanarak yapışmaya engel teşkil edecek bozukluklardan arındırılmıştır. Çift bileşenli epoksi reçinesi ile sertleştirici ürün kataloğunda belirtilen oranlarda karıştırılmış, rulo ve fırça yardımıyla beton yan yüzeylerini tamamen kaplayacak şekilde bir kat sürülmüştür. Uygun ebatlarda kesilerek hazırlanan karbon ve cam kumaşlar beton yan yüzeylerine enine sarılmıştır. Ürün şartnamesini de dikkate alarak 130 mm bindirme boyu ile kumaşların yükleme sırasında beton yüzeyinden sıyırılması önlenmiştir. Sarılan betonlar üzerine reçine sürülerek kumaşlar reçineye doyumulmuştur. Güçlendirilen numuneler epoksinin sertleşme sürecini tamamlayıncaya kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 1.)



Şekil 1. FRP’ler ile güçlendirilmesi tamamlanan numuneler

Numuneler Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği laboratuvarında test edilmiştir. Basınç test cihazının ayarları yapılmış ve uzunluk ölçüm cihazı, test cihazının düşey doğrultuda hareket eden düzlemine yerleştirilmiştir. Uzunluk ölçüm cihazı ile zamana bağlı olarak yüke karşılık gelen boy değişimleri ve deney cihazından alınan yük değerleri, aynı anda veri kaydediciler üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamında numunelerin davranışı incelenmiştir (Şekil 2.).



Şekil 2 Deney düzeneği ve veri aktarımı

3. Deney sonuçları ve tartışma

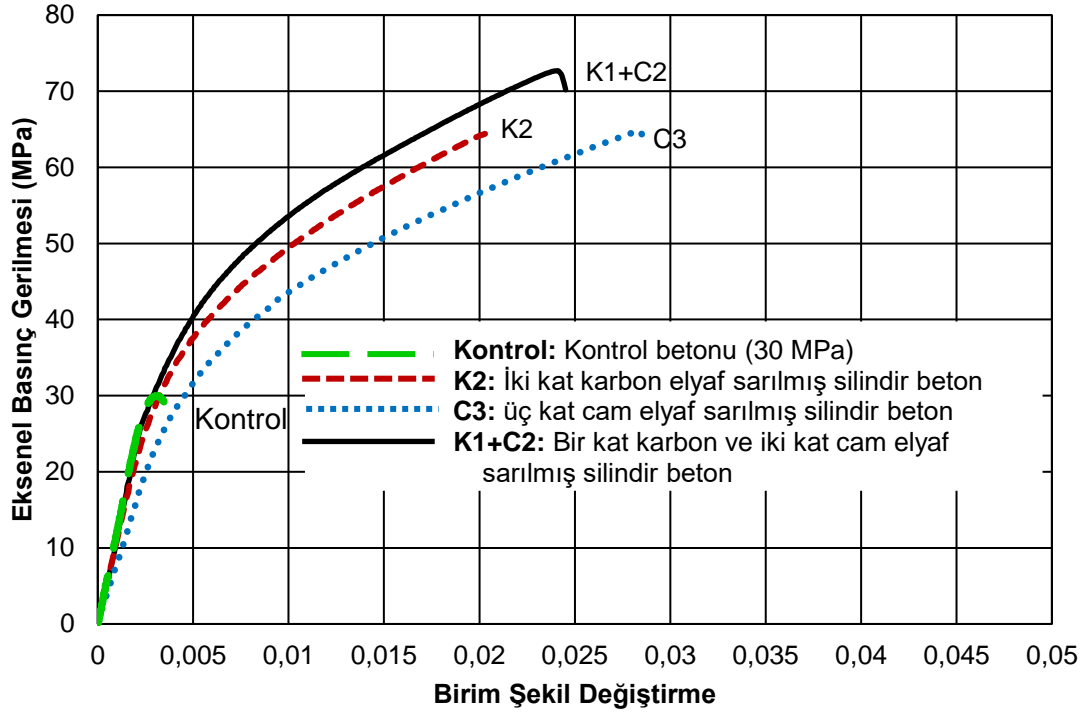
Güçlendirilmesi tamamlanan betonlar basınç test cihazında test edilmiştir. Numunelere kırılma gerçekleşinceye kadar sabit hızlı yükleme yapılmıştır. Kırılan numuneler incelendiğinde yüzeye sarılan FRP kompozitlerin bindirme boylarından sıyrılmadığı görülmüştür. Numunenin orta bölgelerinden lifler koparak betonun yüzeyinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanımı 30,25 MPa, şekil değiştirmesi ise 0,0032 bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Numunelerin ortalama test sonuçları

