
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 13-10-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 13-12-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.343562	

Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının etkisi

Ali Sarıbiyik¹

ÖZ

Bu çalışmada, standart silindir boyutlarda üretilen betonların Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) kompozitler ile güçlendirilmesinde elyaf türü, sargı katman sayısı ve farklı tür elyafın hibrit olarak kullanımının etkileri araştırılmıştır. Aynı şartlar altında üretilmiş, ortalama 30,25 MPa basınç dayanımına sahip betonlar tek doğrultulu cam ve karbon elyaf kumaşlarla enine bir, iki, üçer kat sarılarak ve ayrıca cam ve karbon kumaş hibrit olarak sarılarak güçlendirilmiştir. Beton numuneler aksel basınç testi altında sabit hızlı yükleme ile test edilmiştir. Elyaf türünün, sargı katman sayısının ve hibrit kullanımının beton davranışına etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Test sonuçları incelendiğinde, sargı katman sayısı arttığında betonun basınç dayanımı ve deformasyon kabiliyetinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca hibrit güçlendirmenin tekil güçlendirmeye göre daha etkili olduğu ortaya konulmuştur.

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

Effect of Using FRP Composites as Hybrid in the Strengthening of Concretes

ABSTRACT

In this study, the effect of fiber type, number of layers and hybrid use of different type fibers on concrete behavior was investigated in standard cylinder concretes strengthened by Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites. Specimens were produced in average of 30.25 MPa compressive strength with standard cylinder sizes and were strengthened with unidirectional glass fiber fabric, unidirectional carbon fiber fabric and hybrid use of glass and carbon fiber fabrics. Concrete members were tested under axial compressive loads. The effect of fiber type, number of layers and hybrid use of different type fibers on concrete behavior was evaluated comparatively. The test results have indicated that concrete compressive strength and deformation capacities increase when the number of wrap layers increase. It is also shown that hybrid strengthening is more effective than individual strengthening.

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

¹ SAÜ, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54187 Sakarya, Türkiye, e-mail: alisaribiyik@sakarya.edu.tr

1. GIRIŞ (INTRODUCTION)

Meydana gelen son depremlerden sonra yapılan araştırmalar ve edinilen bilgiler doğrultusunda inşa edilen betonarme yapıların önemli bir kısmının birçok açıdan güçlendirilmesi gerekmektedir[1]–[11]. Deprem dayanımı düşük bina sayısının fazlalığı, bu binaların halen kullanılıyor olmaları, yapım yöntem ve tekniklerinin farklılığı gibi nedenlerle, her yapı türü için uygun onarım ve güçlendirme yöntemlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar halen devam etmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında yapıların yenilenmesi ya da güçlendirilerek depreme dayanıklı hale getirilmesi öngörülmektedir. Türkiye’deki meydana gelen depremler sonrasında mevcut yapı stoku incelendiğinde betonarme binaların geneline yakınında kolon etriyelerinin yeterli sıklıkta olmaması, etriye kancalarının uygunsuzluğu, kullanılan betonların ön görülen basınç dayanımlarını sağlamaması, kolon bindirme boyunun yeterli olmaması vb. nedenler ile depremde oluşan hasarların ciddi boyutlara ulaştığını araştırmacılar ortaya koymuştur[1]–[11]. Hasar gören veya görmesi muhtemel kolonların onarım ve güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kolonların betonarme ile mantolanması kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Ancak bu yöntemler ile yapılan güçlendirmelerde boyut artışı nedeni ile kullanılan alan kayıpları, yapı ağırlığının artması, güçlendirme sırasında yapının kullanımının mümkün olmaması ve yapı temel sisteminde ilave düzenlemelere ihtiyaç duyulması gibi olumsuz yönler de bulunmaktadır. Yapı ağırlığını artırmayan, kolay ve hızlı uygulanabilen, elemanların taşıma kapasitelerini önemli ölçüde artıran, güçlendirme sırasında yapının kullanımına olanak sağlayan Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) kompozitler gibi alternatif güçlendirme elemanlarının kullanımı ve üzerinde yapılan çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir.

