



**Makale / Research Paper**

**GFRP Çubukların Özellikleri ve Prefabrik Altyapı Elemanlarında Kullanımı**

**İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Tayfun UYGUNOĞLU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Böl., 03200 Afyonkarahisar, Türkiye  
uygunoglu@aku.edu.tr

**Received/Geliş:** 06.08.2019

**Accepted/Kabul:** 20.01.2020

**Öz:** Donatı çeliğinin korozyonu, günümüzde inşaat sektörünün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Altyapı elemanlarında bu durum daha fazla ortaya çıkmaktadır. Bu tür problemler yaşamamak için çelik donatıya alternatif olarak korozyona dirençli bir malzeme olan cam liflerle güçlendirilmiş polimerik donatıların (GFRP) yapılarda kullanılması fikri ortaya çıkmıştır. GFRP çubukları, içeriklerindeki yüksek orandaki cam elyaf, karbon elyaf, aramid elyaf ve uygun reçine kombinasyonları sayesinde yüksek çekme kuvvetlerine dayanabilmektedir. Buna rağmen elastisite modülleri çelik donatıya oranla düşüktür. Donatı elemanların betonarme yapılarda kullanılmasının en önemli nedenlerinden birisi çekme gerilmelerini karşılamalarıdır. Bu çalışmada da nervürlü çelik çubukların ve GFRP donatıların çekme yükü altındaki özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø16 ve Ø18'lik numunelerde çekme deneyi yapılmış ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. GFRP donatılı betonlarda hızlandırılmış korozyon testi ve asit tesirlerine dayanımı incelenmiştir. Ayrıca her bir donatı sınıfında betonla olan aderansları deneysel olarak araştırılmıştır. GFRP donatıların çelik donatılara göre daha düşük aderans dayanımına sahip olduğu, ancak korozyon ve asit tesirlerine oldukça dayanıklı olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Korozyon, GFRP Çubuğu, Donatı Çubuğu, Çekme Deneyi, Mekanik Özellik,

**Properties of GFRP Rods and Use in Prefabricated Infrastructure Elements**

**Abstract:** Corrosion of the reinforcement steel has become one of the most important problems of the construction industry today. This situation is more evident in the infrastructure elements. In order to survive such problems, the idea of using glass fiber reinforced polymeric installations (GFRP) as a corrosion-resistant material has emerged as an alternative to steel fixtures. GFRP rods are able to withstand high tensile forces thanks to the combination of high fiberglass, carbon fiber, aramid fiber and suitable resin in the contents. However, the E-modulus is lower than that of steel hardware. One of the most important reasons for the use of reinforcement elements in reinforced concrete structures is that they meet tensile stresses. In this study, tensile tests of Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø16 and Ø18 specimens were carried out in order to determine the tensile properties of ribbed steel bars and GFRP bars. Accelerated corrosion test and resistance to acid effects were investigated in GFRP reinforced concrete. In addition, adherence to concrete was investigated experimentally in each reinforcement class. It has been found that GFRP reinforcements have lower adherence strength than steel reinforcement, but are highly resistant to corrosion and acid effects.

**Keywords:** Corrosion, FRP Bar, Reinforcement Steel, Tensile Test, Mechanical Property

**1. Giriş**

Günümüzde, çevresel etkiler nedeniyle beton, korozyon gibi kimyasal reaksiyonlarla zarar görmekte ve içerisinde bulunan çelik donatılar zarar görmektedir. Korozyon nedeniyle yapılarda ciddi maliyetli bakım ve onarım işlemi ortaya çıkarken, kullanılabilirlik sürelerini de azaltmaktadır [1]. Bu nedenle yapıların korozyon hasarını engellemek için çeşitli çözüm yolları arayışına

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T, "GFRP Çubukların Özellikleri ve Prefabrik Altyapı Elemanlarında Kullanımı" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7 (1): 169-178.

*How to cite this article*

Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T, "Properties of GFRP Rods and Use in Prefabricated Infrastructure Elements" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7 (1): 169-178.

girilmiştir. Bunların en önemlilerinden biri anti-korozif bir malzeme olan cam lif takviyeli polimerlerin (GFRP) kullanılmasıdır [2]. Korozyona karşı dirençleri, hafiflikleri, yüksek dayanımları, istenen şeklin verilebilmesi, yorulma dirençlerinin yüksek olması, düşük ısı iletkenlik özellikleri gibi avantajlarına karşın, E- modüllerinin düşük olması, dayanımın lif doğrultusuna bağlı olması, gevrek malzeme özelliği göstermesi, aderans ve kenetlenmede düz yüzeyden dolayı problem oluşması ve pahalı olması gibi dezavantajları vardır [3]. 1950’li yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başlayan GFRP donatısının sektörde ilk uygulamasını gerçekleştiren ülke Japonya’dır. En fazla uygulandığı yerler ise Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya olarak söylenebilir [4].

