

Karbon elyaf ile betonun güçlendirilmesi

Karan Veysel ÇELİK*, Halim KARAŞİN

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

Özet

Günümüzde yapılar birçok nedenden dolayı hasar görmektedir. Hasar gören yapılar ve düşük standartlara sahip yapıların güçlendirilmesi tüm dünyada hızla gelişmekte olan konulardan biri haline gelmiştir. Kullanım amacı değişmiş yapılar, deprem yönetmeliğine uyumlu olmayan eski yapılar ve hasar gören yapılar güçlendirme ihtiyacı taşımaktadır. Kullanılabilen güçlendirme tekniklerinden CFRP (Carbon-Fiber-Reinforced Polimer) uygulaması, geleneksel güçlendirme tekniklerine nazaran çok daha hızlı ve kolay uygulanması, malzemenin çok hafif olması nedeniyle yapıda ilave yük artışına neden olmaması ve çelikten yaklaşık 10 misli yüksek mukavemete sahip olma gibi özellikleri nedeniyle bu metodun inşaat alanındaki kullanımı hızla artmaktadır.

Bu çalışma kapsamında güçlendirme malzemesi olan karbon elyafın beton numuneler üzerindeki dayanımlılık etkisi laboratuvar ortamında mukayese edilerek incelenmiştir. Deney aşamasında standartlara uygun silindirik kalıplardan temin edilen beton numuneler laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Bu numunelerin bir kısmına epoksi yapıştırıcı yardımıyla tek kat ve çift kat olmak üzere karbon elyaf sarılarak güçlendirilmiştir. Hazırlanan tüm numunelerin laboratuvar ortamında tekrarlı eksenel yükler altındaki davranışları incelenmiş ve sarılan elyafın yapıdaki mukavemet etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca numunelere monte edilen yatay ve dikey transducerlar aracılığıyla eksenel ve çapsal deformasyon değerleri incelenmiştir. Bu deneyler neticesinde sargı sayısının artması, dayanım artışı sağlaması ile birlikte sismik performansın en önemli parametrelerinden biri olan süneklik artışını da sağladığı tespit edilmiştir. Ancak genel olarak karbon elyaf ile sargılanan numunelerden standart silindirik beton numunelerin ortalama değerleri incelendiğinde karbon elyaf ile güçlenen numunelerde yaklaşık olarak % 25 oranında dayanım artışı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: CFRP, Karbon elyaf, Beton, Mukavemet, Süneklik, Güçlendirme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Halim Karasin, karasin@dicle.edu.tr ; Tel: (412) 248 80 30 (3516)

Structural Strengthening with Carbon Fiber

Extended abstract

In the recent years, strengthening of Reinforced Concrete (RC) elements using Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP) sheets tends to be more popular depends on development of civil engineer materials. Due to lightweight with high strength and corrosion properties, CFRP become an alternative strength material in strengthening reinforced concrete structures.

Buildings can be damaged because of many reasons nowadays. Damaged buildings and strengthening buildings with low standards became one of the fast developing subjects all over the World. Buildings that purpose of use has been changed, old buildings not in compliance with earthquake regulation and damaged buildings need to be strengthened. Carbon fiber, used in one of the strengthening techniques Carbon Fiber Method, despite being thin and light as shirt fabric, increases the strength of component element acting as a steel plate when applied with epoxy cement. Additionally, as it is more faster and easier to apply according to traditional strengthening techniques and being very light that does not cause extra load increase and giving 14 times more strength than steel, use of this method in construction is increasing fastly.

Concrete known as a typical brittle material which is too weak in tension with respect to its compression strength is mostly used with reinforcements for bending of structures. It can be defined as inelastic, nonhomogeneous and nonlinear material. In this study it is aimed to investigate behavior of reinforced concrete sections strengthened by wrapping with Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP), which has high tension strength, to eliminate weakness property of concrete in laboratory conditions. For this purpose, the 10 pieces of concrete samples of standard cylindrical specimens have 150 mm diameter and 300 mm height were prepared. Ready mixed concrete was used for preparing the concrete specimens with appropriate amount of cement, water, sand, gravel, stone powder, admixtures. After 28 day

curing period, lets the concrete to gain its desired strength, can be accepted as water content in the mix not allowed to evaporate from the concrete the standard cylindrical samples obtained for wrapping process. Firstly, all surfaces of the dried standard specimens with the help of a brush have been cleared of dust and similar substances providing dust-free surface for the fiber application. Then required amounts of carbon fiber samples were prepared with suitable dimensions for jacketing the samples as a confinement. 4 of 10 samples prepared as unconfined, 3 of them wrapped with CFRP as single layered and the other 3 double-layered with the help of epoxy. Then the 28 days old specimens tested under monotonic uniaxial compression to determine the strength-strain relation. Also via horizontal and vertical transducers assembled to samples, axial and diametrical values have been examined. In order to define the descending portion of the concrete behavior curve several compressive loading proceeds repeated for each sample. Such cyclic loading, unloading under high deformations and reloading, process were evaluated to discuss the CFRP effects on concrete behavior. The results obtained in this experimental study shown that confining by wrapping with CFRP of concrete sections examined under repeated axial load in laboratory environment and strengthening effect of wrapped fiber has been observed.

