GFRP-Beton-Çelik Donatılı Hibrit Kirişlerin Eğilme Davranışlarının İncelenmesi

[1]Ferhat Aydın ve [2]Mehmet Sarıbıyık
*[1]Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
[2]Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Lif takviyeli plastik kompozit malzemelerin kullanımı bir çok alanda olduğu gibi inşaat alanında da hızla artmaktadır. Başlangıçta ikincil elemanlar olarak kullanılan bu malzemeler, günümüzde esas malzeme ya da güçlendirme malzemesi olarak tercih edilmektedir. Son zamanlarda sıkça tercih edilen kompozit malzemelerden birisi de Cam Lif Takviyeli Plastik (GFRP) profillerdir. Yapı sektöründe esas malzeme olarak kullanımı giderek artan GRFP profillerin üstün çekme dayanımının yanı sıra, hafifliği, korozyon dayanımı gibi özellikleri GFRP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemeye alternatif yapmaktadır.

Bu çalışmada yüksek çekme dayanımına sahip GFRP kutu profiller içerisine plastik haldeki betonun çelik donatıyla birlikte yerleştirilmesiyle oluşturulan hibrit malzemenin kullanımı araştırılmıştır. GFRP profil, beton ve çelik donatı kullanılarak oluşturulan hibrit kirişlerin eğilme performansı araştırılmıştır. Bu amaçla yalın beton, GFRP profil, hibrit kiriş ve çelik donatılı hibrit kiriş numuneler üretilmiş ve üç noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Eğilme testleri sonrasında eğilme dayanımları hesaplanarak yük-sehim grafikleri oluşturulmuş, malzeme davranışındaki farklılıklar incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda GFRP-Beton-Çelik donatılı hibrit kirişlerin eğilme performanslarının büyük oranda arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GFRP, Hibrit Kiriş, Çelik Donatı, Eğilme

Abstract :

The use of Fiber-Reinforced Plastic composite materials in the construction sector has been growing rapidly in recent years. Initially though they are used as a secondary member, preferring main construction member or reinforcement in buildings at the present time. One of the increasingly widespread uses of fiber composites is Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) materials. Factors of tensile strength, lightweight and non-corrosive properties are make the GFRP materials to competitive alternative to structural materials.

In this study; the effect of hybrid usage of GFRP profile, steel bar with concrete, which have a high compressive strength, on flexural properties have been investigated. Hybrid beams elements were formed by placing concrete in plastic form with steel rebar inside GFRP box profiles and experimental tests were performed on the materials. For this purpose, GFRP beams, hybrid beams and steel-reinforced hybrid three-point bending beam specimens were produced and tested. flexural strength is calculated and load-deflection graphs were obtained. It was found that the flexural performance of hybrid beams significantly increased when compared to reference values.

Key words: GFRP, Hybrid Beam, Steel Rebar, Flexure

*Corresponding author: Address: [1]Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
. E-mail address: ferhata@sakarya.edu.tr, Phone: +902642956475

1. Giriş

Gelişen üretim teknolojileri ile birlikte malzemelerin daha verimli kullanımı amacıyla yeni tasarımlar üzerinde çalışılmaktadır. Bu süreç günümüzde artarak devam etmiş, tüm alanlarda olduğu gibi yapı malzemeleri alanında da insanların talepleri, malzemelerde yaşanan problemlere paralel olarak yeni malzemelerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Malzeme problemleri azaltmak ve yeni talepleri karşılamak amacıyla yeni malzeme türleri ve uygulamalar üzerindeki arayış sürmektedir. Farklı malzemelerin kombinasyonu ile oluşturulan kompozit malzemeler ve kompozit malzemelerin birleşimiyle elde edilen hibrit malzeme tasarımları son yıllarda büyük ilgi görmektedir [1]. Lifli kompozit malzeme olan cam takviyeli plastik profiller ile taneli kompozit malzeme sınıfına giren klasik betonun yapı alanında birlikte kullanımıyla ilgili çalışmalar ise son 10 yıllık dönemde yaygınlaşmıştır. Özellikle karbon fiber takviyeli kompozitlerin yapı güçlendirmesinde kullanımı sıkça uygulanmaktadır. Yapı güçlendirme çalışmalarının yanı sıra fiber takviyeli boru elemanların içersine beton yerleştirilmesi ile oluşan tasarımların zemin iyileştirilmesinde kullanımı hızla artmaktadır. Ayrıca köprülerde klasik kirişler yerine beton ve lif takviyeli plastik kompozitlerden oluşan hibrit kirişlerin kullanımı da mevcuttur. Beton ve lif takviyeli kompozitlerin birçok farklı metotlarla beraber kullanımının yanında profiller içersine beton yerleştirilmesiyle ilgili önemli bilimsel çalışmalar mevcuttur [2].

