

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 035602 (804-813)

AKU J. Sci. Eng.19 (2019) 035602 (804-813)

DOI: 10.35414/akufemubid.591078

Araştırma Makalesi / Research Article

Yüksek Sıcaklığın Cam Elyaf Takviyeli Polimer Donatı ile Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Etkisi

Zeynep ALGIN^{1*}, Kasım MERMERDAŞ¹, Mehmet ŞEKER¹¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

*Sorumlu yazar, e-posta: zyilmaz@harran.edu.tr,

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7004-8403>kasim.mermerdas@harran.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1274-6016>mehmet_seker_63@hotmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4007-0703>

Geliş Tarihi: 12.07.2019;

Kabul Tarihi: 19.09.2019

Öz

Elyaf takviyeli polimer donatının, yüksek korozyon direncine ve yüksek çekme dayanımına sahip olmasının yanında hafif bir malzeme olmasından dolayı, geleneksel çelik donatının yerine kullanılabilmesi düşünülmektedir. Elyaf takviyeli polimerlerin, betonun içinde donatı olarak kullanılabilirliğindeki en kritik sorunlardan biri de aderans dayanımıdır. Donatı ile beton arasındaki aderans dayanımı beton sınıfı, donatının türü, çapı, gömülme derinliği, yüzey özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli polimer (CETP) donatı çapının (18, 16, 14 ve 12 mm), beton sınıfının (C20 ve C40) ve yüksek sıcaklığın (150 ve 250 °C), CETP donatı ile beton arasındaki aderans dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, C20 ve C40 sınıfında hazırlanan beton karışımlar ve dört farklı çaptaki CETP donatıları kullanılarak üretilen numunelere sıyrılma testi uygulanmış olup, donatı çapındaki ve beton sınıfındaki değişimin aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, C20 ve C40 sınıfındaki beton karışımlar için 12 ve 16 mm çapındaki CETP donatılar kullanılarak hazırlanan numuneler, 3 saat süre ile 150 ve 250 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelere sıyrılma testi uygulanarak, yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, CETP donatı çapı arttıkça aderans dayanımının arttığı, betonun basınç dayanımındaki artışın da aderans dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca, sıcaklık artışının CETP donatı ile beton arasındaki aderansı olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Cam elyaf takviyeli polimer donatı; Basınç dayanımı; Aderans dayanımı; Sıcaklık etkisi

The Effect of Elevated Temperature on Bond Strength between Glass Fibre Reinforced Polymer Bar and Concrete

Abstract

The utilisation of fibre reinforced polymer (FRP) bars in concrete instead of the conventional steel rebar is generally considered to be viable due to their fundamental traits such as lightweight, higher corrosion resistance and tensile strength. One of the most critical issues in this FRP application is in fact the bond strength between FRP bars and concrete which depends on many factors including the strength of concrete, FRP diameters, types, embedment depth and surface properties etc. In this study, the effects of bar diameters (18, 16, 14 and 12 mm), the strength classes of concrete (C20 and C40) and the elevated temperature (150 and 250 °C) variation on the bond strength were investigated. In the first stage of the study, the pull-out tests were applied to the samples produced by using concrete mixtures prepared as C20 and C40 class and FRP reinforcements having four different diameters. Thus, the effects of variation in FRP diameter and the strength classes of concrete on the bond strength were investigated. In the second stage of the study, the samples prepared using 12 and 16 mm diameters of FRP reinforcements for C20 and C40 concrete mixtures were exposed to the temperatures of 150 and 250 °C for 3 hours. Then, the effect of elevated temperature on the bond strength was carried out by applying the pull-out tests to the samples cooled to the room temperature. The test results reveal that the bond strength is improved with increasing FRP diameter, the compressive strength of concrete and

Keywords

Glass fibre reinforced polymer bar; compressive strength; bond strength; temperature effect

1. Giriş

Çeşitli ortamlara maruz kalan betonarme yapılarda çelik donatının korozyonu ciddi bir problemdir (ACI 440.1 R 2006:6). Özellikle, soğuk bölgelerde kar ve buz çözme işlemleri için geleneksel olarak kullanılan sodyum klorür ve kalsiyum klorür bazlı buz çözücüler, öncelikle çelik donatının korozyonuna neden olur. Korozyon işlemi ve ürünleri çelik donatı ve beton arasındaki ara yüzeye zarar verir, böylece aderans dayanımı düşer ve sonuçta betonarme yapıların kullanım ömrü kısalmıştır (Bedard 1992, Koch et al. 2002, French 2003). Betonarme yapılarda donatı için alternatif malzeme ve tekniklere olan talep artmaktadır (Saadatmanesh and Ehsani 1989, Ballinger 1991, Nanni 1995). Bunlar, çelik üzerinde kaplama teknikleri (füzyonla bağlanmış epoksi ve galvanize kaplamalar) veya metalik olmayan donatıları (karbon fiber takviyeli polimer, cam elyaf takviyeli polimer ve aramid elyaf takviyeli polimer) içerir. Metalik olmayan donatıların arasında cam elyaf takviyeli donatı, yüksek kimyasal direnci, yüksek dayanım-ağırlık oranı ve yüksek maliyet verimliliğinin yanı sıra üstün korozyon direncine bağlı olarak artan bir şekilde ilgi görmektedir (Nanni 2014).