As a result of these study, increase of wrapping number has been determined to increase in strength also with increase in ductility which is one of the most important parameters of seismic performance. In the case of average values of cylinder concrete samples were examined, samples strengthened by carbon fiber were observed to show 25% more strength. It should be noted that the CFRP has no significant effects on behavior of concrete with high strength.

Keywords: CFRP, Concrete, Strength, Ductility, Strengthening.

Giriş

Bilindiği gibi depremler meydana getirdiği can ve mal kayıpları yönünden doğal afetler içerisinde en şiddetli olanıdır. Dünyada meydana gelen depremlerde tespit edilen yapı hasarları ve kayıplar; mevcut tasarım standartlarının ve inşaat kalitesinin yetersizliğinden, bilgi eksikliğinden, yapım hatalarından veya yönetmelik kurallarına uyulmayışından kaynaklandığını göstermektedir. Yaşanan depremler yapıların depreme dayanıklı tasarım ilkelerine ilişkin birikimlerini artırırken, hasara uğrayan yapıların onarım ihtiyaçlarının varlığını göstermiştir. Yeni yapıların deprem koşullarına uygun olarak yapılması ve mevcut yapıların güçlendirilmesi pek çok ülkede hızla büyüyen bir mühendislik alanı haline gelmiştir.

Türkiye dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alır. Ülkemiz yüz ölçümünün % 42' si birinci derece deprem kuşağı üzerinde bulunduğundan Ülkemizdeki yapıların depreme dayanıklı olması gerekmektedir. Erzincan'da 1939 yılında, Çaldıran'da 1976 yılında, Erzurum'da 1983 yılında, Kocaeli ve Düzce'de 1999 yılında, Bingöl'de 2003 yılında ve Van'da 2011 yılında yaşanan depremlerde tespit edilen kayıplar ve yapı hasarları mevcut yapı stokunun deprem güvenliliğinin yetersizliğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle Türkiye'deki mevcut yapı stokunun güvenlik düzeyinin artırılması bir gereklilik haline gelmiştir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde temel hedef; olası bir depremde can kaybının en aza indirilmesi ve deprem güvenliği olmayan yapıların çeşitli yöntemler kullanılarak depreme karşı uygun bir şekilde güçlendirilmesidir. Deprem güvenliği zayıf yapılarda sorunun çözümü için iki yola başvurulabilir. Ya yapıyı yıkmak ve yapıyı günümüz standartlarına ve yönetmeliklerine uygun şekilde yeniden inşa etmek ya da yapıyı güçlendirme yoluna gitmektir. Her ikisinde de verilecek karar hasarın büyüklüğüne ve ekonomik faktörlere dayanmaktadır (Akdere, 2006). Hasar görmüş bir yapıyı hasar nedeninin önüne geçmeden önceki güvenlik düzeyine geri getirerek onarmak yetersiz olmakla beraber o yapının benzeri bir hasarı tekrar göstermesi

muhtemeldir. Bu nedenle hasar gören yapıyı güçlendirme yöntemlerinden biri ile hasar görmeden önceki güvenlik düzeyinin üzerinde, öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkararak yapının veya yapı elemanının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini veya bunlardan bazılarını gereken düzeylere çıkarmak gerekir ki burada inşaat mühendislerine önemli bir görev düşmektedir. İnşaat mühendisleri hasarına karar verdikleri bir yapının zemin etütlerini, statik değerlendirmesini, betonarme kalitesinin tespitini fizibilite gibi etütler ışığında analiz ederek yapının hasar nedenlerini belirler. Böylece yapının güçlendirilmesine, yıkılmasına veya sağlam olduğuna bir karar verir (A.Dora, 2005). Yapının güçlendirilmesi kararı verilmesi durumunda betonarme mantolama ve betonarme perde ilavesi, çelik konstrüksiyon ve CFRP gibi güçlendirme tekniklerinden biri ile yapı güçlendirilir (Şekil 1).