Malzemelerin belirtilen bu gelişim süreci içerisinde FRP kompozitler olarak bilinen türleri süreci hızlandırarak araştırmacılara birçok avantaj sunmuştur. FRP kompozitler son yirmi yılı geçen süre içerisinde binalar ve köprüler için hem ekonomik hem de birincil yapı malzemesi olarak gelişim göstermişlerdir [3]. FRP'ler genelde bir matris malzemenin liflerle birleştirilmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım ve çevresel etmenlere karşı gösterdiği iyi performansın yanında araştırmacıların arzu ettiği birçok özelliğe sahip ve farklı kombinasyonlarda üretilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Bu yeni nesil kompozit malzemelerin üstün mekanik dayanımlarının yanı sıra hafifliği, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermeleri, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği gibi özelikler araştırmacıların ilgisini çekmekte ve uygulama örnekleri giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymamaları v.b. özelikler bu malzemelerin diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde avantajlı konuma getirmektedir [4].

Son yıllarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, özelikle beton gibi geleneksel yapı malzemeleri ile GFRP (Cam Lif Takviyeli Plastik) kompozit malzemelerin birlikte kullanıldığı hibrit sistemler üzerine odaklanmıştır [5]. Son dönemlerde içerisine beton doldurulmuş ya da içerisi boş şekilde FRP borulardan oluşturulmuş hibrit FRP/GFRP kolonlar üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır [6, 7, 8 ve 9]. Bilimsel tartışmalara dayanarak açıkça görülmektedir ki yakın gelecekte yeni yapılarda FRP kompozitlerin kullanımı temel olarak hibrit yapı kullanımı üzerine odaklanacaktır [10]. Birçok araştırma sonuçlarının gösterdiği gibi FRP kompozitler ile birlikte özelikle beton tarzında geleneksel malzemelerin kullanımı tamamen FRP'den üretilmiş yapılardaki bazı sakınca ve dezavantajların üstesinden gelme konusunda anahtar çözüm yollarından birisi olduğunu göstermiştir [11 ve 12]. Beton ve GFRP profillerin üstün özeliklerinden faydalanılarak iki malzemenin birbirine katkı yapmasının hedeflendiği bu

çalışmada bazı çalışmalarda belirtilen [4 ve 13] birçok avantajın elde edilmesi amaçlanarak eğilme performansı yüksek yeni kirişler üretilmesi hedeflenmiştir.

2. Malzeme ve Metot

2.1. Malzeme Özelikleri

Testlerde kullanılan GFRP kutu profiller, ülkemizde üretilmiş, 74x74 mm kesitli ve 4 mm et kalınlıklı kutu profillerdir. Polimer matris ve cam lifi takviyesi ile istenilen şekil ve ebatlarda üretilen bu profillerin fiziksel ve mekanik özelikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. GFRP profil özelikleri [1, 4 ve 13]

Elastisite Modülü	293000 kg/cm^2		
Çekme Dayanımı	5609 kg/cm^2		
Poisson Oranı	0.34		
Birim Ağırlık	1.738 g/cm^3		
Özgül Ağırlık	1.822		
Fiber Hacim Yüzdesi (%)	Boyuna	Enine	Matris
	41.59	8.76	49.64

Hibrit kirişlerde tek basınç dayanımında kullanılan betonun 1 m^3'ü için kullanılan karışım oranları Tablo 2'de görülmektedir. GFRP profil içerisine betonun kolaylıkla yerleştirilebilmesi amacıyla iri agrega olarak sadece I nolu mıcır kullanılmıştır.