Cam elyaf takviyeli polimerlerin (CETP), beton yapılarda donatı olarak kullanılabilirliğindeki en kritik sorunlardan biri de aderans (kenetlenme) kapasitesidir. Çelik donatıdan farklı olarak, CETP malzemelerinin anizotropik, homojen olmayan ve doğrusal elastik özelliklere sahip olmasından dolayı, donatı ile beton arasında farklı kuvvet aktarma mekanizmaları oluşmaktadır. Beton dayanımı ve paspayı gibi aderans davranışını etkileyen temel faktörler (Brown and Bartholomew 1993, Pecce et al. 2001, Achillides and Pilakoutas 2004, Yan and Lin 2016) kiriş testi veya doğrudan sıyrılma testi (Faza and GangaRao 1991, Daniali 1992, Shield et al. 1997, DeFreese and Roberts-Wollmann 2002, Okelo and Yuan 2005, Lee et al. 2008) temel alınarak incelenmiştir. Buna bağlı olarak, ABD,

Kanada ve Japonya'daki elyaf takviyeli polimer donatılar için tasarım kodları, hem gömülme derinliği hem de aderans dayanımı açısından aderans mekanizmasıyla ilgili önemli veriler ortaya koymuştur (ACI 440.1 R 2006:6, Machida and Uomoto 1997, Canadian Standards Association 2002, Canadian Standards Association 2006).

Achillides ve Pilakoutas (2004), elyaf takviyeli polimer donatıların aderans davranışını sıyrılma deneyi yaparak incelemiştir. Bu çalışma, hem beton dayanımı hem de donatı çapı, yüzey özellikleri, şekli, türü, gömülme derinliği gibi aderans dayanımını etkileyen çeşitli parametrelerin etkisini göstermektedir. Deneysel sonuçlar, normal betonda elyaf takviyeli polimer donatılarının aderans yetisizliği modunun, sıyrılma gerçekleştiğinde çubuğun reçine yüzeyinde oluşan hasar nedeniyle, çelik donatılardan önemli ölçüde farklı olduğunu göstermiştir. Ayrıca elde edilen yük-sıyrılma eğrileri, çelik ve elyaf takviyeli polimer malzemeleri arasındaki bazı temel farklılıkları göstermiştir.

Mosley vd. (2008) yaptıkları çalışmada, elyaf takviyeli polimer donatının aderans dayanımının, çelik donatıya kıyasla önemli ölçüde düşük olduğunu ve elastisite modülünün aderans dayanımını etkileyen önemli bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir.

Davalos vd. (2008) çalışmalarında elyaf takviyeli polimer donatı beton arayüzey aderansının dayanıklılık performansını belirleyen deneysel bir araştırma sunmuşlardır. Bu çalışmada yüksek basınç dayanımına sahip beton karışımı kullanarak elyaf takviyeli polimer donatının yüzey malzemesinin bozulmasına odaklanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, yüksek dayanımlı betonda cam elyaf takviyeli polimer donatılar için aderans yetisizliğinin esas olarak donatının yüzeylerinde meydana geldiği görülmüştür.

Hao vd (2009), otuz farklı özel tasarlanmış nervür geometrisine sahip cam elyaf takviyeli polimer donatılar ile normal dayanımlı beton arasındaki aderans dayanımının araştırıldığı deneysel bir çalışma sunmuşlardır. Bu çalışmadaki deney değişkenleri donatı çapı, nervürler arası mesafe ve nervür yüksekliğidir. Deneysel sonuçlar, normal dayanımlı betonda, bu nervürlü donatıların aderans dayanımının ve aderans-sıyırılma performansının, nervürler arası mesafenin ve nervür yüksekliğinin kombinasyonları ile değiştiğini göstermiştir. Bu çalışmada test sonuçlarının analizine dayanarak, üstün aderans-sıyırılma performansına sahip CETP nervürlü donatının optimum nervür geometrileri ilgili olarak optimal nervürler arası mesafeyi ve nervür yüksekliğini içeren tasarım önerileri yapılmıştır.