Toprak altında gömülü yapılar sürekli olarak nemli ortama maruz kalırlar. Agresif korozyona neden olan bu ortam nedeniyle donatıların korozyona uğramasına ve beton yapının çatlmasına yol açabilir. Binlerce donatı takviyeli altyapı elemanlarının korozyona uğraması nedeniyle neredeyse yıllık olarak değiştirilmesi gerekmektedir. Bu yapılara sınırlı erişim nedeniyle, onarım maliyetli yüksek olup, zaman alıcıdır ve belirli bölgelerde hizmetin durmasına da yol açabilir. Bu tip alt yapı elemanlarının üretiminde GFRP donatılarının kullanımı oldukça fayda sağlayacaktır [5]. GFRP’ler, reçine matrisi içine gömülmüş, dayanımı yüksek olan cam liflerinden oluşan kompozit malzemelerdir. Elyafların matris içine birbirine paralel yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek dayanım sağlanmaktadır. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit dayanım sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturulabilir. Her tabakadaki fiber doğrultusu, çeşitli katmanların yığın şeklinde sıralanmasıyla, yük etkisine göre fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceği yönde yerleştirilmektedir. Yerleştirilen lifler yükün büyük bir bölümünü alarak malzemeye rijitlik ve dayanım sağlamada büyük rol oynarlar [6]. Ekonomik olarak uygunluğu, kolay temin edilebilmesi ve istenen özelliklere büyük ölçüde sahip olması nedeniyle ticari olarak uygulamalarda en çok kullanılanlar cam ve karbondur. Matrisler ise lifler arasında gerilmelerin transferini yaparlar. En çok kullanılan matrisler; epoksi, vinyl ester ve polyesterlerdir [3]. Bu tip donatı elemanları çelik donatılardan farklı olarak üretimleri sırasında yapı elemanına göre şekillendirilmektedir ve üretim yerinde donatılar bağlanarak yapının donatı aksamı oluşturulmaktadır. Dolayısıyla, GFRP donatıları da kutu menfez gibi yeraltı yapı elemanları üretiminde de kullanılabilir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Bir betonarme altyapı elemanında GFRP donatısının kullanımı

GFRP donatının çekme dayanımı özellikleri kompoziti oluşturan matrisin, lifin türü ve özelliklerine, lif hacim oranına, lifin geometrisi ve matris içindeki dağılımına, lif matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyetine bağlıdır [7]. GFRP’ler çekme dayanımlarının yüksek olması, asit tesirlerine dayanıklı olmaları ve korozyona karşı yüksek dirençleri nedeniyle kullanımları her geçen gün artan donatı elemanlarıdır. Eslami ve Taheri [8] GFRP kompozitlerin asit tesirlerine karşı dayanımlarını araştırdıkları çalışmalarında, %15 oranındaki sülfirik asit çözeltisinde 60 °C sıcaklıkta 60 gün boyunca belirli aralıklarla ağırlıklarını ve eğilmede çekme dayanımlarını ölçmüşlerdir. Çalışmaların sonucunda, polimerik kompozitlerin ağırlıklarında artış olduğu, eğilme dayanımlarında ise %50

oranında azalmalar olmuştur. Şekil değiştirme oranlarında ise %1 artış görüldüğü belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada [9] alkalın ve asit çözeltilerinin cam-polyester kompozitlerin gerilme özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Alkalın çözeltisinin çekme özelliklerini (nihai çekme dayanımı ve modülü) azalttığı ve bu eğilimin pH değeri ile arttığı sonucuna varmışlardır. Diğer yandan, asit çözeltileriyle ilgili olarak, dayanım özelliklerini arttırdığı ve bu artışın pH değeri düştüğünde daha etkili olduğu rapor edilmiştir. Sindhu ve diğ. [10] % 10 NaOH, 1 N HCl ve % 10 NaCl gibi farklı asidik ortamlarda bozunma çalışmaları yapmışlar ve mekanik özelliklere etkisini analiz etmişlerdir. Asit ortamlarda çekme dayanımı ve modülün (E) arttığı gözlenmiştir. Jabbar ve Farid [11] betonarme yapılarda çelik donatı yerine GFRP kullanımını araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, GFRP takviye çubuğunun çekme dayanımının çelikten daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, GFRP kullanılarak üretilen kirişlerin eğilme dayanımı çelik donatılı olanların %71-75'ine ulaşırken, yüzeyi kum kaplanmış olan GFRP'li kirişlerin eğilme dayanımları da çeklikle üretilmiş olanların % 77-82'sine ulaştığı gözlenmiştir. Sonuçta, yüksek korozyon direnci ve orta seviyede eğilme dayanımı sayesinde GFRP'nin çelik donatıya iyi bir alternatif donatı elemanı olacağı görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı farklı çaptaki GFRP'lerin mekanik özelliklerini çekme deneyi yardımı ile incelemektir [8]. Alt yapı elemanlarında en önemli durabilite sorunlarından birisi de prefabrik elemanlar içerisine gömülü olan donatıların korozyonu olduğundan, bu çalışmada ayrıca çelik donatılar ile GFRP donatıların asit etkisindeki ağırlık kaybı deneyi ile biyolojik korozyona karşı dirençleri de karşılaştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışma

