

Normal dayanımlı betonların CFRP ve GFRP ile güçlendirilmesinde elyaf türü ve sargı katmanlarının etkileri

*¹Ali SARIBIYIK, ²Naci ÇAĞLAR ve ³Abdulhalim AKKAYA

¹Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 54187 Sakarya, Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54187 Sakarya, Türkiye

³Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54187 Sakarya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, normal dayanıma sahip betonlar kullanılarak üretilen etriye adım mesafesi yetersiz betonarme kolonlar dikkate alınarak standart silindir betonlar üretilmiştir. Betonların CFRP ve GFRP ile sarılarak güçlendirilmesinde sargı katmanı miktarının beton dayanımına ve sünekliğine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, yaklaşık 30 MPa basınç dayanımına sahip beton ve aynı hacim oranına sahip tek doğrultulu karbon ve cam kumaş kullanılmıştır. Betonlar tek doğrultulu kumaşlar ile farklı katmanlarda enine sarılarak güçlendirilmiş ve basınç testine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda betonların basınç dayanımında ve sünekliğinde önemli ölçüde iyileşmeler elde edilmiştir. Sargı katmanı arttıkça beton dayanımı ile birlikte sünekliğin de arttığı tespit edilmiştir. Etriye adım mesafesi yeterli olmayan kolonların güçlendirilmesinde zahmetli bir işlem olan dışarıdan etriye sarmanın yerine kolonların FRP kompozitlerle basınca karşı etkin bir şekilde güçlendirilebileceği deney sonuçları ve grafiklerle ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: CFRP, GFRP, güçlendirme, beton silindir numune, süneklik.

Abstract

In this study, standard cylinders specimens with normal strength concrete have been produced considering the insufficient stirrup steps. The effects of wrap layers to concrete strength and ductility were investigated in strengthening with CFRP and GFRP. In the experimental work the concrete with a compressive strength of 30 MPa and the same volume ratio of unidirectional carbon and glass fabrics have been used. Specimens were strengthened in unidirectional by cross wrapping with different layers and were tested. Significant improvements were obtained on compressive strength and ductility of concrete. When the wrap layer increases, both concrete strength and ductility were increased. It is difficult to wrap the outside stirrup for strengthen of columns which has inadequate steps. Experimental results showed that the concrete columns can be effectively strengthened for compressive strength using FRP composites.

Keywords: CFRP, GFRP, strengthening, concrete cylinder specimen, ductility

1. Giriş

Dünyada meydana gelen depremlerden sonra yapılan araştırmalar ve edinilen bilgiler ışığında betonarme yapıların önemli bir kısmının yapısal olarak yetersiz olduğu görülmektedir [1-5]. Ayrıca yapılar depreme karşı yeterli güvenlikte üretilmelerine rağmen, kullanım amacı ve servis

* Sorumlu yazar: Adres Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 54187 Sakarya, Türkiye. E-mail adres: Ali Sarıbiyik@sakarya.edu.tr, Tel: +902642953231

