

BFRP Şeritlerin Beton Yüzeyine Yapışma Kabiliyetinin İyileştirilmesi

¹Hasan Hüseyin Akbalık ve ^{*2}Ali Sarıbiyık

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

^{*2}Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

ÖZET

Günümüzde betonarme yapı elemanlarının onarım ve güçlendirmesinde Fiber Takviyeli Polimer (FRP) kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton yüzeyine yapıştırılan FRP kompozit nihai taşıma gücüne ulaşmadan beton yüzeyinden sıyrılarak ayrılmaktadır. FRP kompozitlerin beton yüzeylere yapıştırılmasında; epoksi reçine, beton dayanımı, fiber özelliği ve uygulama metodu önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada; Bazalt Elyaf Takviyeli Polimer (BFRP) kompozitlerin beton yüzeyine yapışma kabiliyetinin araştırılması için geleneksel beton kullanılarak kiriş numuneleri üretilmiştir. Numunelerin açıklığının alt ortasına boşluk bırakılarak beton ve BFRP arasındaki gerilme dağılımı incelenmiştir. Deney numunelerinin üretiminde tek doğrultulu bazalt elyaf kumaş kullanılmıştır. Kirişlerin alt yüzeylerine BFRP kompozit yapıştırılarak beton yüzey özelliğinin ve elyafın ucuna yapılan *U* sarım yönteminin yapışma kabiliyetine etkileri araştırılmıştır. Numuneler dört nokta eğilme deneyi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; beton yüzeyinin düzeltilmesi ve *U* sarım yöntemi yapışma kabiliyetini önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapışma, sıyrılma, BFRP, kiriş numune, güçlendirme

Improving the Adhesion of BFRP Strips to the Concrete Surface

ABSTRACT

Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites are widely used in repair and strengthening of reinforced concrete structural elements. The FRP composite adhered to the concrete surface may be separated from the concrete surface in the form of debonding before reaching the ultimate strength. Epoxy resin, concrete strength, fiber properties and application method have an important role in bonding of FRP composites to concrete surfaces. In this study, concrete beam specimens were produced in order to investigate the adhesion of Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP) composites to the concrete surface using conventional concretes. Stress distribution between concrete and BFRP was investigated by opening a gap in the bottom center of the samples. Unidirectional basalt fiber fabric was used in the production of the test specimens. The effects of concrete surface properties and U winding method on the end of fiber adhesion ability were investigated by bonding BFRP composite to the lower surfaces of the Specimens. Specimens were tested by four point bending experiment. According to the results obtained, the grinding of the concrete surface and the U-winding method significantly improve the adhesion.”

Keywords: bond, debonding, BFRP, beam specimen, strengthening

1.Giriş

Betonarme yapı elemanlarının servis ömürleri boyunca gerekli performans şartlarını sağlamadıkları durumda onarılması veya güçlendirmesi gerekmektedir. Onarım ve güçlendirme ihtiyacı, yapıların kullanım amacı ve servis yüklerinin değişmesi, projelendirme ve uygulama hataları, donatı yetersizliği, düşük dayanımlı beton kullanımı, depremlerin vermiş olduğu zararlar ve yapının zamanla dayanıklılığını kaybetmesi vb. gibi nedenlerle oluşmaktadır. Bununla birlikte, mevcut standartlardaki ve yönetmeliklerdeki değişiklikler nedeniyle de mevcut yapıların güçlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir.

Betonarme yapıların onarım ve güçlendirmesinde değişik yöntemler kullanılmakta olup, yaygın olarak zayıf taşıyıcı elemanları sisteme yeni ilave edilecek betonarme elemanlar ile güçlendirmek veya mevcut betonarme yapısal elemanların betonarme/çelik elemanlar ile mantolanması bu yöntemlerin başında gelmektedir. Ancak bu yöntemler ile yapılan güçlendirmenin yapı ağırlığını önemli ölçüde artırdığı ve ekstra maliyet artışlarına neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca güçlendirme sırasında yapının kullanımını da mümkün olmamaktadır. Bu nedenlerden dolayı yapı ağırlığını arttırmaması, kolay ve hızlı uygulanabilmesi, elemanların taşıma kapasitelerini önemli ölçüde arttırması, güçlendirme sırasında yapının kullanımına imkân sağlaması, korozyona uğramaması gibi nedenlerle Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) kompozit malzemeler alternatif güçlendirme yöntemi olarak kullanılmaktadır[1–8].