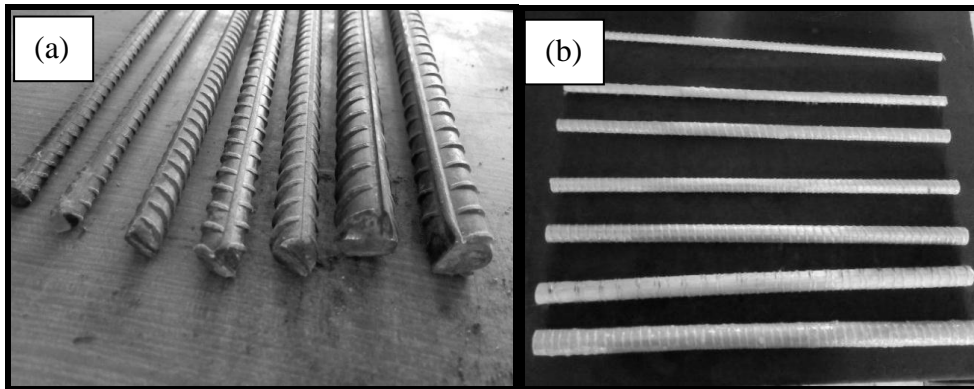
### 2.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1 Çelik donatılar

Çalışmada kullanılan nervürlü çelik donatıların en küçük akma dayanımı 420 MPa olan S420 sınıfı ve çapları Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø16 ve Ø18 olacak şekilde 6 farklı çapta çelik çubuk kullanılmıştır (Şekil 2.a). Çelik donatıların uygulamada kullanılacak boyları her bir numune için kendi çaplarının 10 katı olacak şekilde alınmıştır [12-14].

#### 2.1.2 GFRP çubukları

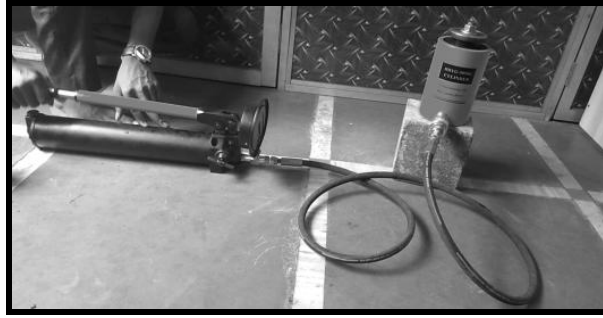
Çalışmada kullanılacak olan polimerik donatı çubukları, cam takviyeli epoksiyle kaplanmış polimer (GFRP) olarak seçilmiştir. Çapları Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø16 ve Ø18 olacak şekilde 6 farklı çapta çubuk temin edilmiştir [12-14]. (Şekil 2.b).



Şekil 2. Deneyde kullanılan farklı çaplardaki donatılar (a: çelik donatılar; b: GFRP donatılar)

## 2.2. Yöntem

Çekme deneyi için önce standartlara uygun olarak çekme numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler universal çelik çekme cihazının sabit alt çenesi ile hareketli üst çenesi arasına düşey bir şekilde yerleştirilmiştir ve çekme deneyleri yapılmıştır [12-14]. Çekme deneyi sonuçlarından mekanik özelliklerin hesaplanması için cihaz tarafından verilen yük ve uzama değerleri gerilme ve birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülmüştür. Deney sonunda elde edilen akma, çekme ve kopma kuvvetlerinden elde edilen değerler, numunelerin kesit alanına bölünerek her bir numune için gerilme ( $\sigma$ ) değerleri, her bir anda ölçülen boy değişimleri ise ilk boya bölünerek birim şekil değiştirme ( $\varepsilon$ ) değerleri bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak her bir malzemeden her bir numune için  $\sigma$ - $\varepsilon$  diyagramları oluşturulmuş ve grafiklerden donatılara ait karakteristik özellikler belirlenerek tablo halinde sunulmuştur. Ayrıca GFRP donatı elemanlarının betonla olan aderansının ortaya konması amacıyla da C25/30 betonu içerisinde çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirilmiştir [16]. Aynı sınıftaki betonun çelik donatıyla da aderans deneyi yapılarak karşılaştırılmıştır. Tüm donatı elemanları 150 mm boyutlu beton küp numunelerin ortasına 100 mm derinlikte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Beton numunelere 28 boyunca suda standart kür uygulanıp yeterli kür süresine ulaştığında, pull-out cihazıyla çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Pull-out cihazından okunan donatının sıyrıldığı andaki en büyük yük değerleri beton içerisine gömülü olan donatı dış yüzey alanına oranlanarak aderans dayanımları belirlenmiştir. Her bir çap değerindeki donatılar için üç numune teste tabi tutularak aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.