Numuneler	Eksenel Basınç Gerilmesi (MPa)	Birim Şekil Değişirme
Kontrol	30,25	0,0032
C3	64,70	0,0290
K2	64,00	0,0200
K1+C2	73,10	0,0230

Güçlendirilen betonların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinde önemli ölçüde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Üç kat cam kumaş ile güçlendirilen numunelerin (C3) basınç dayanımında 2,1 kat, şekil değiştirme kapasitesinde 9,1 kat artış olmuştur. İki kat karbon kumaş ile güçlendirilen numunelerin (K2) basınç dayanımında 2,1 kat, şekil değiştirme kapasitesinde 6,1 kat artış olmuştur. Bir kat karbon + iki kat cam kumaş ile hibrit olarak güçlendirilen

numunelerin (K1+C2) basınç dayanımında ortalama 2,4 kat, şekil değiştirme kapasitesinde 7,2 kat artış olmuştur (Şekil 3). K1+C2 numunelerinin C3 numunelerine kıyasla dayanımları yaklaşık % 13, K2 numunelerine kıyasla dayanımları yaklaşık % 14 daha yüksek çıkmıştır. Şekil değiştirme kapasitelerinde ise C3 numunesine göre %21 oranında azalma, K2 numunesine göre %15 oranında artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Betonların örnek gerilme ve şekil değiştirme grafikleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, ortalama 30,25 MPa basınç dayanımına sahip standart boyuta silindir beton numuneler tek doğrultulu karbon ve cam kumaş ile tekil ve hibrit olarak güçlendirilmiş, betonun basınç dayanımına ve şekil değiştirme kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Betonlar tek doğrultulu kumaşlarla çeşitli katmanlarda enine sarılarak güçlendirilmiş ve test edilmiştir. Yapılan test sonucunda hibrit olarak güçlendirilen betonların dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

1. Yükleme sonucunda FRP kompozitlerin bindirme boylarından sıyrılmadığı, numunelerin orta bölgelerinden lifler koparak betonun yüzeyinden ayrıldığı tespit edilmiştir.
2. C3 ve K2 numunelerinin basınç dayanımı aynı oranda artmasına rağmen şekil değiştirme kapasitelerindeki artışın aynı oranda olmadığı tespit edilmiştir.
3. Hibrit olarak güçlendirilen betonların basınç dayanımlarında C3 numunesine göre %13, K2 numunesine göre %14 iyileşme olduğu tespit edilmiştir.
4. Hibrit olarak güçlendirilen betonların şekil değiştirme kapasitesi C3 numunesine göre azalmış ancak K2 numunesine göre artmıştır.

Referanslar

- [1] Mirmiran, A., Shahawy, M.: Behaviour of Concrete Columns Confined by Fiber Composites, *Journal of Structural Engineering*, 583-590, 1997.
- [2] Büyüköztürk, O., Hearing, B., Ve Güneş, O. “Yapıların Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler ile Onarımı ve Güçlendirilmesi”, *IMO Dergisi*, 1999.
- [3] Lam L., Teng J.G., Cheung C.H., Xiao Y., FRP-confined concrete under axial cyclic compression *Cement and Concrete Composites*, 28 949–958, 2006.
- [4] Hua Wei, Zhimin Wu, Xia Guo, Fumin Yi, Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with CFRP, *Engineering Structures*, 31 2495-2505, 2009.
- [5] Shin M. and Andrawes B. Experimental investigation of actively confined concrete using shape memory alloys. *Engineering Structures*, 32 (3), 656-664, 2010
- [6] Toutanji HA. Stress–strain characteristics of concrete columnsexternally confined with advanced fiber composite sheets. *ACI Mater J*;96(3)397–404, 1999.
- [7] Ilki A, Kumbasar N. Behavior of damaged and undamaged concrete strengthened by carbon fiber composite sheets. *Struct Eng Mechan*; 13(1):75–90, 2002.
- [8] Saafi M, Toutanji HA, Li Z. Behavior of concrete columns confined with fiber reinforced polymer tubes. *ACI Mater J*;96(4):500–9, 1999.
- [9] TDY- 2007, Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 130, 150-154, 2007.
- [10] Sarıbiyik A, Çağlar N, Elmas M, "Betonların Güçlendirilmesinde Karbon Fiber Takviyeli Polimer Yerine Cam Fiber Takviyeli Polimer Kullanılması" ,1st International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science (ISITES), Sakarya, Türkiye, 2013.
- [11] Sarıbiyik A, Çağlar N, Akkaya A. Normal dayanımlı betonların CFRP ve GFRP ile güçlendirilmesinde elyaf türü ve sargı katmanlarının etkileri ,3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science (ISITES),, Valencia, Spain, 2015.