yüklerinde yapılan değişiklikler, projelendirme ve uygulama hataları, donatı yetersizliği, yönetmeliklerdeki değişiklikler, zamanla dayanıklılığını kaybetmesi gibi birçok nedenden dolayı yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında yapıların güçlendirilmesinde ilk akla gelen güçlendirme yöntemleri, yapılaraya ait betonarme kolon, kiriş ve döşemelerin güçlendirilmesi şeklindedir. Yapıların onarım ve güçlendirilme ihtiyacı bütün dünyada yapı endüstrilerinin üzerinde çalıştığı en önemli konulardan birisi haline gelmiştir. Betonarme yapı elemanlarının onarım ve güçlendirmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak zayıf taşıyıcı elemanların sisteme yeni ilave edilecek betonarme elemanlar ile güçlendirilmesi veya mevcut yapı elemanlarının betonarme ile mantolanması, kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Ancak bu yöntemler ile yapılan güçlendirmenin yapı ağırlılığını önemli ölçüde arttırması, temel sisteminde ilave düzenlemelere ihtiyaç duyulması ve ekstra maliyet artışlarına sebep olması gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır. Ayrıca güçlendirme sırasında yapının kullanımını da mümkün olmamaktadır. Bu nedenlerden dolayı, yapı ağırlılığını arttırmayan, uygulanabilirliği kolay ve hızlı olan, elemanların taşıma kapasitelerini önemli ölçüde arttıran ve ayrıca güçlendirme esnasında yapının kullanımına olanak sağlayan Elyaf Takviyeli Polimer (Fiber Reinforced Polymer-FRP) kompozitler ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Yüksek dayanım ve dayanıklılık, düşük özgül ağırlık ve kolay uygulanabilir olma gibi birçok avantaja sahip olan Elyaf Takviyeli Polimerler(Fiber reinforced polymer- FRP) betonarme yapıların ve elemanların onarım ve güçlendirilmesinde 20 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır [6-8]. Bu malzemeler içerisinde, karbon FRP (CFRP), Cam FRP (GFRP) ve Aramid FRP (AFRP) yapı elemanlarının güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. FRP'ler arasındaki tercih; dayanım, dayanıklılık, şekil değiştirme kapasitesi, ekonomiklik gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Birçok araştırma FRP ile yapılan güçlendirme neticesinde yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur [6-13]. Bu alandaki ilk araştırma ve uygulamalar İsviçre, Almanya ve Japonya'da yoğunlaşmıştır. 1990'ların başından itibaren, ABD, Kanada ve Suudi Arabistan'ı da kapsayan birçok ülkeden araştırmacılar bu alandaki çabalarını bir araya getirmişler ve kompozit malzemelerle yeniden donatımın değişik analiz, tasarım, uygulama ve dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir [7]. Sıkça depreme maruz kalan Japonya, FRP kompozitlerin yapılarda kullanımını konusuna büyük önem vermiştir. Basınç dayanımı yüksek betonlar üzerinde yapılan bu çalışmalar, beton dayanımının yanında betonun gevreklik sorununu gidermeyi de amaçlamıştır. Dolayısı ile çalışmalarda beton dayanımı yüksek tutulmuştur.

Lam ve arkadaşları [8], ortalama 41.1 MPa, ve 38.9 MPa basınç dayanımına sahip silindirik 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 – 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 oluştuğu belirtilmiştir. Hua ve arkadaşları [9], 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 sünekliliğini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişleridir. Elemanların sadece zayıf bölgeleri güçlendirilerek aşırı maliyetten ve zaman israfından kazanç sağlanabileceği vurgulanmıştır. Shin ve Bassem[10], basınç dayanımları 47.3 MPa and 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 vurgulamışlardır.

Dünyada yaygın olarak kullanılan ancak ülkemizde yakın zaman içerisinde kullanılması zorunlu hale gelen [14] normal dayanıma sahip betonlar ile inşa edilen yapılar giderek yaygınlaşmaktadır. Yapıda beton kalitesinin yüksek tutulması birçok olumlu etkinin yanında gevreklik sorununu da beraberinde getirmektedir. Betonların güçlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda karbon ve cam elyaflar kullanılmış ancak eş zamanlı karşılaştırmalar yapılmamış ve sargı katmanının etkileri araştırılmamıştır. Bu çalışmada normal dayanıma sahip betonların CFRP ve GFRP ile güçlendirilerek basınç dayanımı şekil değiştirme kapasitesi ve sargı katmanı etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla standart silindirik betonlar tek doğrultulu elyaflar ile enine sarılarak güçlendirilmiştir. Cam ve karbon kullanılarak güçlendirilen betonlar test edilerek betonlarının basınç dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

2. Deneysel çalışma

2.1 Test numuneleri

Karbon ve cam kumaş ile yapılan sargının ve sargı miktarının betonun basınç dayanımı ile sünekliğine etkilerini araştırmak amacıyla ortalama 30 MPa basınç dayanımına sahip standart (150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde) silindirik beton numuneler üretilmiştir. Numuneler tek doğrultulu CFRP ve GFRP ile farklı katmanlarda sarılarak güçlendirilmiştir. Numunelerin dördü kontrol, dördü bir kat cam, dördü bir kat karbon, dördü iki kat cam, dördü iki kat karbon kumaş ile sarılmıştır. Hazırlanan test numunelerine ait kotlamalar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Güçlendirme numunelerinin kotlamaları

Numune Kodu	Numune özellikleri
Kontrol	Seri 1 şahit beton
C1	Bir kat CFRP ile güçlendirilmiş silindirik beton
C2	İki kat CFRP ile güçlendirilmiş silindirik beton
G1	Bir kat GFRP ile güçlendirilmiş silindirik beton
G2	İki kat GFRP ile güçlendirilmiş silindirik beton

2.2 Malzemeler

Betonların güçlendirilmesinde kullanılan tek doğrultulu karbon ve cam kumaşlar; betonarme, tuğla ve ahşap yapı elemanlarının taşıma kapasitelerinin artırılması, deprem gibi çeşitli olaylar sonucunda yapıda meydana gelen hasarların onarımı ve standartların değişmesi sonucu yapıların yeni standartlara uyumlu hale getirilmesi amacıyla güçlendirilmesi gibi farklı nedenlerle

kullanılmaktadır. Kumaşların beton yüzeyine iyice yapışması ve beton yüzeylerinden sıyrılmaması için çift bileşenli epoksi tercih edilmektedir.