FRP kompozitler, betonarme yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Betonarme kolonlar FRP kompozitler ile sarılarak etkili bir şekilde güçlendirilebilmektedir. Kolonların FRP kompozitler ile güçlendirilmesinde yaygın olarak karbon, buna nispeten daha az oranda Cam, Aramid FRP kompozitler kullanılmaktadır. FRP kompozitlerin tercih edilmesinde, dayanım, dayanıklılık, şekil değiştirme kapasitesi,

ekonomiklik gibi faktörlere etkili olmaktadır. Yapılan birçok çalışma FRP kompozitler ile güçlendirilen betonarme kolonların yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur [12]–[27]. FRP kompozitler ile güçlendirme betonarme kolonların süneklik kapasitelerini[18], [22], [28], [29], [30] basınç dayanımlarını[12], [23], [29], [31]–[37], ve boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımlarını artırmaktadır[38]–[41]. FRP ile güçlendirilmiş kolonların, aşırı koşullarda (donma ve yangın) da iyi performans sergilemiş [26], hesap yöntemleri ve davranış modelleri üzerindeki çalışmalar gelişen teknoloji ve değişen malzemeler ile birlikte güncellenerek devam etmektedir [13], [27], [42]–[45]. Düşük dayanımlı betonlar ile üretilen basınç elemanları FRP kompozitler ile etkili bir şekilde güçlendirilebilmektedir [18], [20], [46]. Kolonlar üzerine yapılan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Eid ve Paultre[12] betonarme kare/dikdörtgen ve silindir kolonları CFRP kompozitlerle güçlendirmişler ve basınç testi altında davranışlarını inceleyerek gerileme-deformasyon modeli sunmuşlardır. Shin ve Bassem[14], basınç dayanımları 47,3 MPa ve 39,2 MPa arasında değişen standart silindir 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 birlikte çelik tel sargı ile de betonların güçlendirilebileceği vurgulamışlardır. Lam ve arkadaşları [25], ortalama 41,1 MPa ve 38,9 MPa basınç dayanımına sahip silindir betonları CFRP kompozitler ile güçlendirerek sabit hızlı ve tekrarlı yüklemeler altında test etmişlerdir. Test sonucunda gerilme-şekil değiştirme eğrileri arasında ihmal edilebilecek düzeyde bir fark olduğunu tespit etmişlerdir. Hua ve arkadaşları [33], 41,1 MPa ve 57,5 MPa basınç dayanımına sahip kare kesitli kolonları CFRP ile kısmi sarma metodu kullanarak güçlendirmişlerdir. Yapılan çalışmada sonucunda kolonların dayanım ve sünekliğini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Kolonların sadece zayıf bölgelerini güçlendirerek aşırı maliyetten ve zaman israfından kazanç sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır. Sarıbıyık ve arkadaşları [47], 20,82 basınç dayanımına sahip betonları CFRP ve GFRP kompozitler ile farklı katmanlarda sararak

güçlendirmiş ve tekrarlı ve tekdüze yükleme altında test etmişlerdir. Güçlendirilmiş betonlar tekrarlı ve tekdüze yükleme durumunda aynı performansı sergilemiş ve bir kat CFRP ile güçlendirilen betonların dayanımına iki kat GFRP ile güçlendirilerek erişilmiştir. Karbona göre cam elyafı daha ekonomik güçlendirme sonuçları ortaya konulmuştur. FRP kompozitler ile başka malzemeleri birlikte (hibrit) kullanarak betonarme elemanların onarım ve güçlendirilmesinde daha etkili ve ekonomik çözümler üzerinde çalışmalar devam etmektedir [48].

Yapılan birçok çalışmada farklı boyutlardaki betonarme kolonlar/betonlar farklı tür ve özelliklerdeki FRP kompozitler kullanılarak güçlendirilmiştir. Ancak eşit veya yakın dokuma kalınlıklarına sahip FRP kompozitlerin eş zamanlı karşılaştırmaları ve özellikle hibrit kullanımının yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, ortalama 30,25 MPa basınç dayanımına sahip betonların CFRP ve GFRP kompozitler ile güçlendirilmesinde hibrit kullanımının yanında elyaf türü, sargı katmanının etkileri karşılaştırılmalı olarak analiz edilerek, ekonomiklik ve hibrit kullanımının etkinliği ortaya konulmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Test numuneleri ve araştırma parametreleri (Test specimens and research parameters)