Polat vd. (2017) yaptıkları çalışmada, çelik ve CETP donatıları kullanarak ürettikleri numuneleri kademeli bir şekilde 800 °C sıcaklığa kadar maruz bırakmışlardır. Elde edilen sonuçlarda çelik donatılı numunelerde 400 °C'ye kadar %30'luk bir kayıp olurken, 600 °C'ye kadar %50'lik bir kayıp gözlemlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise aderans tamamen kaybolmuştur. CETP donatılı beton numunelerde ise 250 °C'ye kadar aderans dayanımlarında %30'luk bir kayıp, 400 °C'ye kadar ise %50'lik bir aderans kaybı söz konusu olmuştur. Çalışmada 600 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise CETP donatı ve beton arasındaki aderans tamamen kaybolmuştur.

El-Gamal (2014), yüksek sıcaklığın betondaki CETP donatılarının aderans özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmanın test sonuçlarını sunmaktadır. Bu amaçla, CETP donatılara sahip toplam 39 adet numune sıyırılma deneyi için hazırlanmıştır. Laboratuvar sıcaklığına ek olarak, numuneler 1, 2 ve 3 saatlik süre boyunca 100, 200, 300 ve 350 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Test sonuçları, aderans dayanımı, aderans-sıyırılma ilişkisi ve yetisizlik modu açısından sunulmuştur. Sonuçlar, sıcaklık veya maruz kalma süresinin artmasıyla aderans dayanımının azaldığını göstermiştir. 3 saat boyunca 100 ve 200 °C'ye maruz bırakılan numunelerin aderans dayanımında

%20 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. 2 ve 3 saatlik periyotlarda 350 °C'ye maruz kalan numunelerin aderans dayanımında ise yaklaşık %50 oranında düşüş kaydedildiği ifade edilmiştir.

Katz vd. (1999), oda sıcaklığından 250 °C'ye kadar değişen sıcaklıklarda elyaf takviyeli polimer donatıların betondaki aderans özelliklerini incelemek için sıyırılma testini kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonunda 100 °C'lik sıcaklıkta aderans dayanımında % 20 ila % 40'lık bir düşüş ve 250 °C'lik sıcaklıkta ise % 80 ila % 90'lık bir düşüş elde edilmiştir. Weber (2005) tarafından yapılan bir başka çalışmada, betondaki CETP donatılarının oda sıcaklığından 500 °C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklardaki aderans özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, 200 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda betonda baskın bir yetisizliğin oluştuğunu göstermiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda, reçine betondan daha zayıf olduğundan CETP donatıların nervürleri kayma yetisizliğine uğramıştır. 350 °C'nin üstünde ise, malzemenin ayrışması gerçekleşmiş ve rezidual aderans dayanımı çok düşmüştür.

Bu çalışmada, CETP donatı çapının (18, 16, 14 ve 12 mm), beton dayanımının (C20 ve C40) ve yüksek sıcaklığın (150 ve 250 °C), donatı ile beton arasındaki aderans dayanımı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı deneysel çalışmanın sonuçları sunulmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, C20 ve C40 sınıfında hazırlanan beton karışımlarına dört farklı çaptaki CETP donatıları yerleştirilerek üretilen numunelere sıyırılma testi uygulanmış olup, donatı çapındaki ve basınç dayanımındaki değişimin aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, C20 ve C40 sınıfındaki betonlarla 12 mm ve 16 mm çapındaki CETP donatılar kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler 3 saatlik bir süre boyunca 150 ve 250 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra sıyırılma testi yapılmış ve yüksek sıcaklığın beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Üretilen beton karışımlarda özgül ağırlığı 3.14 olan CEM I 42.5R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler

Malzeme Kompozisyonları	Çimento
SiO ₂ (%)	18.66
Al ₂ O ₃ (%)	4.44
Fe ₂ O ₃ (%)	3.85
CaO (%)	62.43
MgO (%)	3.13
SO ₃ (%)	2.81
K ₂ O (%)	0.59
Na ₂ O (%)	0.20
Kızdırma Kaybı (%)	3.07

Beton karışımlarda 0-7 mm, 7-15 mm ve 15-25 mm fraksiyonlarına sahip kalker esaslı kırmataş kullanılmıştır. Bu agregalara ait doygun yüzey kuru birim ağırlık ve su emme oranları Çizelge 2’de verilmiştir. Her bir agrega fraksiyonuna ve karışım agregasına ait elek analizi sonuçları ise Çizelge 3’de verilmiştir. Karışımlarda işlenebilirliği artırmak için DEXP 328 hiper akışkanlaştırıcı katkı türü kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkının birim ağırlığı 1.02 gr/cm³tür.