Betonların güçlendirilmesinde tek doğrultulu karbon ve cam lifli dokumalar kullanılmıştır. Karbon lifli dokuma olarak Sika Wrap -300 C/60 ürünü, cam lifli dokuma olarak ise Sika Wrap-430 G/25 ürünü kullanılmıştır.

Sikadur 330 çift bileşenli epoksi esaslı doyurma reçinesi, yaygın olarak, carbon ve cam elyafı silindir numunelerin yüzeylerine yapıştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Uygulaması kolay olan Sikadur 330, beton, taş, metal, ağaç ve yapı malzemeleri için uygun bir yapıştırıcı malzemedir. 4 kg A bileşeni (reçine) ve 1 kg B bileşeni (sertleştirici) hazır setler halinde ambalajlanan Sikadur 330 epoksi reçinesi, 4/1 oranında karıştırılarak uygulama yüzeyi sıcaklığı +10°C ile +35°C arasında olan beton yüzeylerine mala, fırça, rulo yardımı ile kolaylıkla uygulanabilmektedir. Yüksek mukavemete sahip olan bu reçine aynı zamanda, devamlı yükler altında yüksek bir sünme dayanımı göstermektedir. Sikadur epoksi reçine; kolay karıştırılır olması, mala ve doyurma rulosu ile uygulanabilmesi, elle empregnasyon (doyurma) işlemi için uygun olması, düşey ve baş üstü yüzeylerde kolaylıkla uygulanabilmesi, birçok yüzeye iyi aderans sağlaması, emsallerine göre yüksek dayanımlı olması, astar uygulaması gerektirmemesi, uygulama öncesi ve sonrası neme dayanıklı olması ve solventsiz olması gibi birçok avantaja sahiptir. Sikadur epoksi reçinesine ait karakteristik bazı özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

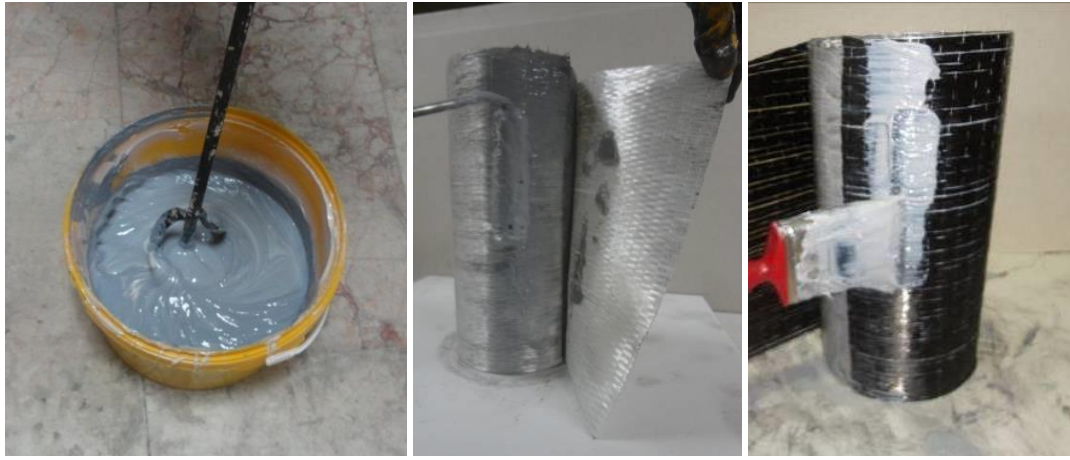
Tablo 2. Güçlendirme malzemelerin genel özellikleri

Malzeme özellikleri	Karbon lifli dokuma Sika Wrap -300 C/60	Cam lifli dokuma 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
Kökuma kalınlığı (mm)	0.166	0.172	-