Şekil 1. Güçlendirme teknikleri

Bir yapının güçlendirilmesi için yapının hasar görmesi gerekmez. Yapının kullanım amacının değişmesiyle düşey yönde etkiyen hareketli yüklerde artışın meydana gelmesi, Yönetmelik değişmesiyle yapıdaki eski deprem kuvvetlerinin hesap yönteminin yenisine uymaması, yapı elemanlarının ve malzemelerinin kullanım ömrünü doldurması gibi nedenlerden dolayı da yapı güçlendirme gereksinimi duyabilir (Bayülke, 1998).

Bu çalışma kapsamında, güçlendirme tekniklerinden olan FRP metodunun hasar görmüş ya da görmemiş yapı elemanındaki etkileri beton numuneler üzerinde deneyerek mukayese edilmiştir. Deneysel çalışmalarda karbon elyafın sarılarak güçlendirdiği beton numunelerin tekrarlı eksenel yükler altındaki davranışları incelenmiş ve sarılan elyafın yapıda mukavemete etkisi gözlemlenmiştir.

Malzeme bilgisi

Epoksi yapıştırıcıları

Epoksi reçineler, polimer kimyasından çok daha öncesinden yer alan ve farklı uygulama alanlarında kullanılan ürünlerdir. Epoksi reçineleri tek başlarına kullanılmaz. Sertleştirici adı verilen kimyasal bir madde ile karıştırılmalıdır. Reçine ve sertleştiricinin kimyasal reaksiyonu sonucunda sert ve geri dönüşü olmayan bir malzeme meydana gelmektedir. Reçinenin akışkanlığı ve reaksiyon hızı ortam ısısına bağlıdır. Karıştırma sırasında reçinenin sıcaklığı 10-35°C arasında bulunmalıdır. Uygulama yapılacak yüzeyde birikmiş su olmamalı, rutubet oranı % 6' dan yüksek ise rutubete karşı önlem alınmalıdır. Reçineler mümkün olduğu kadar aynı kaplarda karıştırılmalı, karıştırmak için düşük devirli matkap kullanılmalıdır. Kullanılacak yapıştırıcının sahip olması gereken özellikler;

1. Düşük viskozite ($\mu < 3000$ MPa.s)
2. Yeterli rijitlik ($E = 5-10$ GPa)
3. Yüksek eğilme dayanımı (>50 MPa, TSEN 196)

Lifli polimerler

İngilizcede Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP) kelimelerinin kısaltılması ile bilinip dilimize Lifli Polimer (LP) olarak geçen bir güçlendirme malzemesidir. FRP kompozit güçlendirme uygulamalarının kapsamı oldukça geniştir. Betonarme, beton, tuğla, taş, ahşap, çelik, bacalar bütün yapı elemanlarına dıştan rahatlıkla uygulanan yapısal güçlendirme malzemesidir. FRP sistemleri, karbon, aramid, kevlar, cam ve bazalt gibi yüksek fiziksel özellikleri olan malzemelerden üretilen kompozit sistemlerdir. Çeşitli epoksilerle hafif

fakat çok yüksek mekanik dayanımlara sahiptirler. FRP kompozit malzemeler tek ve çift yönlü kumaşlar (fabrik) ve şeritler (plaka), ankrajlar ve çubuklar olarak üretilmektedir.

FRP kompozitler, inşaat sektöründe tasarım kolaylığı, farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkânı, uygulama ve kullanma kolaylığı gibi olanaklar sağlamaktadır. Uygulandıkları yapıda ve yapı elemanında ise yük taşıma kapasitesini artırma, eğilme dayanımını artırma, durabliteyi geliştirme, dinamik yüklerden gelen yorulma direncini güçlendirme gibi olanaklar sağlamaktadır. Hafif ve esnek bir malzeme olmasından dolayı yapıda ölü yük artışına neden olmaz. 1990'ların başından itibaren ABD, Kanada ve Sudi Arabistan'ı kapsayan birçok ülkeden araştırmacı bu alandaki çabalarını bir araya getirdiler ve kompozitlerle yeniden donatımın değişik analiz, tasarımı, uygulama ve dayanıklılık özelliklerini incelediler. Deneysel sonuçlar sonucunda elde edilen cesaret verici sonuçlar saha uygulamalarına yol açtı. 1990'ların başından bu yana bütün dünyada 1500 ün üzerinde yapı FRP kompozitler kullanılarak güçlendirilmiştir. İlk saha uygulamalarından birisi, 1991 yılında İsviçre Lucerne'de, kutu kesitli bir beton köprü olan Ibach köprüsü üzerinde uygulanmıştır (Büyüköztürk vd, 1998).