Çizelge 2. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega	Doygun Yüzey Kuru Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Su emme oranı (%)
İnce Agregası (0-5) mm	2.58	2.4
İri Agregası (7-15) mm	2.52	2.9
İri Agregası (15-25) mm	2.60	2.0

Çizelge 3. Kullanılan agregalara ait elek analizi sonuçları

Agrega Tipi	Elekler (mm)							
	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
İnce Agregası (0-5) mm	100	100	100	87	66	48	36	26
İri Agregası (7-15) mm	100	100	56	3	2	0	0	0
İri Agregası (15-25) mm	100	42	0	0	0	0	0	0
Karışım Agregası	100	84	65	48	37	26	20	14

Bu çalışmada pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş Şekil 1’de görülen CETP donatı kullanılmıştır. Çalışmada 12 mm, 14 mm, 16 mm ve 18 mm olmak üzere 4 farklı çapta CETP donatısı kullanılmıştır. Üretici firmadan temin edilen CETP donatılarına ait özellikler ve performans değerleri Çizelge 4’te verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan 12 mm çapındaki CETP donatısı

Çizelge 4. Üretici firmadan temin edilen CETP donatısının özellikleri ve performans değerleri

Temel Gereklere	Ürün Özellikleri	Performans Değerleri
	Çekme Dayanımı	Min 800 MPa
	Young Modülü(Elastisite Modülü)(%20-%50 çekme gerilmesinde)	27000-29800 MPa
	Betonla Yapışma Gerilimi	Min 12 MPa
Mekanik Dayanım ve Stabilite	Alkali Ortamda Mukavemet	Min 600 MPa
	Alkali ortamdan sonra beton ile yapışma gerilimi	Min 10 MPa
	Enine çekme dayanımı	Min 200 MPa
	Uzunlamasına termal genleşme	22x10 ⁻⁶ (1/°C)

Bu çalışmada C20 ve C40 beton sınıfına ait iki karışım hazırlanmıştır. Her iki beton sınıfına ait malzemelerin karışım oranları Çizelge 5’de verilmiştir. Bu iki dayanım sınıfına ait beton karışımların kıvamı çökme deneyi ile belirlenmiştir.

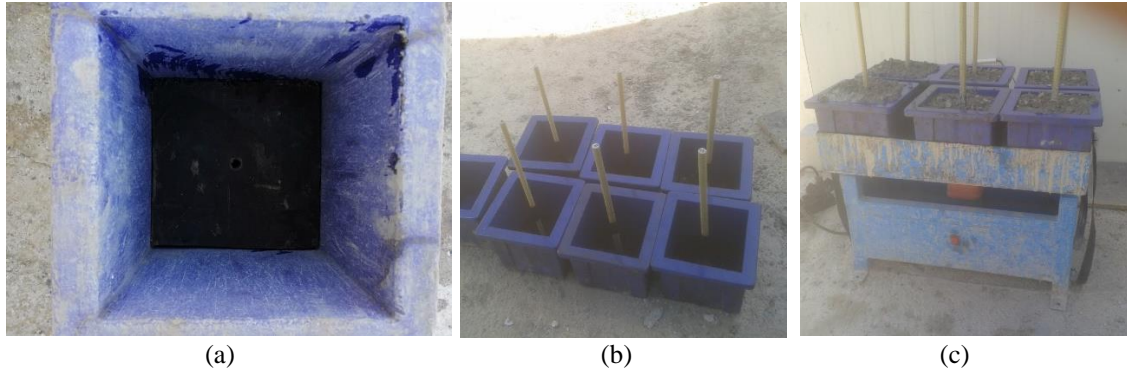
Yapılan çökme deneyinde C20 beton sınıfındaki karışımlarda ortalama çökme miktarı 170 mm, C40 beton sınıfında ise ortalama çökme miktarı 100 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5. C20 ve C40 beton sınıfı için 1 m³ beton karışımındaki malzeme miktarları

Beton Sınıfı	İnce Agrega (0-5 mm) (kg)	İri Agrega (7-15 mm) (kg)	İri Agrega (15-25 mm) (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	s/ç	Kimyasal Katkı (%)
C20	875	403	548	290	190	0.65	0.9
C40	920	275	465	450	180	0.40	1.2

CETP donatı ile beton arasındaki aderansın belirlenmesi amacıyla sıyırılma deneyinde kullanılmak üzere beton numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin üretiminde ilk olarak 150x150x150 mm’lik küp kalıplara CETP donatısının merkezlenmesi için, orta kısmında delik bulunan 150x150x20 mm ebatlarında plywood plaka yerleştirilmiştir (Şekil 2a). Beton kalıplar yağlandıktan sonra 400 mm uzunluğunda kesilmiş CETP donatılar dik bir şekilde kalıpların içine