2.3 Numune üretimi

Silindir numuneler kür havuzundan alınıp kurutulduktan sonra, yükleme düzlemi doğrultusundaki uç kısımlara başlıklar yapılarak yüklemenin üniform olması sağlanmıştır. Numunelerin sarma yüzeyleri, tel fırça ile fırçalanarak yapışmaya engel teşkil edecek bozukluklardan arındırılmıştır. Beton yüzeyi ve elyaf arasındaki kenetlenmeyi sağlamak için, aderansı yüksek olan çift bileşenli Sikadur 330 epoksi reçinesi ile sertleştirici uygun oranlarda karıştırılarak rulo ve fırça yardımıyla beton yan yüzeylerini tamamen kaplayacak şekilde bir kat sürülmüştür. Karbon ve cam kumaşlar 600 mm uzunluğunda 300 mm yüksekliğinde kesilerek hazırlanmış ve test sırasında sıyrılmaması için ürün şartnamesine uygun olarak 130 mm bindirme boyu olacak şekilde beton yüzeylerine enine sarılmıştır (Şekil 1). Kumaşları dış etkilerden korumak amacıyla, kumaşlar üzerine bir kat reçine sürülmüş ve kumaşların tamamen reçine içerisinde kalması sağlanmıştır.

Yapıştırma işlemlerini bitiren numuneler, sertleşme sürecini tamamlanıncaya kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 2).



a) Epoksi reçine

b) GFRP ile güçlendirme

c) CFRP ile güçlendirme

Şekil 1. Güçlendirme işlemleri

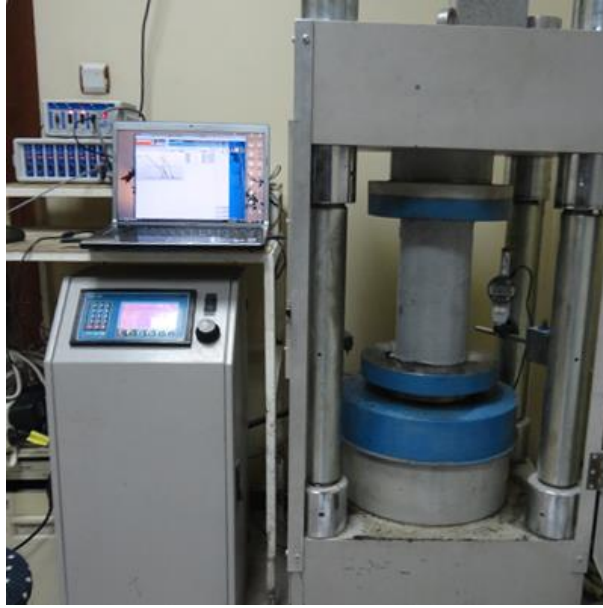


Şekil 2. FRP'ler ile güçlendirilen numuneler

2.4 Deney düzeneği

Betonlar Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında test edilmiştir (Şekil 3). Basınç test cihazının kalibrasyonları yapılmış ve uzunluk ölçüm cihazı, test cihazının düşey doğrultuda hareket eden düzlemine yerleştirilmiştir. Uzunluk ölçüm cihazı ile zamana bağlı olarak yüke karşılık gelen boy değışimleri ve deney cihazından alınan yük değçerleri, aynı anda data loggerler üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamında numunelerin

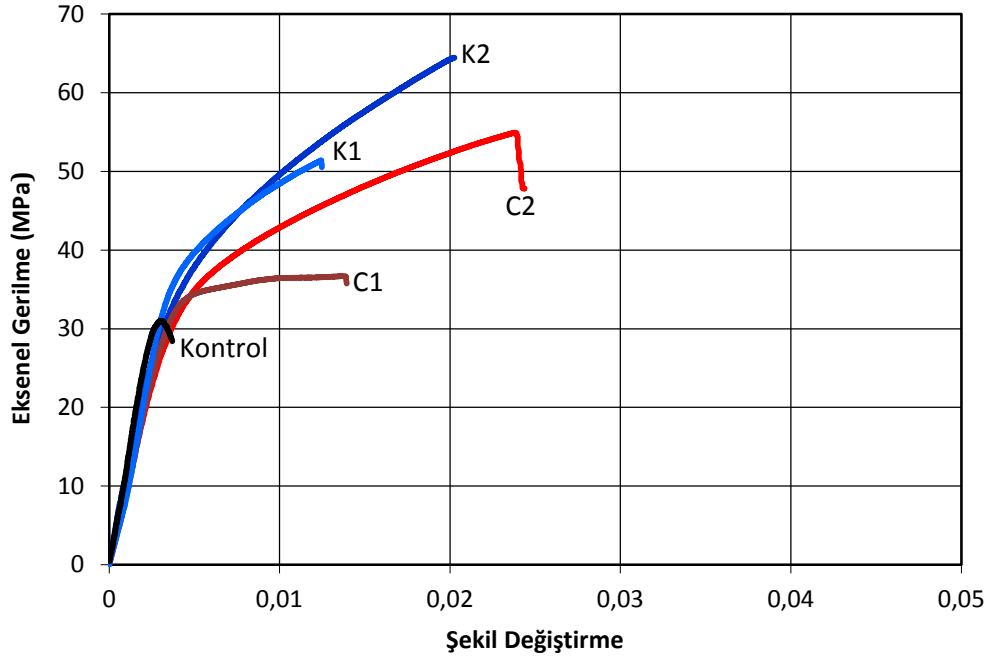
gerilme şekil değiştirme grafikleri elde edilerek, basınç dayanımları ve deformasyon yapma kabiliyetleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. basınç deney düzeneği ve veri aktarımı