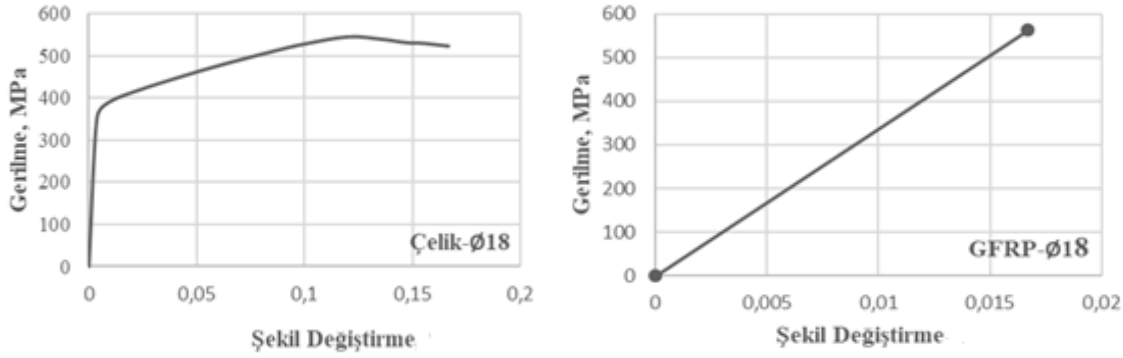
Şekil 3. Aderans deney düzeneği

Alt yapı elemanlarının maruz kalacağı etkilerden birisi de özellikle havasız ortamlarda kanalizasyon sularının varlığından oluşan sülfirik asit ( $H_2SO_4$ ) oluşumu sonucu biyolojik korozyon olarak adlandırılan bozunma sürecidir. Zamanla donatılarda asit etkisiyle ağırlık kaybı ve çap değerlerinde azalmalar oluşmaktadır [17]. GFRP'lerin asit etkisindeki durumları da laboratuvar ortamında hazırlanan %10 oranındaki sülfirik asit çözeltisi içerisinde 38 gün boyunca bekletilmiş ve beş gün arayla ağırlık tartımı yapılarak bozunma durumları ağırlık kaybıyla ortaya konmuştur. Asit tesirine maruz bırakılan donatılar  $\varnothing 10$  olarak tek bir çap değerinde seçilmiş ve hem inşaat demiri hem de GFRP donatılardan 3'er adet 50 mm uzunluğunda kesilerek çözelti içerisinde bekletilmişlerdir. Her bir ağırlık ölçüm zamanında yüzeyleri yıkanıp bir havlu ile kurutularak tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm zamanındaki ağırlıklar ilk ağırlıklardan farkı bulunup, yine ilk ağırlığa oranlanarak rölatif ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

## 3. Bulgular ve Değerlendirme

### 3.1. Çekme Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Alt yapı elemanlarında çelik donatılara alternatif olarak GFRP donatıların kullanılabilmesi amacıyla gerçekleştirilen mekanik özelliklerden çekme deneyi sonucu her iki donatı tipi için örnek olarak Şekil 4'te gerilmelere karşın şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur. Her iki donatı için de diğer çaplarda da benzer gerilme-deformasyon ilişkisi elde edilmiştir. Gerilme-deformasyon grafiklerinden elde edilen bulgular da çelik donatılar için Tablo 1'de ve GFRP donatılar için de Tablo 2'de toplu bir şekilde verilmektedir.



Şekil 4. Çelik ve GFRP numunelerin  $\sigma$ -  $\epsilon$  diyagramlarının örnek olarak gösterimi

Tablo 1. Çelik donatı numunelerinin çekme deneyi sonuçları [13,14].

Numune Çapı (mm)	Ø18	Ø16	Ø14	Ø12	Ø10	Ø8
Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	254,34	200,96	153,86	113,04	78,5	50,24
İlk Boy (mm)	180	160	140	120	100	80
Son Boy (mm)	210	184	161	145	121	96
Akma Kuvveti (N)	91830	82650	70870	51060	32800	17030
Çekme Kuvveti (N)	141270	111890	87120	63900	40880	26890
Kopma Kuvveti (N)	135570	107300	82900	59030	38030	23570
Akma Gerilmesi (MPa)	361,1	411,3	460,6	451,7	417,8	338,9
Çekme Gerilmesi (MPa)	555,4	556,7	566,2	565,3	520,7	535,2
Kopma Gerilmesi (MPa)	533,0	533,9	538,8	522,2	484,4	469,1
Kopma uzaması (%)	16,67	15,0	15,0	20,83	21,0	20,0

Her iki donatı tipinin de çekme dayanımları ve bu sıradaki sahip oldukları özellikler önemli derecede farklılık göstermiştir. En belirgin farklılık ise çeliklerde görülen akma bölgesinin GFRP donatılarında çekme sırasında görülmemesidir. Ayrıca GFRP donatıların inşaat çeliklerindeki gibi akma sonrasında pekleşme ve heterojen gibi bölgeleri de yoktur. GFRP donatılar çekme sırasında doğrusal bir davranışa sahip olup kopma noktasına kadar bu özelliklerini korumuşlardır. Bu nedenle GFRP çubukların  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramları incelendiğinde, kopma noktasına kadar gerilme seviyelerinde uzama miktarı gerilme ile doğru orantılıdır.