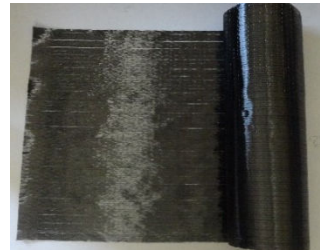
Deneysel çalışmada 28 adet beton laboratuvar ortamında standart silindir boyutlarda (150 mm çap ve 300 mm yüksekliğinde) üretilmiştir. Dörtlerli gruplara ayrılan betonlar; kontrol betonu (Kontrol), bir, iki, üç kat cam (C) elyaf kumaş sarılarak güçlendirilmiş betonlar sırasıyla C1, C2, C3; bir ve iki kat karbon (K) elyaf kumaş sarılarak güçlendirilmiş betonlar sırasıyla K1, K2; bir kat karbon + iki kat cam elyaf kumaş sarılarak güçlendirilmiş betonlar K1+C2 ile simgelenmiştir. Güçlendirilen betonlar basınç testi ile test edilerek basınç dayanımı ve deformasyon davranışları incelenmiştir. Beton dayanım ve davranışlarına hibrit güçlendirmenin, elyaf türü ve sargı katmanının etkileri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

2.2. Malzemeler (Materials)

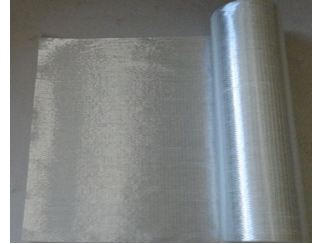
Betonlar CEM IV/B 32, R çimentosu, şebeke suyu, 0-4 mm doğal kum ve 4-16 mm elek çapında mıcır

kullanılarak üretilmiştir. Karışım oranları agregalar üzerinde elek analizi yapılarak bulunmuştur (%40 kum, %60 mıcır). Su/çimento oranı 0,60 alınarak beton karışım hesapları yapılmış ve betonlar laboratuvar ortamında üretilmiştir.

Betonların güçlendirilmesinde karbon elyaf kumaş olarak Sika Wrap -300 C/60 (Şekil 1a) ürünü, cam elyaf kumaş olarak Sika Wrap-430 G/25(Şekil 1b) ürünü ve yapıştırıcı olarak Sikadur 330 çift bileşenli epoksi reçine kullanılmıştır. Tek doğrultulu rulo halinde üretilen cam ve karbon kumaşlar yakın hacim oranlarına sahiptir. Karbon elyaf kumaşın dokuma kalınlığı: 0,166mm, çekme dayanımı: 3900 MPa, çekme elastisite modülü: 230 GPa, kopma uzaması: %1,5; cam elyaf kumaşın dokuma kalınlığı: 0,172mm, çekme dayanımı: 2300 MPa, çekme elastisite modülü: 76 GPa, kopma uzaması: %2,8; epoksi reçinenin çekme dayanımı: 30 MPa, çekme elastisite modülü: 4,5 GPa, kopma uzaması: %0,9 olarak ürün kataloğundan alınmıştır.



a. Karbon kumaş



b. Cam kumaş



c. Epoksi reçine

Şekil 1. Elyaf kumaşlar ve çift bileşenli epoksi reçine (Fiber fabrics and bicomponent epoxy resin)

2.3. Numune üretimi ve deney düzeneği (Specimen production and test setup)

Gerekli dayanım kazanma sürecini tamamlayan betonlar kür havuzundan çıkarılarak

güçlendirilmeye hazırlanmıştır. Basınç testinde yüklerin eşit dağılması için beton basınç yüzeylerine kükürt ve grafit tozu kullanılarak başlık yapılmıştır. Betonlar yeterli kuruluğa erişinceye kadar beklenmiş ve betonların sarılma yüzeyleri tel fırça ile fırçalanmış, yapışmaya engel teşkil edecek bozukluklardan arındırılarak güçlendirilmeye hazır hale getirilmiştir.

Çift bileşenli epoksi reçinesi ve sertleştirici, ürün kataloğunda belirtilen oranlarda karıştırılarak hazırlanmış, rulo ve fırça yardımıyla beton yan yüzeylerine kuru yer kalmayacak şekilde bir kat sürülmüştür. Uygun ebatlarda kesilerek hazırlanan karbon ve cam elyaf kumaşlar beton yan yüzeylerine enine farklı katmanlarda sarılmıştır. Beton yüzeyine sarılan kumaşlar üzerine bir kat reçine sürülerek kumaşlar reçineye doyurulmuştur. Ürün şartnamesini de dikkate alarak 130 mm bindirme boyu ile kumaşların yükleme sırasında beton yüzeyinden sıyrılması önlenmiştir. Güçlendirme işlemi tamamlanan betonlar epoksi reçinenin sertleşme sürecini tamamlayıncaya kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 2.)