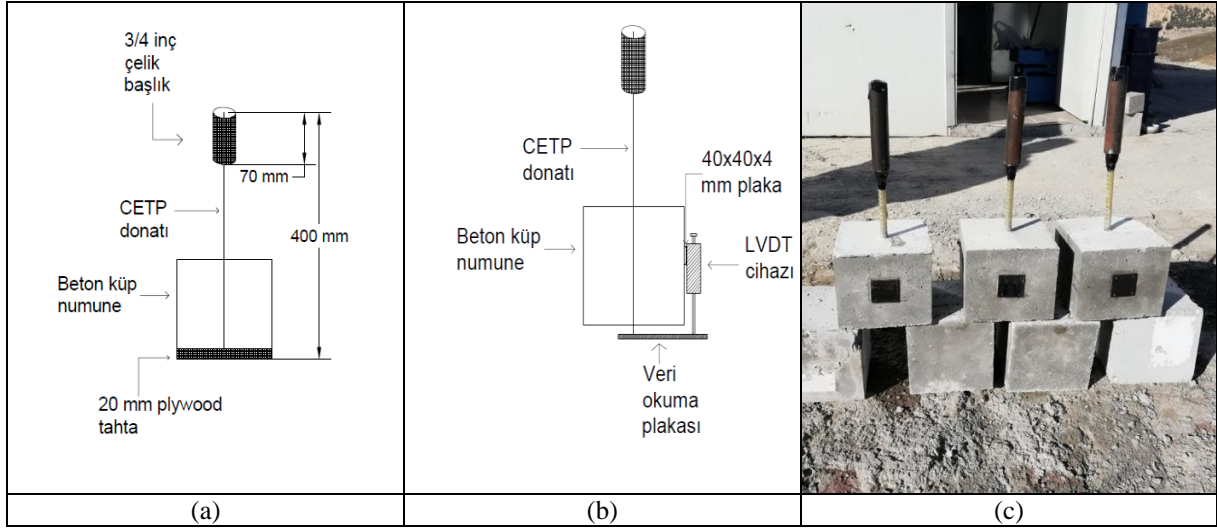
yerleştirilmiştir (Şekil 2b). Üretilen beton karışımlar kalıplara üç aşamada yerleştirilmiş olup, Şekil 2(c)’de görüldüğü gibi sarsma tablasında vibrasyon uygulanarak sıkıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartıldıktan sonra 28 gün boyunca 20±2 °C’deki kür havuzunda bekletilmiştir. Bu çalışma kapsamında her bir dayanım sınıfı için 72 adet olmak üzere toplamda 144 adet numune üretilmiştir.



Şekil 2. Sıyırılma numunelerinin üretim aşamaları

Yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisinin incelendiği 12 adet numune referans numunesi olarak 25 °C oda sıcaklığında, 12 adet numune 150 °C’de ve 12 adet numune ise 250 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca etüvde bekletilip daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Sıcaklık etkisinin araştırıldığı numunelerde 12 mm ve 16 mm olmak üzere 2 farklı çapta CETP donatı kullanılmıştır.

Çekme cihazının çenelerinin deney esnasında CETP donatıyı ezmemesi için, numuneler sıyırılma deneyine tabi tutulmadan önce, donatıya dış çapı 26.9 mm ve iç çapı 21.1 mm olan çelik bir boru kimyasal esaslı epoksi ile yapıştırılmıştır (Şekil 3a ve 3c). Deney esnasında donatının sıyırılmasını okuyacak olan LVDT’nin numuneye sabitlenmesi için ise numunelere 40x40x4 mm ebatlarında çelik plaka kimyasal esaslı epoksi ile yapıştırılmıştır (Şekil 3b ve 3c).



Şekil 3. Sıyırılma deneyi için numunelere çelik plaka ve çelik başlığın yapıştırılması

CETP donatı ile hazırlanan beton numunelerin aderans dayanımı deneysel olarak iki aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada CETP donatı çapındaki ve basınç dayanımındaki değişimin aderans dayanımı üzerindeki etkisi, ikinci aşamada ise yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hazırlanan numunelere uygulanan sıyırılma deneyinde, geleneksel donatı çekme cihazına monte edilen çelikten yapılmış özel bir aparat kullanılmıştır. Sıyırılma deneyinde çekme cihazının hızı 2 mm/dk olarak belirlenmiştir. Uygulanan sıyırılma deneyi düzeneği Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Sıyırılma deneyi düzeneği

Yük, çekme cihazının elektronik yük hücresi ile ölçülmüştür. CETP donatısının serbest ucundaki sıyırılma ise yüksek hassasiyetli LVDT ile ölçülmüştür. Uygulanan yükler ve LVDT okumaları veri kayıt cihazı ile otomatik olarak kaydedilmiştir. CETP donatı ve beton arasındaki aderans dayanımı Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P}{\pi \times l \times d} \quad (1)$$