Tablo 2. Beton bileşenleri ve oranları

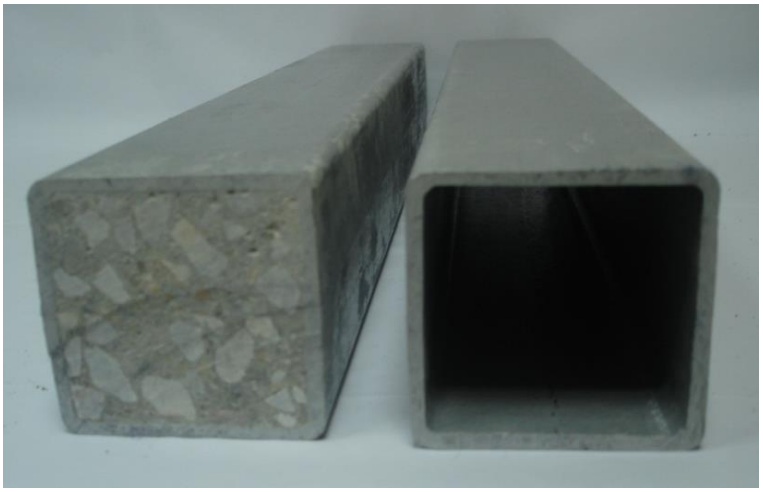
Malzemeler	**Karışım Miktarları (kg)**
I nolu mıcır	379
Kum	336
Çimento	105
Su	170

Ayrıca donatılı hibrit kirişlerin her birinin alt çekme bölgesinde toplam 2 adet yerleştirilen çelik donatılar 8 mm çaplı, nervürlü ve S420 çeliğidir.

2.2. Eğilme Deneyleri

Hibrit malzemenin farklı birleşim kombinasyonlarında eğilme davranışını incelemek amacıyla yalın beton kirişler, GFRP kompozit kutu profiller, beton doldurulmuş hibrit kirişlerin yansıra çelik donatı yerleştirilmiş hibrit kirişler üretilerek, üç noktalı eğilme testine tabii tutulmuştur. Bu amaçla 3'er adet beton, GFRP boş profil, hibrit ve donatılı hibrit kirişler üretilmiş, yük sehim grafikleri oluşturulmuş, eğilme dayanımları ve kırılma toklukları hesaplanarak, grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Eğilme deneylerinde sadece betondan üretilen kirişler "Yalın Beton", boş GFRP profillerden üretilen kirişler "GFRP profil", profil içerisine plastik kıvamdaki betonun yerleştirilmesi ile oluşturulan kirikler "Hibrit Kiriş", beton ile birlikte profil içerisine çelik donatı yerleştirilenler ise "Donatılı Hibrit Kiriş" olarak isimlendirilmiştir.

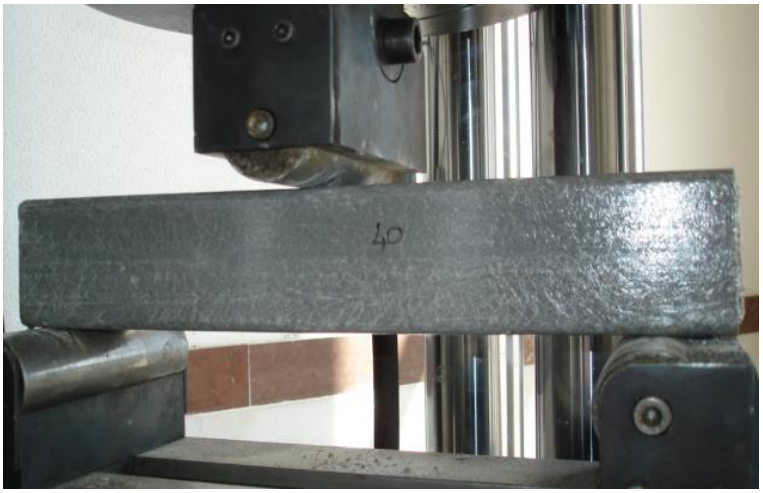
Hibrit kirişlerin üretiminde 74x74 mm kesitli numuneler profil uzunluğunun 1/3'lük kısımlarında şişlenerek sıkıştırılmış, taze beton doldurulduktan sonra düzgünleştirilerek ve prizini alıncaya kadar normal hava koşullarında bekletilmiş ve akabinde 28 gün kür havuzunda muhafaza edildikten sonra gerekli testler yapılmıştır. Şekil 1'de eğilme testine hazır GFRP profil ve Hibrit kiriş görülmektedir.