Karbon ve cam FRP kompozitler ile yapılan deney sonuçları incelenerek hibrit güçlendirmeye karar verilmiştir. Karbon FRP ile yapılan güçlendirmede birinci, cam FRP’de ise ikinci ve üçüncü kat güçlendirmede en iyi performans alınmıştır. Ayrıca karbon elyafın deformasyon kabiliyetinin az olmasını da dikkate alarak betonlar önce bir kat karbon kumaş ile sarılmış üzerine iki kat cam kumaş ile sarılarak güçlendirilmiştir.



Şekil 2. Güçlendirilmiş beton numuneler (Strengthened concrete Specimens)

Basınç test cihazının yükleme hız ayarları ($0,5 \pm 0,2$ MPa/sn.) yapılmış ve haricen takılan 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. (Şekil 3). Betonlar basınç test cihazında kırılma gerçekleşinceye kadar sabit hızlı yükleme ile basınç testine tabi tutulmuştur.



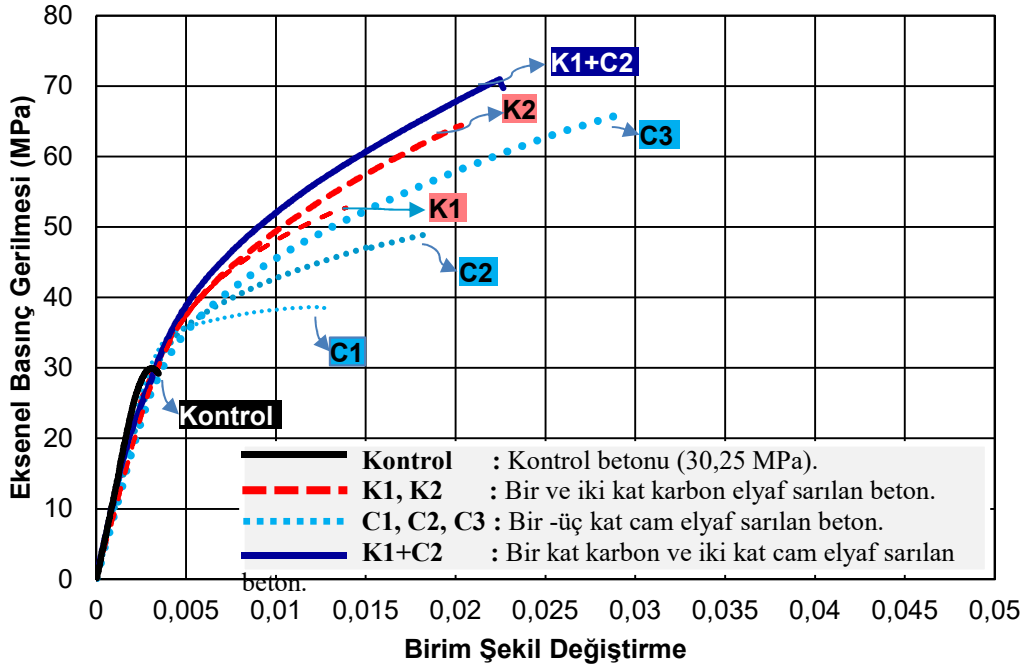
Şekil 3. Deney düzeneği ve veri aktarımı (Experiment setup and data transfer)

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Eksenel doğrultuda ve sabit hızlı yükleme altında test edilen betonların ortalama test sonuçları Tablo 1’de sunulmuştur. Numune gruplarının eksenel gerilme ve birim şekil değiştirme grafikleri hesaplanarak çizilmiş, numune gruplarını temsil eden ortak grafikler Şekil 4’te sunulmuştur.

Tablo 1. Numunelerin ortalama test sonuçları (Average test results of the Specimens)

Numuneler	Eksenel Basınç Gerilmesi (MPa)	Birim Şekil Değişirme (mm/mm)
Kontrol betonu	30,25	0,0032
C1	37,40	0,0120
C2	50,70	0,0200
C3	64,70	0,0290
K1	51,85	0,0130
K2	64,00	0,0200
K1+C2	73,10	0,0230



Şekil 4. Numunelerin örnek basınç gerilmesi ve şekil değişirme grafikleri (Compressive stress and strain charts of specimens)

Test sonuçları incelendiğinde; beton numune grupları kendi içerisinde benzer davranış gösterdiği, sarım sayısı arttıkça dayanım ve deformasyon kabiliyetinin de arttığı ancak bu artışın aynı oranda olmadığı ve FRP kompozitler bindirme (130mm) bölgelerinden sıyrılmadığı tespit edilmiştir. FRP kompozitler ile güçlendirilen betonlar son dayanımlarına eriştiklerinde betonların orta bölgelerine yakın yerlerinden FRP kompozitler koparak beton yüzeyinden ayrılmış ve beton orta bölgeden parçalanarak kırılmıştır. Kontrol betonlarının ortalama basınç dayanımı 30,25 MPa, bu dayanıma karşılık gelen birim şekil değişirmesi 0,0032 olarak bulunmuştur (Tablo 1).