Karbon fiber çeşitlerinden olan karbon elyaf kumaş, gömlek kumaşı kadar ince bir malzeme olup dünyada bilinen en sağlam malzemelerden biridir. Kumaş inceliğinde olan karbon elyaf çelikten 14 kat daha gerilmeye mukavim olmasına rağmen ağırlığı çeliğin beşte biri civarındadır. Makasla kesilip duvarlara uygulandıktan sonra bir çelik levha gibi katlaşmaktadır. Karbon lifli polimerlerle güçlendirilen tuğla duvarlar, deprem sırasında yapının ileri geri oynamasını azaltıp rijitliğinin artmasını sağlıyor ve böylelikle binanın depremde zarar görme riskini en aza indiriyor. Karbon elyaf tüm yapı elemanlarına dıştan rahatlıkla uygulanan yapısal güçlendirme malzemesidir ve güçlendirilen duvarların dışarıdan sıva ile veya alçıpan ile kapatılarak

normal bir duvar görüntüsüne kavuşturulması da mümkündür.

Lifli polimerler yapıların depreme karşı güçlendirmesinde, mevcut yapının kullanım amaçlarındaki değişikliklerde, yapıların yeni yönetmeliklere uygun hale getirilmesinde, kirişlerin, döşemelerin, duvarların, kolonların, bacaların, siloların, tünellerin, boruların, tankların ve diğer elemanların güçlendirilmesinde kullanılabilir (Karaşin vd., 2009).

Karbon elyaf tarihi

Karbon fiber tarihi 1800'lü yılların sonlarına kadar uzanır. Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Karbon elyaf çoğunlukla Zift ve Pan denen iki malzemeden elde edilir; Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanırlar. Pan (Poli, Akriko, Nitril) tabanlı karbon elyaflar kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmalarından dolayı sürekli geliştirilmektedir. PAN'ın karbon fibere dönüşmesi oksidasyon, karbonizasyon, yüzey iyileştirmesi ve kaplama gibi işlemler sonucu gerçekleşmektedir.

Karbon elyafın uygulanışı

Karbon elyaf yapıştırılacak yüeyin hazırlığının doğru yapılması çok önemlidir. Beton yüzeyi; yağ, kir, zayıf kısımlar, sıva ve boyalardan kumlama veya taşlama gibi mekanik yöntemlerden biri kullanılarak temizlenmelidir. Beton yüzeyin minimum çekme dayanımı 1,5 N/mm² olmalıdır. Yüzey Bozuklukları düzeltilmelidir. Epoksi yapıştırıcısı hazırlanan yüzeye sürülür. Karbon elyaf gerilerek yapıştırılır ve epoksi ile iyice doyurulur. Karbon elyaf üzerine son kat epoksi uygulanır. Koruyucu kaplama yapılacaksa kum serpilir ve daha sonra sıva veya başka bir uygulama ile işlem tamamlanır.

Kullanım avantajları

Yüksek çekme dayanımı ve elastisite modülüne sahip olması, Çelik veya betonarme mantoloma gibi geleneksel güçlendirme tekniklerine

nazaran çok daha hızlı ve kolay uygulanması, çok hafif olmaları nedeniyle yapıda ilave yük arışına neden olmamaları ve çelikten 14 misli olmanın verdiği yüksek mukavemet bu tekniğin en belirgin avantajlarıdır.

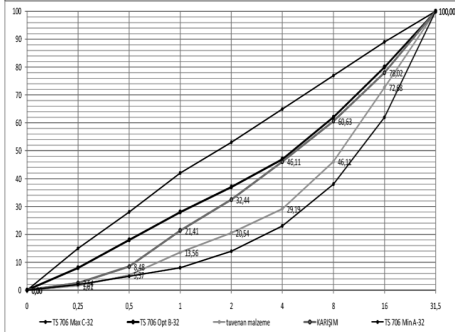
Kullanım dezavantajları

Maliyeti yüksek pahalı bir malzeme oluşu, 80 °C' ye kadar dayanabildiğinden karşı dayanıksız oluşu, C12 sınıfı beton dayanımı altındaki kirişlere ve ayrıca inşaat sektörü ile yakın zamanda tanıştığından zamana karşı direnç ömrünün bilinmeyişi bu tekniğin en belirgin dezavantajlarıdır.