Şekil 1. GFRP boş profil ve Hibrit kiriş

Eğilme numuneleri hazırlandıktan sonra 50 cm uzunluğundaki kirişler 40 cm mesnet açıklığında, 3 noktalı ve bilgisayar donanımlı eğilme düzeneğinde test edilmişlerdir (Şekil 2).

Eğilme deneyleri sonucunda yük-sehim grafikleri oluşturulup numunelere ait eğilme dayanımları hesaplanmıştır.



Şekil 2. Üç noktalı eğilme testi

3. Deneysel Bulgular ve Değerlendirme

Yapılan deneyler sonucunda yalın beton, GFRP profil, hibrit ve donatılı hibrit kiriş olmak üzere dört farklı özelikte imal edilen kirişlere ait maksimum eğilme yükleri, hesaplanan eğilme dayanımları ve kırılma tokluk değerleri ve ortalamaları Tablo 3-6'da verilmiştir.

Tablo 3. Yalın beton eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Max. Yük (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Tokluk (Nmm)
1	4225	6.25	1349
2	3850	5.70	1480
3	4498	6.65	1364
0rtalama	**4191**	**6.20**	**1397**

Tablo 4. GFRP profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Max. Yük (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Tokluk (Nmm)
1	11674	47.07	90670
2	10198	41.10	75598
3	10869	43.82	86743
0rtalama	**10914**	**44.00**	**84337**

Hibrit malzemenin bileşenleri olan beton ve GFRP kutu profiller yalnız başlarına kullanıldıklarında yalın beton kirişlerin eğilme dayanımı 6.20 N/mm^2 ve kırılma tokluğu ise 1397 Nmm olarak bulunmuştur. İçi boş GFRP kompozit kutu profillerin eğilme dayanımı 44 N/mm^2 ve kırılma tokluk değeri 843377 Nmm'dur.

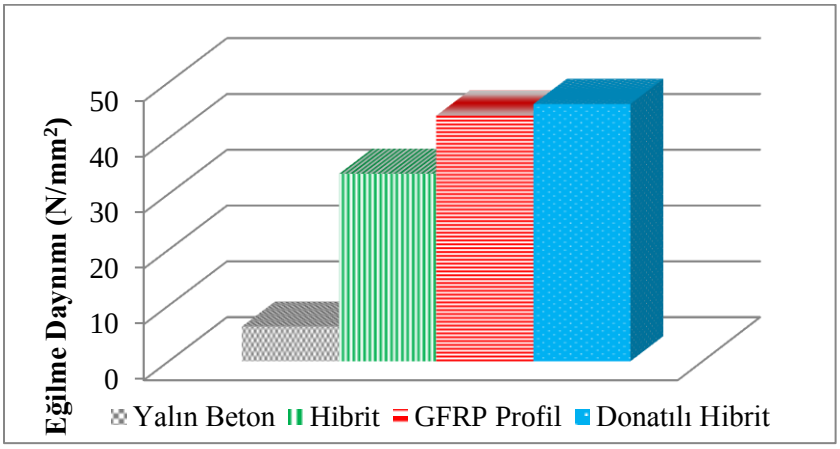
Tablo 5. Hibrit kiriş numunelerin eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Max. Yük (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Tokluk (Nmm)
1	20910	30,96	172500
2	25810	38,21	184000
3	21360	31,62	169000
0rtalama	**22693**	**33,59**	**175167**