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde FRP kompozitlerle onarılmış veya güçlendirilmiş yapı elemanlarında üç tip göçme şekle ile karşılaşılmaktadır. Bunlar; FRP kompozitin beton yüzeyinden sıyrılması, yüzeye yapıştırılan epoksinin kayma direncinin aşılması yüzeyden ayrılması ve FRP kompozitin taşıma gücünü aşarak elyafın kopması şeklindedir[9, 10]. Elyaf kopması FRP kompozitin performansından tam olarak yararlanıldığı için istenilen bir durum olarak görülmektedir. FRP kompozitin yapıştırıldığı yüzeyden aderans yetersizliğine bağlı olarak soyulması durumunda elyaf performansının çok daha altında göçme meydana gelmekte ve elyaf performansını arttırmak için çeşitli uygulama yöntemleri üzerine çalışılmaktadır. FRP kompozitin sıyrılmasını önlemek ve performansından daha iyi yararlanmak için elyaf yapışma boyunun ve yapışma yüzey alanının artırılması, elyaf uçlarına *U* sarım yöntemi ve ankraj uygulanması gibi metotlar geliştirilmiştir.

Sayed-Ahmed ve Arkadaşları (2009) FRP ile beton yüzeyi arasındaki yapışma dayanımını tahmin etmek için oldukça geniş bir ağa sahip olan literatür taraması yapmışlardır. FRP ile beton arasındaki yapışmayı tahmin edebilmek için literatürde yer alan ampirik formüller ile deneysel verilerin kalibre edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır[11]. Yuan C. ve Arkadaşları (2018) yapmış oldukları çalışmada BFRP şerit ile çelik lif takviyeli beton arasındaki bağ davranışını araştırmışlardır. Araştırmada beton içerisinde farklı oranlarda lif kullanılmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre beton içerisine katılan çelik lif oranı arttıkça BFRP şeridin yüzeyden sıyrılması için gereken yükün de arttığını belirtmişlerdir[12]. Kaya T. ve Arkadaşları (2017) yapmış olduğu deneysel çalışmada metal saclar kullanılarak güçlendirilen beton kirişlerin eğilme dayanımlarına yapıştırıcı türlerinin etkilerini araştırmışlardır. Üç farklı yapıştırıcı türü kullanılmış ve Sikadur 330 türü epoksinin diğer epoksilere göre daha iyi performans sergilediğini tespit etmişlerdir[13].

Güçlendirilen betonarme elemanın davranışını; beton dayanımı, epoksi türü, elyaf türü ve güçlendirme yöntemi önemli ölçüde etkilediği ve BFRP kompozitin beton yüzeyine yapışması üzerine yapılan çalışmaların yetersiz olduğu literatürden anlaşılmaktadır. Bu nedenle BFRP kompozit ile yapılan güçlendirmede ara yüzey davranışını doğru tespit etmek için daha fazla

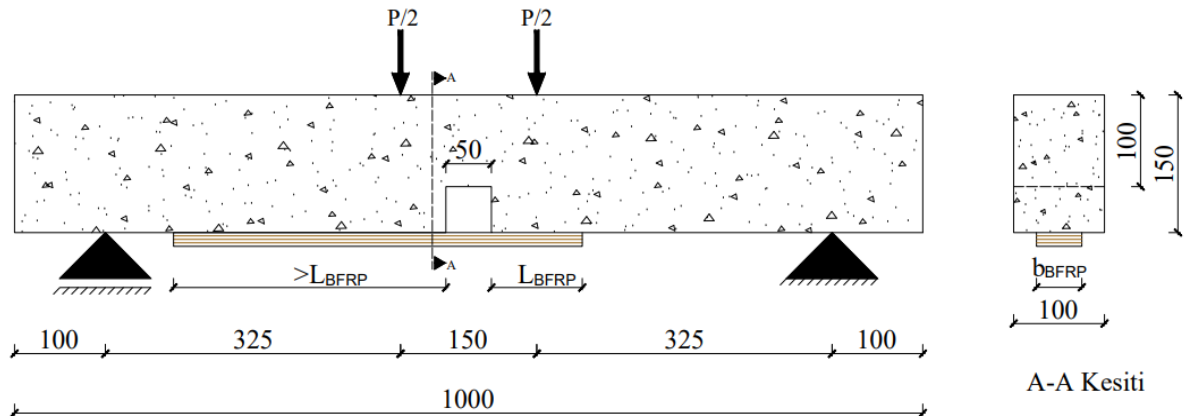
araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada; BFRP kompozitin beton yüzeyine yapışma kabiliyetini incelemek için yüzey özelliğinin ve elyaf uçlarına uygulanan U sarım yönteminin etkileri araştırılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Test numuneleri ve araştırma parametreleri