Kontrol betonuna kıyasla bir kat cam elyaf kumaşla sarılarak güçlendirilen betonların (C1)

basınç dayanımındaki artış %23,6, şekil değişirme kapasitesinde artış 3,3 kat; iki kat cam kumaş ile güçlendirilen betonların (C2) basınç dayanımındaki artış %67,6, şekil değişirme kapasitesindeki artış 6,25 kat olarak hesaplanmıştır. Üç kat cam kumaş ile güçlendirilen numunelerin (C3) basınç dayanımında %114, şekil değişirme kapasitesinde 9,1 kat artış olmuştur. Bir kat karbon kumaş ile güçlendirilen betonların (K1) ortalama basınç dayanımındaki artış %71, iki kat karbon kumaş ile güçlendirilen betonların (K2) betonunun basınç dayanımı %112 kat artmış, sırasıyla şekil değişirme kapasiteleri 4 kat ve 6,25 kat artmıştır.

Bir kat karbon + iki kat cam elyaf sarılarak güçlendirilen betonların (K1+C2) basınç

dayanımında %142, şekil değiştirme kapasitesindeki 7,2 kat artış olmuştur.

K1+C2 numuneleri; C3 numunelerine kıyasla %13, K2 numunelerine kıyasla %14 daha yüksek dayanım göstermiştir. Şekil değiştirme kapasitelerinde ise C3 numunesine göre %21 oranında azalma, K2 numunesine göre %15 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Böylece K1+C2 hibrit şeklinde yapılan beton güçlendirme K2 ve C3 e göre basınç dayanımına göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Numune sargı sayısının etkisi incelendiğinde bir, iki ve üç kat cam elyaf kumaş ile sarılarak güçlendirilen (C1, C2 ve C3) betonların dayanımında sırasıyla 7,15 MPa, 20,45 ve 34,45 MPa artış olmuştur. İki ve üç kat cam kumaş ile sarılarak güçlendirmede dayanım artış oranı benzer ve bir kata göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak C1, C2 ve C3 betonların şekil değiştirme kapasitelerindeki değişim benzer oranlarda olmuştur. K1 ve K2 betonlarının dayanımlarındaki artış sırasıyla 21,6 ve 33,75 MPa'dır. K2 betonundaki dayanım artışı K1 betonlarındaki kadar etkin olmamış iki kat sarımda performans düşmüştür.

FRP kompozitler betonun dağılmasını engelleyerek betona kuşatılmış beton özelliği kazandırmaktadırlar. Betonarme yapılarda enine donatılar (etriyeler) ile kazandırılan kuşatılmış beton özelliğinin FRP kompozitler ile de kazandırılabilceği yukarıda elde edilen sonuçlar ile açıkça gösterilmiştir.

Eksenel basınç altında beton eksenel doğrultuda kısılrken poisson oranı etkisiyle enine doğrultuda şişer ve çatlar. Betonarme kolonlarda kullanılan etriye betonun şişmesini engelleyerek betona yanal basınç uygular. Uygulanan bu yanal basınç etkisiyle kuşatılmış betonun dayanımı ve sünekliği artar. FRP kompozitler ile sarılarak güçlendirilmiş betonarme kolonda ise bu kuşatma etkisi FRP kompozitler tarafından sağlanır. Dolayısıyla bu şekilde güçlendirilmiş olan betonarme kolonlar yüksekliği boyunca sürekli olarak kuşatılmış beton davranışı gösterirler.

Etriye adım mesafesi yeterli olmayan kolonların güçlendirilmesinde dışarıdan etriye sarmanın oldukça zahmetli bir işlem olduğu bilinmektedir. Ülkemizde yaygın olarak karşılaşılan bu tür betonarme kolonlar, yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip ve uygulaması oldukça kolay

olan FRP kompozitler kullanılarak etkin bir şekilde güçlendirilebilir.