Tablo 2. GFRP çubuklarının çekme deneyi sonuçları [13,14].

Numune Çapı (mm)	Ø18	Ø16	Ø14	Ø12	Ø10	Ø8
Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	254,34	200,96	153,86	113,04	78,5	50,24
İlk Boy (mm)	180	160	140	120	100	80
Son Boy (mm)	183	162	143	123	102	83
Çekme Kuvveti (N)	125033	104720	83023	61211	43897	28848
Çekme Gerilmesi (MPa)	491,6	521,1	539,6	541,5	559,2	574,2
Kopma uzaması (%)	1,67	1,25	2,14	2,5	2,0	3,75

İnşaat çeliğinde akma dayanımının üzerinde uygulanan gerilmelerde plastik şekil değiştirmeler başlamıştır. Maksimum çekme noktasına ulaşıldığında ek uzamalar oluşup, kesit daralıp, çelik boyun vermeye başlamıştır. Son olarak numune kopma gerilmesine ulaşmış ve kopmuştur. Şekil 5.a'da deney yapılan çelik çubukların deney sonrası boyun vermiş halleri verilmiştir. Şekil 5.b'de ise GFRP çubukların deney sonrası kopma durumları görülmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi GFRP

çubukları çelik donatıdan farklı olarak gevrek kırılır. Çekme kuvvetinin maksimum yaptığı değer, GFRP çubuğunun kırıldığı değerdir. Deneyde görüldüğü gibi çelik donatılar sünek davranış gösterirken, FRP çubuklar gevrek davranış göstermektedir. Bu durum bazı yapı elemanları için bir dezavantaj olarak görülürse, çelikle birlikte GFRP kullanımı düşünülebilir.



Şekil 5. Deneyde Ø14 mm boyun vermiş veya kopmuş a: çelik donatılar ve b: GFRP donatılar

Nervürlü inşaat çeliklerinin çekme dayanımları dikkate alındığında, çap değişimine bağlı olarak çekme ve akma dayanımlarında önemli bir değişim görülmemiştir. Donatı bünyesindeki dislokasyonların varlığından dolayı az da olsa bir farklılık olduğu görülmektedir. GFRP donatıların çekme dayanımlara donatı çapına göre değerlendirildiğinde ise çelik donatılardan farklı olarak çapın azalmasıyla birlikte çekme dayanımlarının fark edilir derecede arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni de GFRP'lerde çapın dolayısıyla hacmin artmasıyla donatı bünyesindeki kusur miktarının artması ve çap arttıkça çekme dayanımının azalmasıdır. GFRP donatıların çapının 8 mm'den 18 mm'ye artmasıyla çekme dayanımlarında yaklaşık %14 oranında azalma elde edilmiştir [13].

En büyük çekme gerilmeleri açısından karşılaştırıldığında ise 16 mm çap değerine kadar çelik donatılarla GFRP donatıların çekme dayanımlarında önemli farklılık görülmemiştir. Hatta daha düşük çap değeri için GFRP daha yüksek çekme dayanımlarına sahiptir. Ancak 16 mm üzerindeki çap değerlerinde GFRP çekme donatılara göre daha düşük çekme dayanımına sahip olmuştur [18].

Elde edilen bulgulardan dikkat çeken bir özellik de çeliklerin deformasyon yeteneklerine göre GFRP'lerin daha rijit bir yapıya sahip olup, süneklik değerlerinin düşük olmasıdır. GFRP'ler inşaat çeliklerine göre 10 kat daha az süneklik değerine sahip oldukları gözlenmiştir. Buradan çeliklerin E-modüllerinin daha düşük olması sonucu çıkarılabilir, ancak şu da var ki, çelik donatıların doğrusal elastik bölgesi akma bölgesine kadar olup bu bölgede çelikler de düşük deformasyon yeteneğine sahiptirler. Çekme grafiklerinden GFRP donatıların kopma noktasına kadar doğrusal elastik davranışlarından dolayı E-modülü değerinin yaklaşık olarak 21500-45000 MPa arasında değerler aldığı Tablo 3'ten görülebilir. Dolayısıyla E-modülleri çelik donatılara göre oldukça düşüktür [13].

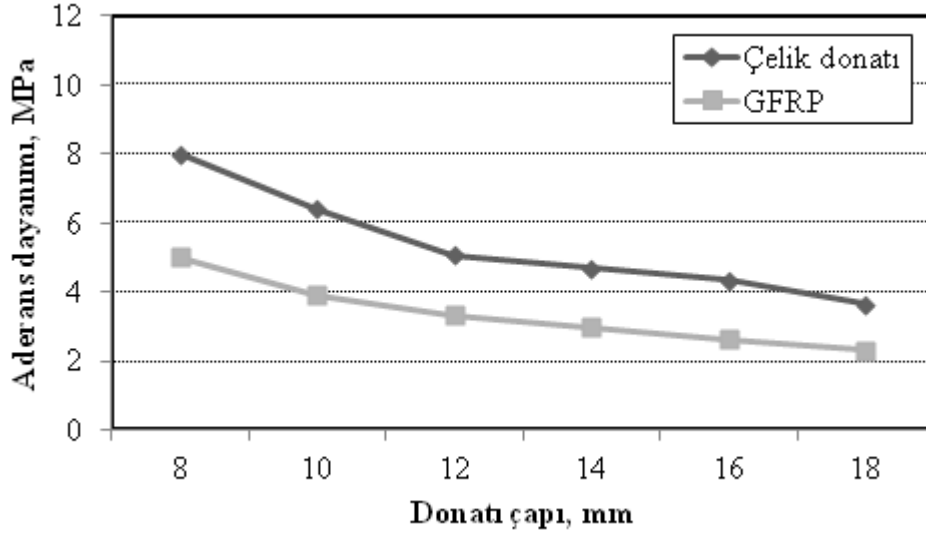
Tablo 3. Çekme Deneyi Sonuçlarına Göre Numunelerin E-Modülleri (MPa)