Deneyisel çalışma

İki bölümden oluşan deneyel çalışmanın ilk bölümünde hazır beton santralinden alınan çapı 150 mm, boyu 300 mm ölçülerindeki 10 adet standart silindir taze numune bulunmaktadır. İkinci bölümde 5 katlı bir yapıdan alınan çapı 65 mm, boyu 130 mm ölçülerinde 9 adet karot numune bulunmaktadır. Bu numunelerin bir kısmına herhangi bir sarım işlemi uygulanmadı, bir kısmına ise karbon elyaf sarılarak güçlendirildi. Tüm numuneler tekrarlı yükler altında deneye tabi tutuldu ve eksenel yük altındaki davranışları gözlemlendi.

Kullanılan betonun 1 m³ ağırlığı 2428.94 kg' dır. Beton karışımı içindeki malzemelerin ağırlıkça dağılımı incelenecek olursa; 1 m³ beton karışımı içindeki 0-7 mm'lik elekten geçen agreganın ağırlığı 1024.87 kg, 7-15 mm' lik elekten geçen agreganın ağırlığı 388.18 kg, 15-25 mm' lik elekten geçen agreganın ağırlığı 525.99 kg, Su 156.60, Çimento 330 ve kullanılan katkı maddesi 3.30 kg' dır. Karışımda bağlayıcının % 1' i kadar hiperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Su kesme özelliğine sahip hiperakışkanlaştırıcı madde su/çimento oranını düşürerek beton standardının artmasını sağlanmıştır.



Şekil 2. Beton Karışımının Granülometri Eğrisi

Beton karışımı içerisinde kullanılan agreganın sahip olduğu elek analizi ve granülometri eğrisi Türk Standartlarına (TS 706) uygunluğu Şekil 2’ de görülmektedir. Granülometri eğrisi incelendiğinde karışımın eğrisi, A eğrisi ile B eğrisi arasında optimum eğrisine çok yakın bir yerde bulunmaktadır böylece karışımın standartlara uygun olduğu görülmektedir.

Deneyel Çalışmalar

Deneyel Çalışmanın ilk bölümünde çapı 150 mm, boyu 300 mm ölçülerinde ve 7.5 kg ağırlığında standartlara uygun 10 adet silindirik kalıp temin edildi ve temizlendi. Numunelerin rahat çıkabilmesi için kalıplara çimento ile etkileşime girmeyecek nitelikte yağ sürüldü. Yarısı boşaltılmış C-25/30 standardında beton yüklü bir transmikserden deneyler için gerekli olacağı tahmin edilen miktarın 2 katı miktarda taze beton numunesi alındı. Transmikserden alınan harç kalıplara 3 tabaka halinde koyuldu ve her tabaka düz daire kesitli çelikten yapılmış, çapı 16 mm boyu 600 mm ve ucu yuvarlatılmış sıkıştırma çubuğu ile 25 defa şişlendi (Şekil 3).



Şekil 3. Kalıp İçindeki Harcın Sıkıştırılması

Sıkıştırma çubuğu darbelerinin kalıp en kesit alanına eşit şekilde dağılmasına önem verildi, ilk tabakanın sıkıştırılmasında, çubuğun kalıp tabanına sertçe çarpmamasına, diğer tabakaların sıkıştırılması esnasında da bir önceki tabakaya fazla girmemesine dikkat edildi. Sıkıştırma sonrasında, kalıbın dış kenarlarına, sıkıştırma çubuğu darbelerinden geriye kalan boşluklar doluncaya kadar tokmak ile hafifçe vurularak dayanım kaybına neden olabilecek boşlukların dolması sağlandı. Bu işlem hava kabarcıklarının çıkışı duruncaya kadar devam etti.

Kalıpların üst yüzeyinden taşan fazla beton harcı çelik bir mala yardımı ile kesme hareketi yaparak alındı ve beton yüzeyi dikkatlice düzeltilti. Bir gün bekletilen numuneler kalıplardan dikkatlice çıkartıldı ve 22 °C deki bir kür havuzuna bırakıldı (Şekil 4). 28 gün kür havuzunda bekleyen numuneler etüv denen fırında maksimum kuruluk derecesine ulaşması ve epoksinin sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi için 105 °C de 24 saat bekletildi.