Burada;

τ : Aderans dayanımı (N/mm²)

P: Maksimum çekme kuvveti (N)

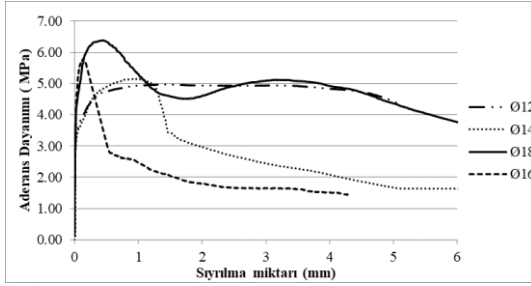
l: Donatı gömülme derinliği (mm)

d: Donatı çapı (mm)

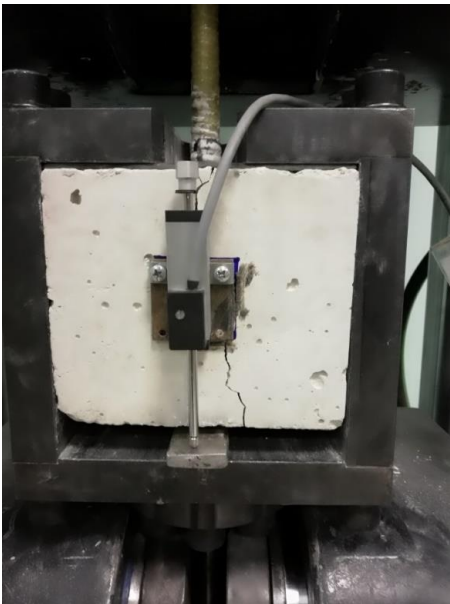
3. Bulgular ve Tartışma

C20 beton sınıfı için 12, 14, 16 ve 18 mm çaplarındaki CETP donatılar ile üretilen numunelerin sıyırılma deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir. C20 beton sınıfında üretilen tüm numunelerde yapılan sıyırılma testlerinde donatıda herhangi bir kopma meydana gelmeden donatıların betondan sıyırılması gerçekleşmiştir. Sıyırılma deneyinde 12 mm ve 14 mm çapına sahip CETP donatılarının kullanıldığı numunelerde en büyük aderans gerilmelerinde betonda yarıma meydana gelmezken, 16 mm ve 18 mm çapındaki donatıların kullanıldığı numunelerde

en büyük aderans gerilmesinin görüldüğü seviyelerde Şekil 6'da görüldüğü gibi betonda yarılmalar meydana gelmiştir. Bunun sebebi nervüre gelen eğik kuvvetin düşey bileşeninin donatı etrafında radyal gerilmelere sebep olmasıdır. Bu durumda beton-donatı arasındaki sürtünme etkisiyle oluşan aderans kapasitesi aşmışken radyal gerilme betonun çekme kapasitesini aşarak yarılmaya sebep olur. Şekil 5 incelendiğinde en büyük aderans dayanımının 18 mm çapında CETP donatısının kullanıldığı numunelerde, en düşük aderans dayanımının ise 12 mm çapındaki donatının kullanıldığı numunelerde olduğu görülmektedir. Bu çalışma sonunda 12, 14, 16 ve 18 mm çapına sahip CETP donatılarının kullanıldığı numunelerde aderans dayanımı sırasıyla 4.97, 5.15, 5.79 ve 6.38 MPa olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, CETP donatı çapının artmasıyla aderans dayanımı artmıştır.



Şekil 5. C20 beton sınıfı için farklı CETP donatı çaplarına sahip numunelerin aderans dayanımı-sıyrılma grafiği



Şekil 6. Sıyrılma deneyinde numunelerin yarılmaları

C40 beton sınıfı için, 12, 14, 16 ve 18 mm çaplarına sahip CETP donatısı ile üretilen numunelerin sıyrılma deneyinden elde edilen aderans dayanımı sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'dan görüldüğü üzere CETP donatı çapının artması aderans dayanımını arttırmıştır. En büyük aderans dayanımı 18 mm çapında donatı kullanılan numunelerde elde edilmiştir. C40 beton sınıfı için tüm çaptaki CETP donatılarında herhangi bir kopma meydana gelmeden betondan sıyrılmalar meydana gelmiştir. Ancak yapılan deneylerde CETP donatılarındaki nervürlerin önemli oranda aşındığı hatta donatı iskeletinden ayrıldığı görülmüştür (Şekil 7).