Yapılan deneysel çalışmalar her ne kadar standart boyutlarda üretilen silindir betonlarla sınırlı olsa da, elde edilen sonuçlar FRP kompozitlerin beton dayanımı yetersiz ve etriye adım mesafesi standartlara uygun olmayan betonarme kolonların güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilceğini açıkça ortaya koymuştur. Özellikle etriye mesafesi standartların çok üzerinde olan betonarme kolonların bu bölgedeki betonlarına kuşatma etkisi özelliği kazandırılarak betonun bütünlüğü korunmuş, boyuna donatıların burkulması engellenmiş, düşük dayanımlı betonun dayanımı ve sünekliği artırılmış olacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

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 ve test edilmiştir. Yükleme sonucunda FRP kompozitlerin bindirme boylarından sıyrılmadığı, numunelerin orta bölgelerinden lifler koparak betonun yüzeyinden ayrıldığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre;

1. Beton numune grupları kendi içerisinde benzer davranış gösterdiği, sarım sayısı arttıkça dayanım ve deformasyon kabiliyetinin de arttığı ancak bu artışın aynı oranda olmadığı, kullanılan elyaf türüne göre sargı katmanlarının etkilerinin değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.
2. C1, C2 ve C3 numunelerin iki ve üç kat sarımda dayanım artışı benzer oranlarda ve bir kat sarıma göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak C1, C2 ve C3 betonların şekil değiştirme kapasitelerindeki değişim benzer oranlarda olmuştur. K2 betonundaki dayanım artışı K1 betonlarındaki kadar etkin olmamış iki kat sarımda güçlenme performansı düşmüştür.
3. C3 ve K2 numunelerinin basınç dayanımları benzer olmasına rağmen şekil değiştirme kapasitelerindeki artışın aynı oranda olmadığı, K1+C2 hibrit şekillinde yapılan güçlendirmenin tekil güçlendirmeye (K2 ve

C3) göre dayanım açısından daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

4. Betonarme kolonlarda kullanılan etriye, betonun şişmesini engelleyerek betona yanal basınç uyguladığı, bu yanal basınç etkisi kuşatılmış betonun dayanımını ve sünekliğini artırdığı bilinmektedir. Benzer etki FRP kompozitler ile güçlendirilen betonlarda da elde edilmiştir. FRP kompozitler betonun dağılmasını önleyerek betona önemli ölçüde dayanım ve şekil değiştirme kabiliyeti kazandırmaktadır. Ayrıca Sargı katmanı arttıkça betonların bütünlüğünü daha iyi koruduğu tespit edilmiştir.
5. Etriye adım mesafesi yeterli olmayan kolonların güçlendirilmesinde dışarıdan etriye sarmanın oldukça zahmetli bir işlem olduğu bilinmektedir. Günümüzde yaygın olarak karşılaşılan bu tür betonarme kolonların hibrit FRP kompozitler ile güçlendirilmesi avantaj sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Saatcioglu *et al.*, “The August 17, 1999, Kocaeli (Turkey) earthquake — damage to structures,” *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 4, pp. 715–737, 2001.
- [2] H. Sezen, A. S. Whittaker, K. J. Elwood, and K. M. Mosalam, “Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey,” *Eng. Struct.*, vol. 25, pp. 103–114, 2003.
- [3] H. Sezen, A. S. Whittaker, K. J. Elwood, and K. M. Mosalam, “Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey,” *Eng. Struct.*, vol. 25, no. 1, pp. 103–114, 2003.
- [4] H. Kaplan, S. Yilmaz, H. Binici, E. Yazar, and N. Çetinkaya, “May 1, 2003 Turkey—Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 11, no. 3, pp. 279–291, 2004.
- [5] A. Dogangun, “Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey,” *Eng. Struct.*, vol. 26, pp. 841–856, 2004.
- [6] A. Doğangün, “Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey,” *Eng. Struct.*, vol. 26, no. 6, pp. 841–856, 2004.
- [7] A. Bayraktar *et al.*, “Structural Performance Evaluation of 90 RC Buildings Collapsed during the 2011 Van, Turkey, Earthquakes,” *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 29, no. 6, p. 4014177, 2013.
- [8] M. Tapan, M. Comert, C. Demir, Y. Sayan, K. Orakcal, and A. Ilki, “Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 34, pp. 606–628, 2013.
- [9] A. Bayraktar, A. C. Altunişik, and M. Pehlivan, “Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes,” *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 53, pp. 49–72, 2013.
- [10] E. Çelebi *et al.*, “October 23, 2011 Turkey/Van-Ercis earthquake: Structural damages in the residential buildings,” *Nat. Hazards*, vol. 65, no. 3, pp. 2287–2310, 2013.
- [11] E. Damci, R. Temur, G. Bekdaş, and B. Sayin, “Damages and causes on the structures during the October 23, 2011 Van earthquake in Turkey,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 3, pp. 112–131, 2015.
- [12] R. Eid and P. Paultre, “Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns,” *Eng. Struct.*, vol. 132, pp. 518–530, 2017.
- [13] A. Mirmiran and M. Shahawy, “Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites,” *J. Struct. Eng.*, vol. 123, no. 5, pp. 583–590, 1997.
- [14] M. Shin and B. Andrawes, “Experimental investigation of actively confined concrete using shape memory alloys,” *Eng. Struct.*, vol. 32, no. 3, pp. 656–664, 2010.
- [15] Y.-Z. Zhong, Q. Yu, and Z. Tao, “Compressive behaviour of CFRP-confined rectangular concrete columns,” *Mag. Concr. Res.*, vol. 60, no. 10, pp. 735–745, 2008.