Çubuk çapları (mm)	Ø8	Ø10	Ø12	Ø14	Ø16	Ø18
Çelik	169487	198969	216850	307076	274184	216587
GFRP	31120	26059	21585	25304	44741	34384

### 3.2. Aderans Dayanımlarının Değerlendirilmesi

GFRP ve çelik donatıların betonla olan aderans dayanımları Şekil 6'da farklı çap değerleri için karşılaştırılmıştır. Her iki donatı tipi için de çap değerinin artmasıyla birlikte betonla olan aderans dayanımları temas yüzey alanının artmasından dolayı giderek azalmıştır. Bilindiği gibi beton ve

donatı arasındaki birleşim bölgesi yani temas yüzey alanı aderansı etkileyen ve beton ile donatıya göre en zayıf olan bölgedir [19,20]. Dolayısıyla bu bölge alanının artması ile aderans dayanımı azalmaktadır. İnşaat çeliğinde çapın 8 mm'den 18 mm'ye artırılmasıyla aderans dayanımı yaklaşık %53 oranında azalırken bu oran GFRP için %56 oranındadır [14,15].



**Şekil 6.** C25/30 sınıfındaki betonla donatıların aderans dayanımlarının karşılaştırılması

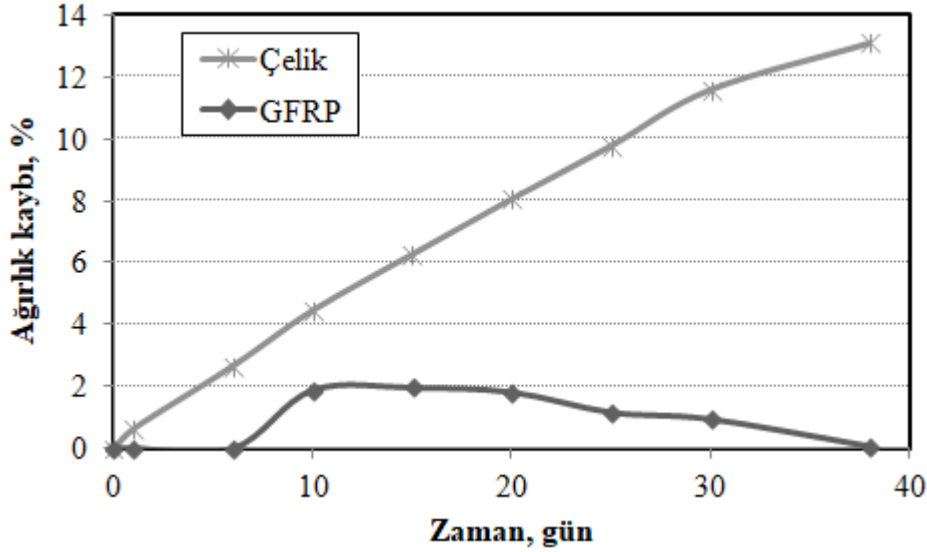
Aderans dayanımında etkili olan en önemli faktörlerden birisi de donatı tipi olmuştur. Diğer bir ifadeyle inşaat çeliği yerine GFRP kullanımı ile aderans dayanımının değişimidir. İnşaat çeliklerinin yüzeyi gözle görülmese de bir miktar mikro gözenekler nedeniyle pürüzlüdür. Ancak GFRP'lerin üretim tekniğine bağlı olarak yüzeyleri polimerik reçinelerle kaplıdır. Dolayısıyla yüzey pürüzlülükleri inşaat çeliklerine göre çok daha azdır. Bunun sonucu olarak da betonla olan aderansları çelik donatılara göre daha düşük elde edilmiştir. Benzer bulgular literatürdeki diğer çalışmalarda da gözlenmiştir [20,21]. Örneğin, 8 mm'lik donatılarda GFRP'lerin aderans dayanımları çelik donatılarınkine göre yaklaşık %38 oranında daha düşük iken, 18 mm çap değeri için bu azalma oranı yaklaşık %42'dir. Dolayısıyla çelik donatı yerine GFRP donatı kullanıldığında aderans dayanımı ortalama %40 oranında azaldığı belirtilebilir.