Çizelge 6. C40 beton sınıfı için farklı CETP donatı çaplarına sahip numunelerin aderans dayanımı sonuçları

Donatı Çapı (mm)	Aderans Dayanımı (MPa)
12	6.01
14	6.14
16	6.44
18	6.76



Şekil 7. Sıyrılma deneyi sonrası C40 beton sınıfındaki numunelerin CETP donatıları

Şekil 5 ve Çizelge 6 incelendiğinde CETP donatılı numunelerde beton basınç dayanımı arttıkça aderans dayanımının arttığı görülmektedir. Aderans dayanımındaki bu artış, 18 ve 16 mm çapındaki CETP donatılarının kullanıldığı numunelerde sırasıyla %5 ve %10 iken, 14 ve 12 mm çaplarında CETP donatısı kullanılan numunelerde ise sırasıyla %16 ve %17 olarak belirlenmiştir. Ayrıca deneylerde yapılan gözlemlerde ince çaptaki donatıların kullanıldığı numunelerdeki sıyrılmaların, kalın çaplı donatıların kullanıldığı numunelere göre daha erken başladığı gözlemlenmiştir.

C20 ve C40 beton sınıfları için, 12 ve 16 mm çaplarında CETP donatıları kullanılarak üretilen numuneler, ortam sıcaklığına ek olarak, 3 saatlik bir süre boyunca 150 ve 250 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına getirilmiş ve bu numuneler üzerinde sıyırılma deneyi yapılmıştır. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Çizelge 7'de sunulmuştur.

Çizelge 7. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan numunelerden elde edilen aderans dayanımı sonuçları

Beton sınıfı	Donatı çapı (mm)	Sıcaklık (°C)	Aderans Dayanımı (MPa)
C20	12	25	6.11
		150	5.16
		250	4.83
	16	25	5.85
		150	4.80
		250	3.96
C40	12	25	7.30
		150	6.27
		250	5.82
	16	25	7.43
		150	6.28
		250	5.70

Çizelge 7 incelendiğinde her iki beton sınıfı ve donatı çapı için de numunelerin maruz kaldığı sıcaklık değerleri arttıkça, beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımının azaldığı görülmektedir. C40 beton sınıfı için üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %14'lük bir düşüş, 250 °C'de ise kontrol numunelerine göre ortalama %22'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. C20 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %16'lık bir azalış, 250 °C'de ise kontrol numunelerine göre ortalama %26'lık bir azalış gözlemlenmiştir. Ayrıca deney sonunda numuneler üzerinde yapılan incelemede 250 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki CETP donatılarında ciddi bir şekilde renk değişiminin olduğu, ayrıca sıyırılma deneyinden sonra numunelerden çıkarılan CETP donatılarında nervürün donatı iskeletinden ayrıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıyırılma deneyi sonrası CETP donatıları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, CETP donatı çapının, beton dayanımının ve yüksek sıcaklığın donatı ile beton arasındaki aderans dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- Çalışmada yapılan sıyırılma deneylerinde tüm CETP donatıları kopmadan betondan sıyrılmışlardır.
- Beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımı, çap arttıkça artmıştır. Her iki dayanım sınıfında da en büyük aderans dayanımları 18 mm çapındaki donatının kullanıldığı numunelerde, en düşük aderans dayanımı ise 12 mm çapındaki donatıların kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir.
- Beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımı, betonun basınç dayanımı arttıkça artmıştır. Aderanstaki bu artış 18 mm ve 16 mm çapındaki donatılı numunelerde %5 ve %10 iken, 14 mm ve 12 mm çapındaki numunelerde ise %16 ve %17'dir.

- Beton dayanımının aderans dayanımı üzerindeki etkisinin incelendiği numunelerde, C40 beton sınıfına sahip numunelerde donatı nervürlerinde ciddi tahribatlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- C40 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %14'lük bir düşüş, 250 °C'de ise kontrol numunelerine göre ortalama %22'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. C20 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %16'lık bir azalış, 250 °C'de ise kontrol numunelerine göre ortalama %26'lık bir azalış gözlemlenmiştir.
- Yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisinin araştırıldığı numunelerdeki CETP donatılar kontrol numunelerindeki CETP donatılarla kıyaslandığında, 150 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki donatı renklerinde hafif koyulaşmanın olduğu, 250 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki CETP donatılarda ise önemli derecede koyulaşmanın meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki CETP donatı nervürlerinin donatıdan tamamen koptuğu görülmüştür.
- Hemen hemen tüm sıyırılma deneylerinde ince çaplı donatıların kalın çaplı donatılara göre daha erken sıyırılmaya başladıkları gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜBAK) tarafından 18243 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Achillides, Z. and Pilakoutas, K., 2004. Bond behavior of fiber reinforced polymer bars under direct pullout conditions. *Journal of Composites for Construction*, ASCE, **8**, 173-181.
- ACI Committee, 2006. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars. ACI 440.1R-06, Farmington Hills, MI.
- Ballinger, C.A., 1991. Development of composites for civil engineering. In: *Advanced Composites Materials in Civil Engineering Structures*, ASCE, 288-301.