Şekil 4. Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi



Şekil 5. Karbon Elyafın Numunelere Uygulanması

Tamamıyla kuruyan numunelerin yüzeyleri bir fırça yardımı ile toz ve benzeri maddelerden temizlendi. Burada amaç elyafın uygulanacağı yüzeyin tozdan arınmış, pürüzsüz ve temiz olmasıdır. Gerekli miktarda karbon elyaflar ölçülendirilerek kesilip hazırlandı. Numunelerden 4'ü sargısız, 3'ü tek kat sargılı ve kalan son 3'ü çift kat sargılı olması planlandığından SZ-300/X, SL1-300/X, SL2-300/X sembolüyle sırasıyla isimlendirildiler, Bu isimlendirme sisteminde X numune sayısını temsil etmektedir. İsimlendirme işlemi bittikten sonra epoksi hazırlığı için mavi renkli olan epoksi reçinesinin ve saydam renkli olan sertleştirici malzemenin yetecek kadarı gereken oranlarda bir kaba alındı. Karıştırıcı başlıklı bir matkap yardımı ile 2 dakika kadar düşük devirde karıştırıldı. Epoksi karışımı kısa sürede reaksiyona geçtiğinden hazırlanan epoksi karışımı bir rulo yardımı ile seri şekilde numunelerin yüzeyine sürüldü ve önceden kesimi hazırlanan 6 adet 30*52 cm ölçülerinde karbon elyaf karışımının sürüldüğü numunelere sarıldı (Şekil 5).

Birinci kat karbon elyaf sarım işlemi biten 6 numune kuruması için beklemeye alındı. Kuruması tamamlanan 6 karbon elyaf sarılı numuneden herhangi 3'üne epoksi karışımı tekrar sürülerek ikinci kat karbon elyaflar sarıldı ve tekrar kuruması için bekletildi. Böylece 150*300 mm ölçülerindeki 10 adet silindirik numuneden 4 adet numuneye herhangi bir sarım işlemi uygulanmadı. 3 adet numuneye tek kat karbon elyaf sarıldı ve 3 adet numuneye ise çift kat karbon elyaf sarıldı. Karbon elyaf sarım işlemi uygulanan 6 numunenin yanal yüzeylerine son kat epoksi karışımı sürüldü ve yine kurumaları için bekletildi. Bu bekleme süresi ortam ısısına ve hava koşullarına bağlıdır süreyi kısaltmak amacıyla numuneler açık havada bekletildi. Tamamıyla kuruyan 6 numunenin ve herhangi bir sargı işlemi uygulanmayan 4 numunenin alt ve üst yüzeylerinde gözle görünür herhangi bir bozukluk bulunmamasına rağmen deney esnasında aksel yükün uygulanacağı yüzeyin tam olarak pürüzsüz ve düz olabilmesi için kükürt başlıklama yöntemi ile numuneler başlıklandı (Şekil 6).



Şekil 6. Numunelerin Başlıklanması



Şekil 7. Numunelerin Deneye Hazırlanışı

Bu başlıklama işleminde kükürt ve grafit tozları belli oranlarda karıştırılarak 150 °C' ye kadar ısıtılıp karışımın sıvı hale geçmesi sağlandı. Derinliği 5 mm çapı 155 mm olan çelik bir kalıbın üzerine bu sıvı döküldü. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri çelik kalıba dökülen kükürt grafit sıvısının üstüne düzgünce bırakıldı. 160 °C' deki kükürt sıvısının donarak katı hale geçmesi 3 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleştiğinden sıvı karışım kalıba döküldükten sonra numune zaman kaybetmeden kalıba çabuk ve dikkatli bir şekilde oturtuldu. Kalıp Etrafından taşır donan kükürt-grafit karışımı bir spatula yardımıyla dikkatlice traşlanarak temizlendi. Başlıklama işlemi biten 10 numune taşıma sırasında zarar görmemesi için oda sıcaklığında bir gün bekletildi.

Başlıkları kuruyan numuneler laboratuvarda sargısız, tek kat sargılı ve çift kat sargılı olmak üzere gruplara ayrılarak deney için hazırlandı. Bu numunelerden sırasıyla karbon elyaf sargılama işlemi uygulanmayan numuneler ardından tek kat sargılı ve son olarak çift kat sargılı numuneler deneye alınarak yük altında yenilmeleri ve yenilirkenki davranışları incelendi. Deney esnasında eksenel yük altında yenilen silindir numunenin boyunda ve çapında meydana gelecek deformasyon değerlerinin elde edilebilmesi için, numuneye enine ve boyuna olmak üzere 2 adet transducer, vidalar yardımıyla numuneye sabitlenen ve numune ile beraber hareket eden çelik bir aparata monte edildi (Şekil 7).