Tablo 6. Hibrit donatılı numunelerin eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Max. Yük (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Tokluk (Nmm)
1	33870	50,15	238450
2	30150	44,64	256740
3	29400	43,53	252370
0rtalama	**31140**	**46.11**	**249187**

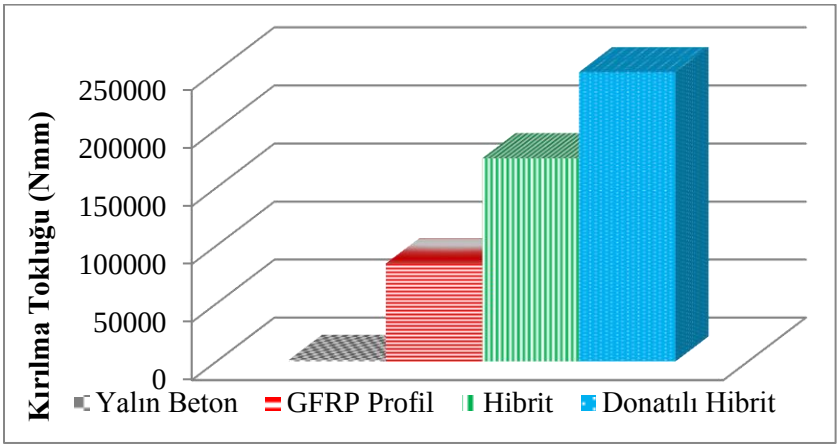
Test sonuçları incelendiğinde hibrit kirişlerin eğilme dayanımı 33,59 N/mm^2 ve kırılma tokluğu ise 175167 Nmm, donatılı hibrit kirişlerin eğilme dayanımı 46,11 N/mm^2 ve kırılma tokluk değeri 249187 Nmm bulunmuştur. Belirtilen numune türlerinin eğilme dayanımları ve kırılma tokluklarının karşılaştırıldığı grafikler Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Eğilme dayanımları

Şekil 3 incelendiğinde yalın beton kirişlerin eğilme dayanımı beklenildiği gibi en düşük değerde 6,20 N/mm^2 bulunmuştur. GFRP kompozit profillerin eğilme dayanımları yüksek çekme dayanımına sahip olduğundan 44 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Bu iki malzemenin birleştirilmesi ile hibrit kirişlerin eğilme dayanımı 33,39 N/mm^2 ve donatılı hibrit kirişlerin ise 46,11 N/mm^2 bulunmuştur.