3. Sonuçlar ve tartişma

Betonların basınç dayanımını belirlemek ve FRP ile güçlendirilmesi yapılan diğer betonlarla kıyaslamak için seçilen dört kontrol numunesi üzerine sabit hızlı aksenal basınç testi uygulanmıştır. Diğer numuneler dörder adet gruplara ayrılmış, cam ve karbon kumaş ile enine sarılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirmede bir veya iki kat sarım yapılmıştır. Beton yüzeylerinden sıyrılmaması için 130 mm bindirme yapılmıştır. Betonlar kırılma gerçekleşinceye kadar yüklenmiş, yükleme neticesinde yüzeye sarılan CFRP ve CFRP kompozitlerin bindirme boylarında sıyrılmaması tespit edilmiştir. Numunenin orta bölgelerinden lifler koparak betonun yüzeyinden ayrılmıştır. Kontrol betonuna kıyasla güçlendirilen betonların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinde önemli ölçüde iyileşme olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Betonların örnek gerilme ve şekil değiştirme grafikleri

Kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanımı 30.25 MPa, şekil değiştirmesi ise 0.0032 bulunmuştur. Bu betonlardan bir kat cam kumaş ile güçlendirilen betonların (C1) ortalama basınç dayanımı 37.4 MPa, bu dayanıma karşılık gelen şekil değiştirmesi 0.012 olarak hesaplanmıştır. Kontrol betonuna kıyasla C1 betonunun basınç dayanımında %23.6, şekil değiştirme kapasitesinde %275 artış olmuştur. İki kat cam kumaş ile güçlendirilen betonların (C2) ortalama basınç dayanımı 50.7 MPa, şekil değiştirmesi 0.02 olarak bulunmuştur. Kontrol betonuna göre C2 betonlarının basınç dayanımı ortalama %67.6, şekil değiştirme kapasitesinde % 525 oranında artış meydana gelmiştir (Şekil 4- Tablo 3).

Bir kat karbon kumaş ile güçlendirilen betonların (K1) ortalama basınç dayanımı 51.85 MPa, şekil değiştirmesi 0.013, iki kat karbon kumaş ile güçlendirilen betonların (K2) basınç dayanımı 64 MPa, şekil değiştirmesi ise 0.02 bulunmuştur. Kontrol betonuna kıyasla K1 betonunun basınç dayanımı % 71.4, K2 betonunun basınç dayanımı % 111.6 artmış, sırasıyla şekil değiştirme kapasiteleri %306 ve %525 oranında artmıştır (Şekil 4- Tablo 3).

Tablo 3. Ortalama test sonuçları ve artış oranları

Numuneler	Gerilme (MPa)	Artış oranı (%)	Şekil Değiştirme	Artış oranı %
Kontrol	30.25	-	0.0032	-
C1	37.4	23.6	0.012	275
C2	50.7	67.6	0.02	525
K1	51.85	71.4	0.013	306
K2	64	111.6	0.02	525

4. Sonuçlar ve tavsiyeler

Bu çalışmada, ortalama 30.25 MPa basınç dayanımına sahip standart boyuta silindir beton numuneler tek doğrultulu karbon ve cam kumaş ile sarılarak güçlendirilmiş, betonun basınç dayanımına ve şekil değıştirme kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Betonlar CFRP ve GFRP ile bir veya iki kat enine sarılarak güçlendirilmiş ve test edilmiştir. Yapılan test sonucunda güçlendirilen betonların dayanım ve şekil değıştirme kapasitelerinde önemli ölçüde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