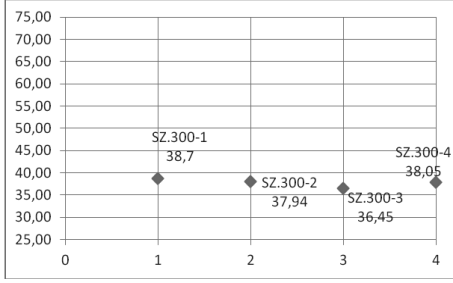
Numunelerden önce sargısız olan 3 adet karot numune, ardından tek kat karbon elyaf sargılı 3 numune ve son olarak çift kat karbon elyaf sargılı 3 numune Dicle Üniversitesi Laboratuvarında eksenel yük altında basınç deneyine tabi tutuldu.

Araştırma bulguları

Silindir beton numunelere uygulanan yüklemenin hızı, dayanımı ve numunelerin göstermiş olduğu eksenel ve çapsal deformasyon değerleri numunelerin önceden isimlendirildikleri sembollerle verilmiştir (Tablo1). Laboratuvarında eksenel yük altında basınç deneyine tabi tutulan 150mm çapında ve 300 mm uzunluğundaki standart silindir numune kalıplardan elde edilen 10 adet numuneden 4 sargısız numunenin ilk yüklemdeki dayanım değerleri grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 8).

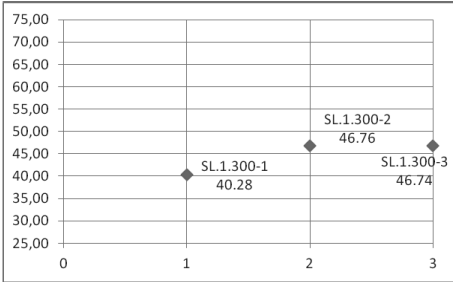
Tablo 1. Silindirik beton numunelerin deney sonuçları

150*300 SİLİNDİR KALIPLARDAN ALINAN NUMUNELER													
Numune isimleri	SZ-300/1	SZ-300/2	SZ-300/3	SZ-300/4	SL1-300/1	SL1-300/2	SL1-300/3	SL2-300/1	SL2-300/2	SL2-300/3	SL2-300/1	SL2-300/2	SL2-300/3
AĞIRLIK	12447,5	12490	12440	12445	12716,5	12725	12817	12829,5	12891,5	12893			
YÜKLEME HIZI KN/s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P1 (KN)	683,885	672,343	644,053	670,514	711,893	826,319	825,897	1086,981	1010,556	909,36			
σ1 (MPa)	38,7	38,05	36,45	37,94	40,28	46,76	46,74	61,51	57,19	51,46			
Ex1 (% Ax)	0,23	0	0,377	0,272	0,385	1,554	0,06	0,607	1,592	0,941			
Ed1 (% Diam)	0,515	0	0,536	0,64	2,753	2,697	2,34	0,061	1,633	2,271			
YÜKLEME HIZI KN/s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P2 (KN)	505,007	530,853	452,909	476,049	531,123	Numune	699,085	Numune	430,041	878,114			
σ2 (MPa)	28,58	30,04	25,63	26,94	30,05	Dağıldı 2.	39,56	Dağıldı 2.	24,34	49,69			
Ex2 (% Ax)	0,318	0,013	0,329	0,329	0,48	yükleme	0,563	yükleme	1,046	0,792			
Ed2 (% Diam)	0,977	0,353	0,723	0,723	1,33	yapılmadı	1,135	yapılmadı	1,763	0,097			



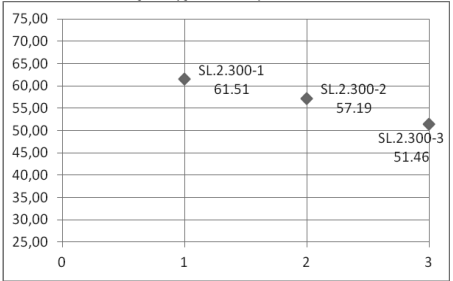
Şekil 8. Sargı İşlemi Uygulanmayan Silindir Numuneler

Tek kat sargılı olan 3 adet silindir numunenin ilk yüklemesindeki dayanım değerleri grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 9).