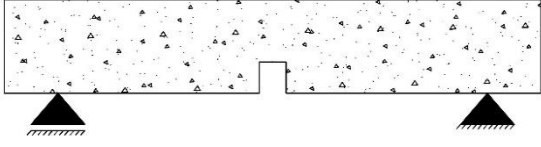
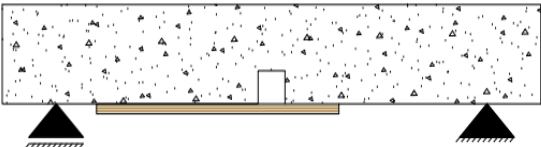
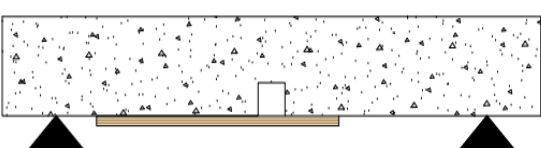
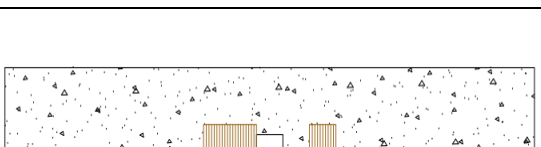
DeneySEL çalışmada; 100x150x1000 mm boyutuna sahip 7 adet beton kiriş numunesi üretilmiştir. Güçlendirme yapılmayan numuneler kontrol numuneleri (Kontrol 1, Kontrol 2), beton yüzeyine müdahale edilmeden bazalt elyaf yapıştırılan numuneler (MY), yüzeyi taşlanarak düzeltildikten sonra bazalt elyaf yapıştırılan numuneler (YD) ve YD numunelerine U sarım yapılan numuneler (YDU) şeklinde gruplara ayrılmıştır.

Üretilen numunelerin simetri eksenine üretim aşamasında 50x50 mm boyutuna sahip çentikler açılmıştır. Numunelerin alt kısmına yapıştırılan tek doğrultulu bazalt elyaf kumaş 50 mm genişliğinde ve 450 mm uzunluğundadır. Bazalt elyafın etkili yapışma boyu 100 mm'dir. Beton yüzey özelliğinin ve elyaf uçlarına uygulanan U sarım yönteminin beton yüzeyine yapışma kabiliyetine etkileri araştırılmıştır. Numunelerin testinde dört noktalı eğilme test yöntemi kullanılmıştır. Mesnet özellikleri ve yükleme noktaları Şekil 1'de, çalışmada kullanılan kirişlerin bilgileri de Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Betonarme kirişin yükleme durumu ve geometrik özellikleri

Tablo 1. Kiriş numune isimleri ve açıklamaları

Kiriş İsimleri	Kiriş Şekilleri	Kiriş Özellikleri	Adet
Kontrol		Kontrol kirişi	2
MY		Yüzeyi taşlanmış, 100 mm yapışma boyuna sahip numune	1
YD		Yüzeyi taşlanmamış, 100 mm yapışma boyuna sahip numune	2
YDU		Yüzeyi taşlanmış, elyaf ucu 50x250 mm boyutlarında U sarım ile güçlendirilmiş numune	2