Yeraltı koşullarında yapı elemanı donatı korozyonuna uğramaya elverişli olup, yapı elemanlarının üretiminde çelik kullanılması durumunda bir kaç yıl sonra beton içerisindeki donatı korozyona uğrayacaktır. Bu durumu önlemek için ilave önlemler gereklidir. Ancak donatı olarak GFRP kullanılması durumunda, donatının polimerik olması nedeniyle donatı korozyonu açısından risk oluşturmayacaktır [22]. Yeraltı yapı elemanlarının maruz kaldığı bir diğer etki de asidik ortamdır. Özellikle sülfirik asit etkisine maruz kalarak, asit etkisiyle yapı elemanında ağırlık kayıpları nedeniyle önemli hasarlar oluşabilmektedir [23]. Bu nedenle, alt yapı elemanlarının üretimlerinde çelik donatı yerine GFRP donatıların kullanımı alternatif olarak gittikçe yaygınlaşmaktadır [24]. Çelik donatı ve GFRP donatının sülfirik asit etkisinde 38 gün boyunca bekletilerek belirli zaman aralıklarında ağırlıklarının alınması sonucunda, donatılardaki rölatif ağırlık değişimleri Şekil 7'de sunulmuştur. Çelik donatıdaki ağırlık kaybının deney süresinin bitimine kadar sürekli arttığı açıkça görülmektedir. Çelik donatıda deney sonunda %13 oranında ağırlık kaybı oluşmuştur. Ağırlık kaybı sırasında donatı yüzeyinde dökülmeler ve dolayısıyla çapında da azalmalar oluşacağı dikkate alındığında, alt yapı elemanında, betonla olan aderansı da ortadan kalkacak ve üstelik üzerindeki çekme gerilmelerini de taşıyamayarak elemanın göçmesine de neden olabilecektir.

Aynı asidik ortamdaki GFRP donatıda, ilk zamanlarda ağırlık kaybı olmazken, yaklaşık bir hafta sonra %2 oranında ağırlık kaybı oluşmuştur. Daha sonra tekrar ağırlık kaybı azalmaya başlamıştır. Buradaki ağırlık kaybının nedeni, GFRP üretiminde donatı etrafına sargı olarak kullanılan ince çelik



teldeki ağırlık kaybı nedeniyledir. Ağırlık kaybındaki azalma ise, GFRP'nin asidik ortamda bünyesine çözeltiyi alarak ağırlık artışının olduğunu göstergesidir. Çünkü GFRP gibi polimerik malzemeler asidik ortamlarda ağırlık kaybı yerine iç yapısındaki bağların kırılıp dağılıncaya kadar ağırlık artışına sahiptirler.



Şekil 7. Çelik ve GFRP donatının (Ø10) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde ağırlık değişimi

Çeşitli asidik çözeltilerle de yapılan çalışmalarda benzer bulgular elde edilmiştir [9,10]. Dolayısıyla, Şekil 7'deki sonuçlar dikkate alındığında, GFRP üzerindeki çelik telden dolayı ağırlık kaybı olmasaydı, deney bitiminde GFRP donatıda %2 oranında bir ağırlık artışı görülmüş olunacaktır. Sonuç olarak, GFRP donatının asitten etkilenmediği sonucuna ulaşılabilir [11].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, asidik etki ve korozyon riski yüksek olan ve bu nedenle yenilenmesi veya bakım/onarımı gerekli olabilen alt yapı betonarme elemanlarında alternatif olarak polimerik donatıların kullanılması ve bu donatıların mekanik özellikleri açısından çelik donatılarla karşılaştırılması yapılmıştır. Elde sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- İnşaat çeliği donatılarında akma bölgesi görülürken, GFRP donatılarının çekme davranışlarında akma bölgesi görülmemiştir. Kopma noktasına kadar doğrusal davranış göstermiştir.
- GFRP donatıların en büyük çekme gerilmesi değeri 16 mm'lik çap değerine kadar çelik donatılarla benzer değerlere sahiptir. Çap değeri yükseldikçe çekme gerilmelerinin azaldığı görülmüştür. Ancak çelik donatılarda bu azalma önemli derecede olmamıştır.
- GFRP donatılarının aynı gerilme değeri altında çelik donatılara göre 10 kat daha az deformasyon yaptıkları gözlenmiştir.
- Kopmaya kadar doğrusal elastik davranış sergilediklerinden çelik donatıların elastisite modüllerine göre oldukça düşük değerlere sahip oldukları görülmektedir.
- Betonla aderans açısından karşılaştırıldığında ise aynı çaptaki GFRP donatıların çelik donatılara göre ortalama %40 daha düşük aderans dayanımına sahip oldukları görülmüştür.
- Elektrolitik korozyon açısından dikkate alındığında, GFRP donatılarının polimerik yapılarından dolayı yalıtkan malzeme olmaları ve elektriği iletmemeleri sayesinde böyle bir risk taşımadıkları sonucuna ulaşılmıştır.