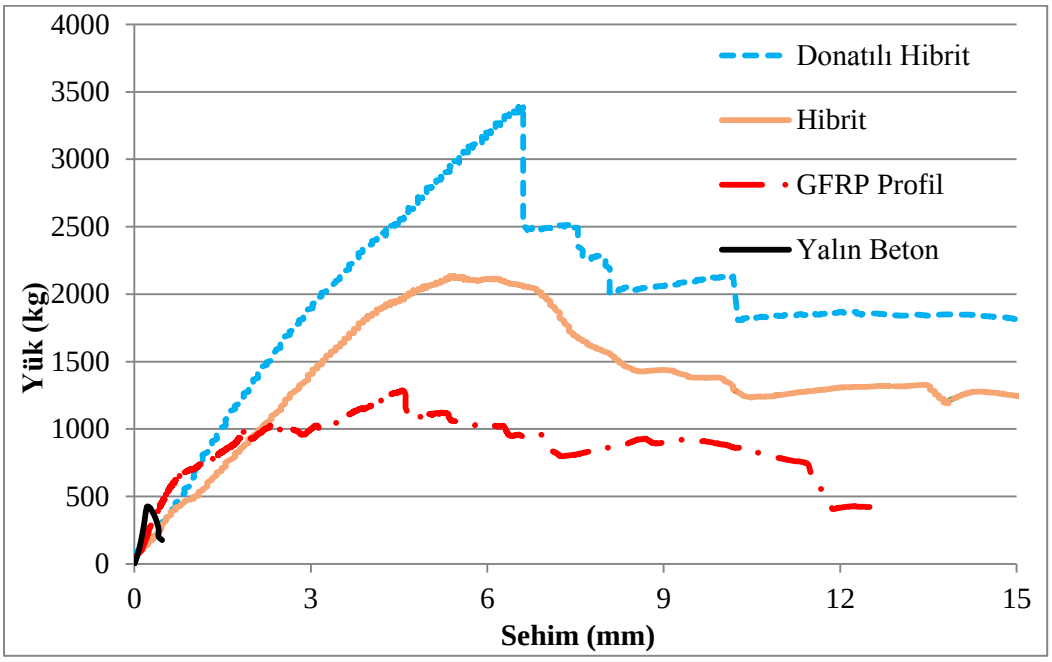
Dolayısıyla farklı malzeme türlerinin birleştirilmesi üretilen donatılı hibrit kirişlerin eğilme dayanımı yalın betona göre 7,5 kat, GFRP profile göre %5, hibrit kirişe göre %37 artmıştır. GFRP profilin içi boş kutu profil olmasından dolayı hibrit kirişin eğilme yükünün yarısı kadar bir değere sahip olmasına rağmen eğilme dayanımı daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 4. Kırılma Toklukları

Yapılan kiriş test sonuçlarına göre hesaplanan kırılma tokluğu değerleri incelediğinde yalın beton kirişlerin eğilme dayanımı yine gibi en düşük değerde 1397 Nmm bulunmuştur. En yüksek kırılma tokluk değeri ise donatılı hibrit kirişlerin çıkmıştır. Böylece donatılı hibrit kirişlerin kırılma tokluğu yalın betona göre 178 kat, GFRP profillere göre yaklaşık 3 kat ve hibrit kirişlere göre ise %42 yüksek çıkmıştır.

Aynı kesit ölçülerinde üretilen toplam 12 adet kişin yük sehim grafikleri oluşturulmuş ve eğilme davranışları incelenmiştir. Şekil 5'de yalın beton, GFRP profil, hibrit ve donatılı hibrit kirişleri temsil eden yük sehim grafikleri verilmiştir.



Şekil 5. Yük-sehim grafikleri karşılaştırılması

Yük-sehim grafikleri incelendiğinde yalın betonun çekme gerilmelerine karşı yetersiz ve gevrek bir malzeme olduğundan ani olarak kırıldığı gözlenmiştir. GFRP kompozit profil kutu kesitli ve içi boş olması nedeniyle lokal kırılmalar yaparak eğilme yüküne göre yüksek sehim göstermiş, Hibrit numunelerin yük-sehim grafikleri incelendiğinde yaklaşık 2000 kg yük değerine kadar lineer davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Doğrusal davranış bozulduktan sonra profil içerisindeki beton farklı bölgelerden kırıldığı belirlenmiştir. Donatılı hibrit kirişler ise 3000 kg ve üzerindeki eğilme yüküne kadar lineer davrandığı, hibrit kirişlere göre rijitliğinin arttığı ve profilin ilk büyük kırılmasında ciddi oranda kuvvet kaybı yaşadığı tespit edilmiştir. Ayrıca hibrit ve hibrit donatılı numunelerde kullanılan betonun yalın betonun kırılma yükü değerlerinde profil içerisinde kırıldığı belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yalın beton, GFRP kompozit kutu profil ve çelik donatıların birleştirilmesi ile oluşturulan hibrit kirişlerin eğilme davranışının incelendiği bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilen şekilde özetlenmiştir:

- ✓ Geleneksel yapı malzemeleri ve yeni nesil kompozitlerin birleşimi ile meydana gelen hibrit yapı sistemleri, mevcut yapı malzemelerinin yetersiz yönlerini iyileştirmekte, yeni nesil malzemeler ise daha kullanılabilir duruma getirmekte ve inşaat endüstrisinde alternatif bir malzeme olarak kullanılması birçok yapı malzemesi problemine çözüm olabilecektir.