2.2. Malzemeler

Betonarme kirişlerin üretilmesinde 40,4 MPa eşdeğer silindir basınç dayanımına sahip beton kullanılmıştır. Kirişlerde eğilme veya kesme donatısı kullanılmamıştır. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan tek doğrultulu bazalt elyaf kumaş kullanılmıştır. Bazalt elyaf kumaştan muhtelif boylarda numune kesilerek hazırlanmıştır. Bazalt elyafın dokuma kalınlığı: 0,14 mm, çekme dayanımı: 3115 MPa, çekme elastisite modülü: 89 GPa, kopma uzaması: %3,5; elyafların beton yüzeyine harici olarak yapıştırılması işlemi için kullanılan çift bileşenli Sikadur 330 epoksi esaslı doyurma reçinesinin çekme dayanımı: 30 MPa, çekme elastisite modülü 4500 MPa, kopma uzaması: %0,9 olarak ürün kataloğundan alınmıştır.



Şekil 2. Deneyde kullanılmak üzere hazırlanmış bazalt elyaf örnekleri

2.3. Numune üretimi ve deney düzeneği

Beton kiriş numuneleri üretilmesinde kullanılan kalıp laboratuvarında hazırlanmış olup beton ise hazır beton firmasından temin edilmiştir. Kalıbın yapımı esnasında simetri eksenine 50x50 mm boyutlarında ahşap parçaları yerleştirilmiş ve böylelikle istenen çentikler elde edilmiştir. Numunelerin üretilmesinde donatı kullanılmamıştır. Beklenen basınç dayanımını kazanması için yeteri kadar kalıplarda bekletilen numuneler kalıptan çıkarılmış ve bazalt elyafın yapışması için taşlama çanak yardımı ile yüzeyleri uygun hale getirilmiştir. Taşlama işleminden sonra yüzeyler tel fırça yardımıyla fırçalanmış, beton yüzeyindeki kuşgözü boşluklar ortaya çıkartılmış, beton yüzeyine basınçlı hava püskürtülmüş ve bir bez yardımıyla yüzey silindikten sonra yapışma işlemi için engel teşkil edecek durumlar ortadan kaldırılarak beton yüzeyi yapışmaya uygun hale getirilmiştir.

Yapıştırma işleminde kullanılan çift bileşenli epoksi (reçine ve sertleştirici) kullanma talimatına uygun oranlarda karıştırılarak beton yüzeylerine ve bazalt elyafa hiç kuru yer kalmayacak şekilde sürülmüştür. Epoksi reçine beton yüzeyine yapıştırılan elyafın üzerine rulo yardımı ile bir kat daha sürülerek elyaflar doymun hale getirilmiştir. U sarım yapılacak numunelerin köşeleri taşlanarak ovalleştirilmiştir. Kiriş yapışma yüzeyleri de taşlanmıştır. Yapıştırma işlemi tamamlanan numuneler epoksi reçinenin sertleşme işlemi tamamlanmaya kadar bekletilmiştir.



a) Yüzeylerin taşlanması ve fırçalanması



b) U sarım yapılacak yüzeylerin taşlanması



c) Elyafın epoksi reçineye doyurulması

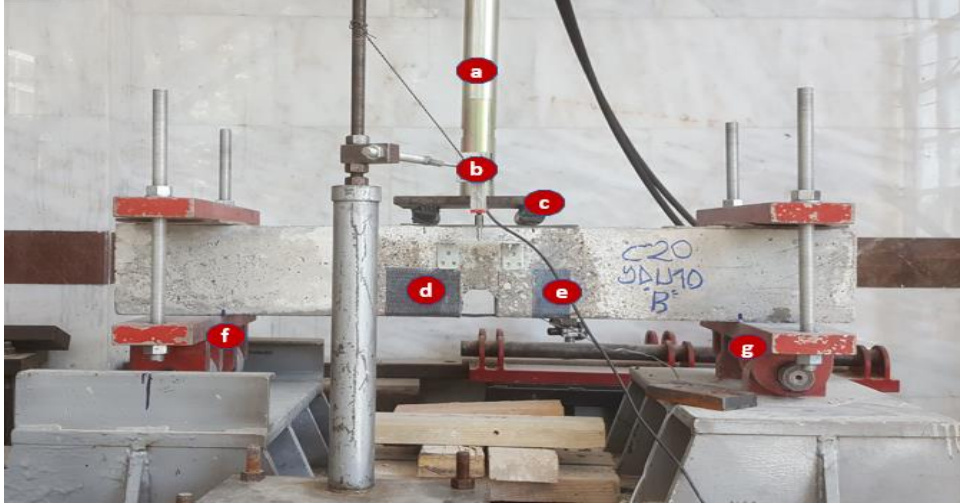


d) Elyaf yapıştırma işlemi

Şekil 2. Beton yüzey hazırlığı(a,b) ve BFRP kompozitin beton yüzeyine uygulama aşamaları(c,d)