- Asit kaybı açısından incelendiğinde, sülfirik asit çözeltisinde çelik donatıda %13 oranında ağırlık kaybı oluşurken, GFRP'de ağırlık kaybı oluşmamıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, hem elektrolitik hem de asidik korozyondan dolayı sürekli yenileme veya bakım gerektiren alt yapı elemanlarında yapının servis ömrünü uzatmak için GFRP çubukları çelik donatılara alternatif olarak kullanılabilirler.

## Teşekkür

Yazarlar bu çalışmaya destek olan “FRP Donatıların Beton İle Aderansının Araştırılması” başlıklı, 2017/15A102 nolu Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi için teşekkürlerini sunarlar.

## Kaynaklar

- [1]. Dejke, V., Tefers, R., ‘Durability and service life prediction of GFRP for concrete reinforcement’, In Proceedings of 5th international conference on fiber-reinforced plastics for reinforced concrete structures (FRPRCS-5), 505–516, (2001).
- [2]. Hota, V.S. G., Vijay, P.V., Narendra, T., Reinforced Concrete Design with FRP Composites, CRC Press, (2007).
- [3]. Yavuz, G., ‘Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı’, Selçuk Üniversitesi, Mayıs, (2011).
- [4]. Caratelli A., Meda A., Rinaldi Z., Spagnuolo S., Maddaluno G., ‘Optimization of GFRP reinforcement in precast segments for metro tunnel lining’, Composite Structures, 181, 336–346, (2017)
- [5]. Karbhari, V.M., ‘Durability of Advanced Polymer Composites in the Civil Infrastructure’, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), 31-38, (2004).
- [6]. Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar. Hughes Brothers, Inc., Seward, Nebraska, 2000.
- [7]. DeFreese J.M., Roberts-Wollmann C.L., ‘Glass fiber reinforced polymer bars as top mat reinforcement for bridge decks, Virginia Transportation Research Council’, Final Report (VTRC 03-CR6), (2002).
- [8]. Eslami S., Taheri F., Effects of perforation size on the response of perforated GFRP composites aged in acidic media, Corrosion Science 69 (2013) 262–269.
- [9]. Amaro A.M., Reis P.N.B., Neto M.A., Louro C., Effects of alkaline and acid solutions on glass/epoxy composites, Polymer Degradation and Stability 98 (2013) 853-862.
- [10]. Sindhu K, Joseph K, Joseph JM, Mathew TV. Degradation studies of coir fiber/ polyester and glass fiber/polyester composites under different conditions. J Reinf Plast Compos (2007); 26:1571-1585
- [11]. Jabbar, S.A.A., Farid, S.B.H., Replacement of steel rebars by GFRP rebars in the concrete structures, Karbala International Journal of Modern Science 4 (2018) 216-227.
- [12]. TS EN ISO 6892-1: Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan (2016).
- [13]. Aydın F., Ekiz Y., Sarıbyık M., Sarıbyık A., ‘FRP Donatı Çekme Testlerinde Numune Başlık Özelliklerinin Çekme Test Sonuçlarına Etkilerinin Araştırılması’, Akademik Platform (3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISITES2015), 1796-1806, (2015).
- [14]. Topçu, İ.B., Eroğlu, S., FRP Donatıların Beton İle Aderansının Araştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Proje No:2017-1579, (2018), Eskişehir

- [15]. Bacanlı, K., FRP Donatıların Beton İle Aderansının Araştırılması, Bitirme Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2018, Eskişehir
- [16]. Baena, M., Torres, L., Turon, A., Barris, C., 'Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test', *Composites Part B: Engineering*, 40(8), 784-797, (2009).
- [17]. Uygunoglu, T., Güneş, İ., Biogenic corrosion on ribbed reinforcing steel bars with different bending angles in sewage systems, *Construction and Building Materials* 96 (2015) 530–540
- [18]. Hwang J.H., Seo D.W., Park K.T., You Y.J., 'Experimental Study on the Mechanical Properties of FRP Bars by Hybridizing with Steel Wires', *Engineering*, 6(7):365-373, (2014).
- [19]. Yoo D-Y, Kwon K-Y, Park J-J, Yoon Y-S., 'Local bond-slip response of GFRP rebar in ultra-high-performance fiber-reinforced concrete'. *Compos Struct*, 120:53–64, (2015).
- [20]. Okelo, R., and Yuan R. L., 'Bond strength of fibre reinforced polymer rebars in normal strength concrete', *Journal of Composites for Construction*, 9(3), 203-213, (2005).
- [21]. Malvar, L., 'Tensile and bond properties of GFRP reinforcing bars', *ACI Materials Journals*, 92(3), 276-285, (1995).
- [22]. Halliwell, S.M., Reynolds, T., 'Effective Use of Fibre Reinforced Polymer Materials in Construction', BRE Centre for Composites in Construction, London, (2004).
- [23]. Uygunoglu, T., Güneş, İ., Biogenic corrosion on ribbed reinforcing steel bars with different bending angles in sewage systems, *Construction and Building Materials* 96 (2015) 530–540
- [24]. Taha, M.R. FRP for Infrastructure Applications: Research Advances, *Fibers*, (2018), 6(1), 1-3.