- Bedard, C., 1992. Composite reinforcing bars: assessing their use in construction. *Concrete International*, **14**, 55-59.
- Brown, V.L. and Bartholomew, C.L., 1993. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members. *ACI Materials Journal*, **90**, 34-39.
- CSA, 2002. Design and construction of building components with fibre reinforced polymers. Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, CSA S806-02.
- CSA, 2006. Canadian highway bridge design code. Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada.
- Daniali, S., 1992. Development length for fiber-reinforced plastic bars. In: *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*, 179-188.
- Davalos, J.F., Chen, Y. and Ray, I., 2008. Effect of FRP bar degradation on interface bond with high strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, **30**, 722-730.
- DeFreese, J.M. and Roberts-Wollmann, C.L., 2002. Glass fiber reinforced polymer bars as top mat reinforcement for bridge decks, Contract Report for Virginia Transportation Research Council.
- El-Gamal, S., 2014. Bond strength of glass fiber-reinforced polymer bars in concrete after exposure to elevated temperatures. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **33**, 2151-2163.
- Faza, S.S. and GangaRao, H.V., 1991. Bending and bond behavior of concrete beams reinforced with plastic rebars. *Transportation Research Record*, 185-193.
- French, C., 2003. Durability of concrete structures. *Structural Concrete*, **4**, 101-107.
- Hao Q., Wang Y., He, Z. and Ou, J., 2009. Bond strength of glass fiber reinforced polymer ribbed rebar in normal strength concrete. *Construction and Building Materials*, **23**, 865-871.
- Katz, A., Berman, N. and Bank, L.C., 1999. Effect of high temperature on bond strength of FRP rebars. *Journal of Composites for Construction*, ASCE, **3**: 73-81.
- Koch, G.H., Brongers, M.P., Thompson, N.G., Virmani, Y.P. and Payer, J.H., 2002. Corrosion cost and preventive strategies in the United States. Publication No. FHWA-RD-01-156.
- Lee, J.Y., Kim, T.Y., Kim, T.J., Yi, C.K., Park, J.S., You, Y.C. and Park, Y.H., 2008. Interfacial bond strength of glass fiber reinforced polymer bars in high-strength

- concrete. *Composite Part B: Engineering*, **39**, 258-270.
- Machida, A. and Uomoto, T., 1997. Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials. *Concrete Library of JSCE 1997*: **30**: 1–64 (Translation from the Concrete Library, No. 88, Published by JSCE, September 1996).
- Mosley, C.P., Tureyen, A.K. and Frosch, R.J., 2008. Bond strength of nonmetallic reinforcing bars. *ACI Structural Journal*, **5**, 634-642.
- Nanni, A., Al-Zaharani, M., Al-Dulaijan, S., Bakis, C. and Boothby, I., 1995. Bond of FRP reinforcement to concrete-experimental results. *In: Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Proceedings of the Second International RILEM Symposium*, CRC Press, 137-145.
- Nanni, A., De Luca, A. and Zadeh, H.J., 2014. Reinforced concrete with FRP Bars: Mechanics and Design, London, CRC Press, 418.
- Okelo, R. and Yuan, R.L., 2005. Bond strength of fiber reinforced polymer rebars in normal strength concrete. *Journal of Composites for Construction*, **9**, 203-213.
- Pecce, M., Manfredi, G., Realfonzo, R. and Cosenza, E., 2001. Experimental and analytical evaluation of bond properties of GFRP bars. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **13**, 282-290.
- Polat, M., Yağan, M., Orhan, M., Mehmet, F., 2017. GFRP ve çelik donatıların yüksek sıcaklık etkileri altında aderans kayıplarının incelenmesi. *II. International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 238-247.
- Saadatmanesh, H. and Ehsani, M.R., 1989. Application of fiber-composites in civil engineering. *In: Structural materials. ASCE*, 526-535.
- Shield, C., French, C. and Retika, A., 1997. Thermal and mechanical fatigue effects on GFRP rebar-concrete bond. *In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, 381-388.
- Weber, A., 2005. Bond properties of a newly developed composite rebar. *In: Proceedings of the international symposium on bond behaviour of FRP in structures*, 379-384.
- Yan, F. and Lin, Z., 2016. New strategy for anchorage reliability assessment of GFRP bars to concrete using hybrid artificial neural network with genetic algorithm. *Composite Part B: Engineering*, **92**, 420-433.