Deney numunelerinin testinde dört nokta eğilme deney çerçevesi kullanılmıştır (Şekil 4). Deney yükleme hızı 0,1 kN/sn olarak ayarlanmıştır. Kirişlerin üzerine hidrolik pompadan (Şekil 4.a) aktarılan P tekil yükünü, P/2 haline getirecek 150 mm basit mesnet açıklığına sahip reaksiyon kirişi (Şekil 4.c) yerleştirilmiştir. Numunelerde oluşacak olan sehim, beton yan yüzeyine kurulan LVDT aracılığıyla ölçülmüştür (Şekil 4.b). Deney elemanlarının hareketli mesnet tarafı rijit (Şekil 4.d), sabit mesnet tarafı ise asıl deneyin gerçekleştirilmek istendiği etkili yapışma boyuna sahip kısım (Şekil 4.e) olarak tasarlanmıştır. Cihazdaki biri kayıcı (Şekil 4.f) diğeri sabit (Şekil 4.g) olan mesnetler arası mesafe 800 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Kirişlerde göçme

oluşuncaya kadar yükleme işlemine devam edilmiştir. Elektronik yük hücresinden (Load Cell) alınan yük değerleri ve yer değiştirme ölçerden (LVDT) alınan deplasman değerleri aynı anda veri kaydediciler vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve veri aktarım sisteminin genel görünüşü

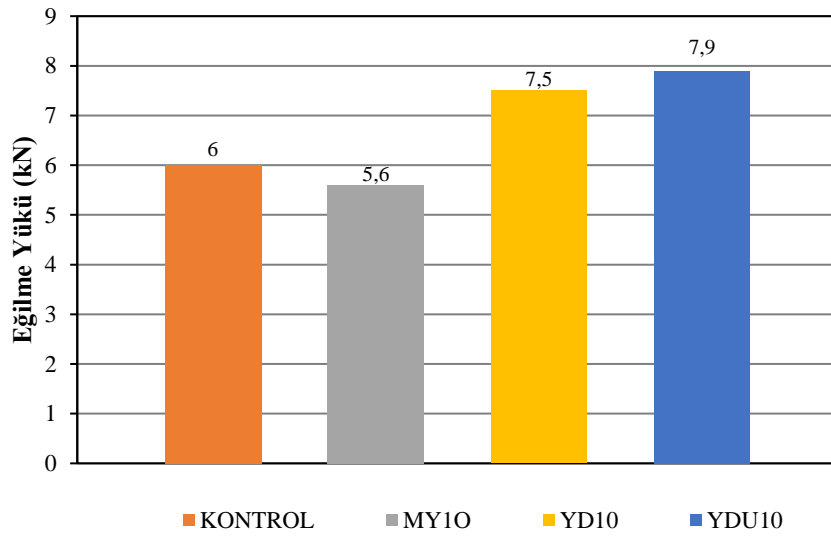
3. Deney sonuçları ve tartışma

Sabit hızlı yükleme altında eğilme çerçevesinde dört nokta eğilme testine tabi tutulan deney elemanlarının, beton çatlama ve numune göçme yükleri ile bu yüklerle karşılık gelen deformasyon değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Numunelere ait deney sonuçları