- ✓ Hibrit sistemde GFRP kutu profiller kalıp görevini üstlenmekte dolayısıyla kalıp elemanına ihtiyaç duyulmamaktadır. GFRP kutu profil içerisine yerleştirilen betonun nemini kaybetmesine izin vermeyerek, beton kürüne katkı sağlamaktadır.
- ✓ Geliştirilen hibrit donatılı kirişlerin eğilme dayanımı yalın betona göre 7,5 kat, GFRP profile göre %5, hibrit kirişe göre %37 artmıştır.
- ✓ Hibrit donatılı kirişlerin kırılma tokluğu yalın betona göre 178 kat, GFRP profillere göre yaklaşık 3 kat ve hibrit kirişlere göre ise %42 yüksek çıkmıştır.
- ✓ Hibrit GFRP kutu profiller ve beton birleşimi müstakil kiriş olarak özellikle deniz yapıları ya da deniz suyu etkisine maruz kalan yapılarda ortaya çıkan durabilite ve korozyon problemlerine çözüm olabilecek potansiyele sahiptir.

Kaynaklar

[1] Ferhat Aydın. GFRP-Beton-Çelik Lifli Hibrit Kirişlerin Eğilme Davranışlarının İncelenmesi. International Construction Congress. 11-13 October 2012 Isparta/ Turkey.
[2] Aydın F. ve Sarıbıyık M. Beton İle CTP Kutu Profillerin Hibrit Kullanımında Kesit Özelliklerinin Basınç ve Eğilme Davranışına Etkileri. 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). 13-15 Mayıs 2009. Karabük, Türkiye.
[3] Lawrence C.B. Composites for Consruction: Structural Design with FRP Materials. Jonh Wiley and Sons. Inc. 2006. New Jersey.
[4] Aydın F. Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton ile Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması. Sakarya Üniversitesi. 2011. Fen Bilimleri Enstitüsü.
[5] Hollaway, L.C., Advance Polymer Composites and Polymers in the Civil Infrastructure, Elsevier Science, July 2001. First edition.
[6] Mırmıran, A. and Shahawy, Behavior of Concrete Columns Confined By Fiber Composites. J. Struct. Eng. 123: 583-590, 1997.
[7] Fam, A.Z. and Rizkalla, S.H., Confinement Model for Axially Loaded Concrete Confined by Circular FRP Tubes. ACI Structural Journal. 98(4):251-461. 2001.
[8] Becque, J., Patnaık, A. K. and Rizkalla, S. H., Analytical Models for Concrete Confined With FRP Tubes, J. Compos. Constr., 7-1,31-38, 2003.
[9] Yu T., Wong, Y.L., Teng, J.G., Dong, S.L. and Lam, E.S.S., Flexural Behavior of Hybrid FRP-Concrete-Steel Double-Skin Tubular Members, Journal of Composites For Construction, ASCE pp. 443-452/ September/October 2006.
[10] Hong, W.K., Kım, H.C. and Yoon, S.H., Experiment Of Compressive Strength Enhancement of Circular Concrete Column Confined By Carbon Tubes. KCI Concrete Journal 14:4. 19-144. 2002
[11] Schaumann, E., Hybrid FRP-Lightweight Concrete Sandwich System For Engineering Structures, PhD thesis, 2008.
[12] Aydın, F. ve Sarıbıyık, M. GFRP Kutu Profiller ile Betonun Hibrit Kullanımının Beton Kürüne Etkilerinin İncelenmesi. e-Journal of New World Sciences Academy. Volume: 6, Number: 4. 2011. Article Number: 1A0211.
[13] Ferhat Aydın, Mehmet Sarıbıyık. Investigation of flexural behaviors of hybrid beams formed with GFRP box section and concrete. Construction and Building Materials. 2013, 41, 563–569.