1. Güçlendirilen betonlar yükleme esnasında kırılma anına kadar bütünlüğünü korumuştur. Nihai dayanıma erişinceye kadar karbon ve cam lifler beton yüzeyinden sıyrılmamış, lifler kırılma anında numunenin orta bölgesinden koparak beton yüzeyinden ayrılmıştır.
2. Kontrol betonuna kıyasla C1 betonunun basınç dayanımı %23.6, şekil değıştirme kapasitesi %275 artmıştır. C2 betonunun basınç dayanımında ortalama %67.6, şekil değıştirme kapasitesinde % 525 artış meydana gelmiştir. K1 betonunun basınç dayanımı % 71.4, K2 betonunun basınç dayanımı % 111.6 artmış, sırasıyla şekil değıştirme kapasiteleri %306 ve %525 oranında artmıştır.
3. Her iki kumaş türünde de sargı katmanı attıkça betonların basınç dayanımı ve şekil değıştirme kapasitesi artmıştır. Ancak bu artış aynı oranda olmamıştır.
4. Bir kat sarımda % 71.4 basınç dayanımı artışı ile en iyi sonuç karbon kumaşla yapılan güçlendirme çalışmasından elde edilmiştir. İki kat sarımlarda ise %67.6 oranında basınç dayanımındaki artış ile en iyi sonuç cam kumaşlardan elde edilmiştir.
5. Betonarme kolonlarda kullanılan etriye, betonun şişmesini engelleyerek betona yanal basınç uyguladığı, bu yanal basınç etkisi kuşatılmış betonun dayanımını ve sünekliğini arttırdığı bilinmektedir. Benzer etki FRP kompozitler ile güçlendirilen betonlarda da elde edilmiştir. FRP kompozitler betonun dağılmasını önleyerek betona önemli ölçüde dayanım ve şekil değıştirme kabiliyeti kazandırmaktadır.
6. Etriye adım mesafesi yeterli olmayan kolonların güçlendirilmesinde dışarıdan etriye sarmann oldukça zahmetli bir işlem olduğu bilinmektedir. Günümüzde yaygın olarak karşılaşılan bu tür betonarme kolonların FRP'ler ile güçlendirilmesi avantaj sağlayacaktır.

Referanslar

- [1] Sezen, H., Whittaker A.S., Elwood, K.J., Mosalam, K.M., Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practice in Turkey, Engineering Structures, 25 (1), 103-114, Jan 2003.

- [2] Doğangün A., Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey, *Engineering Structures*, 26 (6), 841-856, 2004.
- [3] Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey?, *Engineering Failure Analysis*, 14 (1), p.1-22, 2007.
- [4] Celebi E., Aktas M., Caglar N., Ozocak A., Kutanis M., Mert N., Ozcan Z., October 23, 2011 Turkey/Van–Ercis earthquake: structural damages in the residential buildings, *Natural Hazard*, Vol. 64, DOI: 10.1007/s11069-012-0478-9, 2012.
- [5] Sarıbıyık M, Sumer M, Fırat S and Aydın F. Investigation of Concrete Quality of Collapsed–Heavily Damaged Structures During the Marmara Earthquake, 8th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs, and Maintenance of Structures, ,18-20 December, Singapore, 2003.
- [6] Mirmiran, A., Shahawy, M.,: Behaviour of Concrete Columns Confined by Fiber Composites, *Journal of Structural Engineering*, 583-590, 1997.
- [7] Büyüköztürk, O., Hearing, B., Ve Güneş, O. “Yapıların Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler ile Onarımı ve Güçlendirilmesi”, *IMO Dergisi*, 1999.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Shin M. and Andrawes B. Experimental investigation of actively confined concrete using shape memory alloys. *Engineering Structures*, 32 (3), 656-664, 2010
- [11] Toutanji HA. Stress–strain characteristics of concrete columnsexternally confined with advanced fiber composite sheets. *ACI Mater J*;96(3)397–404, 1999.
- [12] Ilki A, Kumbasar N. Behavior of damaged and undamaged concrete strengthened by carbon fiber composite sheets. *Struct Eng Mechan*; 13(1):75–90, 2002.
- [13] Saafi M, Toutanji HA, Li Z. Behavior of concrete columns confined with fiber reinforced polymer tubes. *ACI Mater J*;96(4):500–9, 1999.
- [14] TDY- 2007, Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 130, 150-154, 2007.