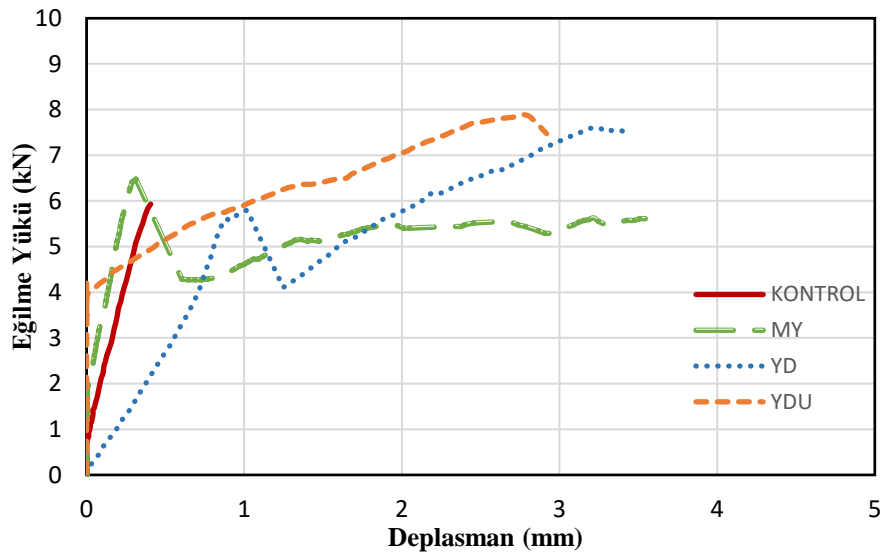
Numune Adı	Beton kırılma yükü(kN)	Beton kırılma deformasyonu(mm)	Eğilme yükü(kN)	Eğilme deformasyonu(mm)
KONTROL	6	0,40	-	-
MY	6,4	0,30	5,6	3,54
YD	5,8	1,01	7,5	3,40
YDU	4,3	0	7,9	2,77

Kontrol kirişi ortalama 6 kN eğilme yükünde göçmüştür. MY, YD ve YDU numunelerinde; beton çatlama anındaki yük sırasıyla 6,4, 5,8 ve 4,3 kN, eğilme yükü ise sırasıyla 5,6, 7,5 ve 7,9 kN olarak bulunmuştur. Kontrol betonuna kıyasla yük taşıma kapasitesindeki değişimler, yüzey düzeltilmemiş MY numunesinde %6,67 dayanım azalışı şeklinde, YD numunesinde %25, YDU numunesinde de %31,67 dayanım artışı şeklinde olmuştur. Yüzey hazırlığının yük taşıma kapasitesine etkisi incelendiğinde YD numunesinin, MY numunesine kıyasla %33,9 daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir. Elyaf uçlarına U sarım yapmanın yük taşıma kapasitesine etkisi incelendiğinde ise YDU numunesinin MY numunesine kıyasla 1,41 kat, YD numunesine kıyasla da 1,05 kat daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Numunelerde eğilme yükü değişimleri

Deney sonuçları incelendiğinde; numune grupları kendi içinde benzer davranış göstermişlerdir. Kontrol numunesinde ilk çatlak oluşması ile birlikte numune göçmüştür. BFRP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde ise beton çatladıktan sonra BFRP kompozit yük taşımaya devam etmiştir. MY numunesinde yük değeri betonun kırılma yüküne dahi ulaşmadan BFRP kompozit beton yüzeyinden betonu kopararak ayrılmıştır. YD ve YDU numunelerinde beton çatladıktan sonra BFRP kompozitin taşıdığı yük, beton kırılma yükünün üzerine çıkmıştır.



Şekil 5. Numunelerin eğilme yükü -deplasman davranışları

MY ve YD numunelerinde göçme, BFRP kompozitin betonu koparak ayrılması şeklinde, YDU numunesinde ise elyaf kopması şeklinde olmuştur (Şekil 7). FRP'nin beton yüzeyinden sıyrılması ve epoksinin kayma direncinin aşılması ile ilgili hesap yöntemi önerilmektedir[14]. Ancak FRP'nin taşıma gücü noktasında tam performansından yararlanılamamaktadır. Bu çalışmada kullanılan şerit uçlarına uygulanan U sarım yönteminde BFRP kompozitin kopması, malzemenin tüm performansının kullanıldığını ve geliştirilen uygulama yönteminin istenilen

başarıya ulaştığını göstermiştir(Şekil 7d). Yapılan deneylerden yola çıkarak beton yüzeyine FRP yapıştırılmasının gerekli olduğu durumlarda yüzeyin mutlaka gerekli işlemler yapılarak yapışmaya uygun hale getirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca elyaf uçlarına dıştan harici olarak uygun U sarım yapılması elyafın tüm performansının kullanılmasını sağlamaktadır.