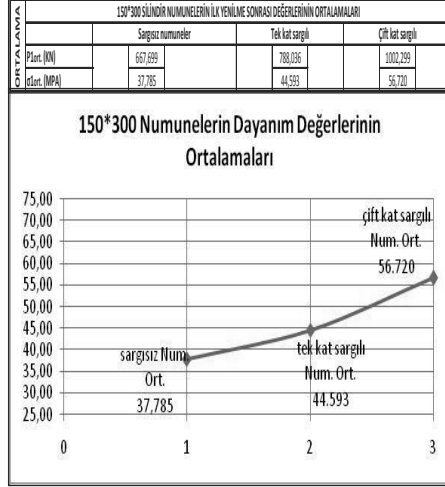
Şekil 9. Tek Kat Sargı İşlemi Uygulanan Silindir Numuneler

Çift kat sargılı olan 3 adet silindir numunenin ilk yüklemesindeki dayanım değerleri grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Çift Kat Sargı İşlemi Uygulanan Silindir Numuneler

150*300 mm ölçülerindeki kalıplardan elde edilen silindir 10 beton numuneden 4 sargısız numunenin, 3 tek kat sargılı numunenin ve 3 çift kat sargılı numunenin yenilme dayanım değerlerinin ortalamaları ve yenilme yükleri ve yenilme dayanımları verilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Silindir Numunelerin İlk Yüklemesindeki Yenilme Yüklerinin Ortalamaları

Sonuçlar

Bu çalışmada hazır beton santralinden temin edilen çapı 150 mm uzunluğu 300 mm olan 10 adet standart silindir beton numune ve bir binadan alınan 9 adet karot numune test edilmiştir. Bu numunelerin bir kısmı sargısız (SZ) olmak üzere, bir kısmı tek kat karbon elyaf ile sarılarak (SL1), ve diğerleri çift kat karbon elyaf ile sarılarak (SL2) laboratuvar ortamında deneye alınmıştır. Deneyler neticesinde numunelerin kırılma yükleri ve dayanım değerleri incelendiğinde sargılanarak güçlendirilen numuneler sargılanmayan numunelere nazaran beklediği gibi hem mukavemet hem de süneklik bakımından daha iyi bir dayanım göstermiştir.

Enerji tüketme kapasitesi olarak kabul edilen çapsal deformasyon miktarı, elyaf ile

güçlendirilen numunelerin güçlendirilmeyen numunelere oranla beklendiği gibi daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar karbon elyafın epoksi ile katılması sonucu yük altında deforme olarak genleşmek isteyen numuneyi tuttuğu ve engel olduğu ancak elyafın yırtılarak numuneyi serbest bırakması sonucu numunenin aniden maruz kaldığı fazla yük altında yenilerek daha fazla çapsal deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir.

Karbon elyaf sargılanmayan, tek kat karbon elyaf sargılanan ve çift kat karbon elyaf sargılanan numunelerin kendi aralarında kırılma yüklerinin ve dayanım değerlerinin ortalamaları bulunmuştur. Silindirik beton numunelerin ortalama değerleri incelendiğinde karbon elyaf ile sargılanan numunelerde kayda değer dayanım artışının da sağlandığı belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

Teşekkür

Yazarlar, DÜBAP'ın 10-MF-108 nolu projemize sağladığı desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

Kaynaklar

Arioğlu, E. ve Arıoğlu, N., (1998). *Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirmesi*. Evrim Yayınevi, İstanbul.

Akdere, K., (2006). Çift Eğrilikli Betonarme Kolonların Karbon Fiber Elyaf Şeritlerin Boyuna ve Enine Donatı Olarak Kullanılması Yolu ile Güçlendirilmesi ve Onarılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Buyukozturk, O. and Hearing, B.,(1998). Failure Behavior of Precracked Concrete Beams Retrofitted with FRP, *ASCE Journal of Composites for Construction*, Vol. 2, No. 3, pp. 138-144.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Beta Dağıtım, İstanbul.

Demirel, B. ve Gönen, T., (2007). Karbon Fiber Takviyeli Betonda Fraklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi, *Fırat Ü. DAUM Dergisi*, 6 (1), s. 12.

Ersoy, U., (2007). Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Uygulama ve Araştırmalar, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

İlki, A. ve Kumbasar, N., (2002). Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi, *İMO Teknik Dergi*, s. 2598-2616.

Karaşin, H., Öncü, M. ve Yılmaz, S., (2010). Cfrp İle Güçlendirilmiş Kesitlerin Tekrarlanan Yükler Altındaki Davranışı. *E-Journal of New World Sciences Academy*, Vol. 5, No. 3, pp. 1306-13114,

Mert, N. Ve Elmas, M. (2007). Fiber Takviyeli Polimerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi, Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Özcan, Z., (2005). Betonarme Kirişlerin Kompozit Malzemeler ile Güçlendirilmesi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Şimşek, O., (2004). *Beton ve Beton Teknolojisi*, Seçkin Yayınları, Ankara.

Taşdemir, M.A. ve Özkul M.H., (2002). Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri, -Prof. Dr. Kemal Özdeni Anma Semineri, İTÜ, s. 177-204.

mühendislik dergisi