- [16] M. Seffo and M. Hamcho, "Strength of concrete cylinder confined by composite materials (CFRP)," in *Energy Procedia*, 2012, vol. 19, pp. 276–285.
- [17] T. Ozbakkaloglu and E. Akin, "Behavior of FRP-Confined Normal- and High-Strength Concrete under Cyclic Axial Compression," *J. Compos. Constr.*, vol. 16, no. 4, pp. 451–463, 2012.
- [18] A. Ilki, O. Peker, E. Karamuk, C. Demir, and N. Kumbasar, "FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 2, pp. 169–188, 2008.
- [19] J. Li and M. N. S. Hadi, "Behaviour of externally confined high-strength concrete columns under eccentric loading," *Compos. Struct.*, vol. 62, no. 2, pp. 145–153, 2003.
- [20] A. Ilki, N. Kumbasar, and V. Koç, "Low and medium strength concrete members confined by fiber reinforced polymer jackets," *ARI Bull. Istanbul Tech. Univ.*, vol. 53, no. 1, 2003.
- [21] H. Toutanji and Y. Deng, "Strength and durability performance of concrete axially loaded members confined with AFRP composite sheets," *Compos. Part B Engineering*, vol. 33, no. 4, pp. 255–261, 2002.
- [22] H. Saadatmanesh, M. R. Ehsani, and M. W. Li, "Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps," *ACI Struct. J.*, vol. 91, no. 4, pp. 434–447, 1994.
- [23] A. Ilki, N. Kumbasar, and V. Koc, "Low strength concrete members externally confined with FRP sheets," *Struct. Eng. Mech.*, vol. 18, no. 2, pp. 167–194, 2004.
- [24] H. A. Toutanji, "Stress-strain characteristics of concrete columns externally confined with advanced fiber composite sheets," *ACI Mater. J.*, vol. 96, no. 3, pp. 397–404, 1999.
- [25] L. Lam, J. G. Teng, C. H. Cheung, and Y. Xiao, "FRP-confined concrete under axial cyclic compression," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 28, no. 10, pp. 949–958, 2006.
- [26] M. F. Green, L. A. Bisby, A. Z. Fam, and V. K. R. Kodur, "FRP confined concrete columns: Behaviour under extreme conditions," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 28, no. 10, pp. 928–937, 2006.
- [27] J. G. Teng and L. Lam, "Behavior and modeling of fiber reinforced polymer-confined concrete," *J. Struct. Eng.*, vol. 130, no. 11, pp. 1713–1723, 2004.
- [28] A. Sarıbiyik and N. Caglar, "Flexural strengthening of RC beams with low-strength concrete using GFRP and CFRP," *Struct. Eng. Mech.*, vol. 58, no. 5, pp. 825–845, 2016.
- [29] F. Micelli and R. Modarelli, "Experimental and analytical study on properties affecting the behaviour of FRP-confined concrete," *Compos. Part B Eng.*, vol. 45, no. 1, pp. 1420–1431, 2013.
- [30] H. K. Karan Veysel Çelik, "Karbon elyaf ile betonun güçlendirilmesi," vol. 30, no. 412, pp. 1–12, 2014.
- [31] T. Vincent and T. Ozbakkaloglu, "Influence of concrete strength and confinement method on axial compressive behavior of FRP confined high- and ultra high-strength concrete," *Compos. Part B Eng.*, vol. 50, pp. 413–428, 2013.
- [32] T. Turgay, Z. Polat, H. O. Koksall, B. Doran, and C. Karakoç, "Compressive behavior of large-scale square reinforced concrete columns confined with carbon fiber reinforced polymer jackets," *Mater. Des.*, vol. 31, no. 1, pp. 357–364, 2010.
- [33] P. Yin, L. Huang, L. Yan, and D. Zhu, "Compressive behavior of concrete confined by CFRP and transverse spiral reinforcement. Part A: experimental study," *Mater. Struct.*, vol. 49, no. 3, pp. 1001–1011, 2016.
- [34] Y. Xiao and H. Wu, "Compressive behavior of concrete confined by various types of FRP composite jackets," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 22, no. 13, pp. 1187–1201, 2003.
- [35] Y. Xiao and H. Wu, "Compressive Behavior of Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Jackets," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 12, no. MAY, pp. 139–146, 2000.