Şekil 6. Numunelerin deformasyon şekilleri

4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, harici olarak beton yüzeyine epoksi reçine kullanılarak yapıştırılan BFRP kompozitin taşıma gücüne, yüzey özelliğinin ve etkili yapışma bölgesindeki elyaf uçlarına uygulanan U sarım yönteminin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Yüzey hazırlığı yapılmayan deney numunesinde (MY) beton çatladıktan sonra yük %6,67 oranında azalarak elyaf yük taşımaya başlamış, ancak yük değeri betonun kırılma yüküne dahi ulaşmadan BFRP kompozit beton yüzeyinden sıyrılarak ayrılmıştır. Ancak beton çatladıktan sonra yüzeyi düzeltilmiş (YD) numunede eğilme yükü %25, yüzeyi düzeltilen ve elyaf uçlarına U sarım yapılan (YDU) numunede ise eğilme yükü %31,67 oranında artmıştır. MY ve YD numunesinde göçme elyaf ayrılması şeklinde YDU numunesinde ise elyaf kopması şeklinde olmuştur. Uygulanan U sarım yönteminin elyafın tam performansla çalışması için yeterli olduğunu göstermektedir. FRP kompozitin beton yüzeyine yapıştırılmadan önce beton yüzeyinin yapışmaya uygun hale getirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Etkili yapışma boyunun yetersiz olması durumunda elyaf uçlarına U sarım yöntemi uygulanarak elyaf tam performansla çalıştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] J. Tatar and H. R. Hamilton, "Comparison of laboratory and field environmental conditioning on FRP-concrete bond durability," *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 525–536, 2016.
- [2] A. Belarbi and H. Wang, "Bond durability of FRP bars embedded in fiber-reinforced concrete," *J. Compos. Constr.*, vol. 16, no. 4, pp. 371–380, 2012.

- [3] R. Sen, “Developments in the durability of FRP-concrete bond,” *Construction and Building Materials*. 2015.
- [4] N. Banthia, A. Abdolrahimzadeh, M. Demers, A. Mufti, and S. Sheikh, “Durability of FRP-concrete bond in FRP-strengthened bridges,” *Concr. Int.*, vol. 32, no. 8, pp. 45–51, 2010.
- [5] A. Saribiyik 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.
- [6] L. Lorenzis, B. Miller, and A. Nanni, “Bond of FRP laminates to concrete,” *ACI Mater. J.*, 2001.
- [7] I. Iovinella, A. Prota, and C. Mazzotti, “Influence of surface roughness on the bond of FRP laminates to concrete,” *Constr. Build. Mater.*, 2013.
- [8] K. K. Ghosh and V. M. Karbhari, “Evaluation of environmental effect on FRP/concrete bond,” in *International SAMPE Symposium and Exhibition (Proceedings)*, 2005, vol. 50, pp. 265–279.
- [9] S. T. Smith and J. G. Teng, “FRP-strengthened RC beams. I: Review of debonding strength models,” *Eng. Struct.*, 2002.
- [10] D. J. Oehlers, S. M. Park, and M. S. Mohamed Ali, “A structural engineering approach to adhesive bonding longitudinal plates to RC beams and slabs,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 2003.
- [11] E. Y. Sayed-Ahmed, R. Bakay, and N. G. Shrive, “Bond strength of FRP laminates to concrete: State-of-the-art review,” *Electron. J. Struct. Eng.*, 2009.
- [12] C. Yuan, W. Chen, T. M. Pham, and H. Hao, “Bond behavior between basalt fibres reinforced polymer sheets and steel fibres reinforced concrete,” *Eng. Struct.*, 2018.
- [13] T. KAYA, M. ARAS, and Ö. ÇALIŞKAN, “Güçlendirilen Beton Kirişlerin Eğilme Dayanımlarına Yapıştırıcının Etkisi,” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–7, Dec. 2017.
- [14] ACI Committee 440, *ACI 440.2R-08 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems*. 2008.