- [36] Y.-L. Bai, J.-G. Dai, and J. G. Teng, "Cyclic Compressive Behavior of Concrete Confined with Large Rupture Strain FRP Composites," *J. Compos. Constr.*, vol. 18, no. 1, p. 4013025, 2014.
- [37] J. G. Teng and L. Lam, "Compressive Behavior of Carbon Fiber Reinforced Polymer-Confined Concrete in Elliptical Columns," *J. Struct. Eng.*, vol. 128, no. 12, pp. 1535–1543, 2002.
- [38] D. A. Bournas and T. C. Triantafillou, "Bond Strength of Lap-Spliced Bars in Concrete Confined with Composite Jackets," *J. Compos. Constr.*, vol. 15, no. 2, pp. 156–167, 2011.
- [39] K. A. Harries, J. R. Ricles, S. Pessiki, and R. Sause, "Seismic retrofit of lap splices in nonductile square columns using carbon fiber-reinforced jackets," *ACI Struct. J.*, vol. 103, no. 6, pp. 874–884, 2006.
- [40] D. a. Bournas, T. C. Triantafillou, K. Zygouris, and F. Stavropoulos, "Textile-Reinforced Mortar versus FRP Jacketing in Seismic Retrofitting of RC Columns with Continuous or Lap-Spliced Deformed Bars," *J. Compos. Constr.*, vol. 13, no. October, pp. 360–371, 2009.
- [41] K. K. Ghosh and S. A. Sheikh, "Seismic upgrade with carbon fiber-reinforced polymer of columns containing lap-spliced reinforcing bars," *ACI Struct. J.*, vol. 104, no. 2, pp. 227–236, 2007.
- [42] J. F. Berthet, E. Ferrier, and P. Hamelin, "Compressive behavior of concrete externally confined by composite jackets: Part B: Modeling," *Constr. Build. Mater.*, vol. 20, no. 5, pp. 338–347, 2006.
- [43] T. Ozbakkaloglu and J. C. Lim, "Axial compressive behavior of FRP-confined concrete: Experimental test database and a new design-oriented model," *Compos. Part B Eng.*, vol. 55, pp. 607–634, 2013.
- [44] L. Lam and J. G. Teng, "Stress-strain model for FRP-confined concrete under cyclic axial compression," *Eng. Struct.*, vol. 31, no. 2, pp. 308–321, 2009.
- [45] T. C. Rousakis, A. I. Karabinis, and P. D. Kioussis, "FRP-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modelling," *Eng. Struct.*, vol. 29, no. 7, pp. 1343–1353, 2007.
- [46] A. Ilki and N. Kumbasar, "Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme Ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve G?????lendirilmesi," *Tek. Dergi/Technical J. Turkish Chamb. Civ. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 2597–2616, 2002.
- [47] A. Sarıbıyık, N. Çağlar, and M. Elmas, "Betonların Güçlendirilmesinde Karbon Fiber Takviyeli Polimer Yerine Cam Fiber Takviyeli Polimer Kullanılması," *Iist International Symp. Innov. Technol. Engineering Science*, pp. 745–754, 2013.
- [48] A. W. C. Oreta and J. M. C. Ongpeng, "Modeling the confined compressive strength of hybrid circular concrete columns using neural networks," *Comput. Concr.*, vol. 8, no. 5, pp. 597–616, 2011.