



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**CAM LİF TAKVİYELİ POLİMER (GFRP)
KUTU PROFİL İLE SARILMIŞ HİBRİT
KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Mehmet YARIMOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet YARIMOĞLU tarafından hazırlanan “Cam Lif Takviyeli Polimer (GFRP) Kutu Profil ile Sarılmış Hibrit Kirişlerin Eğilme Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 21/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU

Üye

Doç Dr. Hicran AÇIKEL

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü V.

Bu tez çalışması NEÜ BAP tarafından 181319001 nolu proje ile desteklenmiştir.
Dr. Öğr. Üyesi Lokman GEMİ bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Mehmet YARIMOĞLU

Tarih: 21.06.2018

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****CAM LİF TAKVİYELİ POLİMER (GFRP) KUTU PROFİL İLE SARILMIŞ
HİBRİT KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ****Mehmet YARIMOĞLU****Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU****2018, 78 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU****Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN****Doç. Dr. Hicran AÇIKEL**

Bu çalışmada betonla farklı boşluk oranlarında doldurulan Cam Lif Takviyeli Polimer (GFRP) kare kesitli kutu profillerle çelik donatı ile birlikte teşkil edilen hibrit kirişlerin eğilme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. 8 adet kare kesite sahip GFRP kutu profilin farklı boşluk oranlarında betonla birleştirilmesi ile meydana gelen hibrit kirişin yanında birisi sadece beton birisi de betonarme olan 2 adet de kiriş üretilmiştir. Bu kirişler 4 nokta eğilme deneyine tabi tutularak, kirişlere ait yük-deplasman grafikleri incelenmiştir. Yapılan eğilme testi sonuçlarına bakıldığında içerisi beton ile dolu olan GFRP numunelerinin eğilme yükünün boş olanla kıyasla içindeki betonun miktarına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bununla birlikte beton ile doldurulmuş GFRP profilin Karbon elyaf ile güçlendirince kirişin hem taşıma kapasitesinin hem de sünekliğinin kayda değer şekilde arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eğilme Deneyi, FRP, GFRP, hibrit, kiriş, kompozit

ABSTRACT**MS THESIS****EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BENDING BEHAVIOUR OF
HYBRID BEAMS CONFINED WITH GLASS FIBER REINFORCED
POLYMER (GFRP) BOX SECTION****Mehmet YARIMOĞLU****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING****Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU****2018, 78 Pages****Jury****Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU****Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN****Doç. Dr. Hicran AÇIKEL**

In this study, bending behaviour of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) square box beams infilled by concrete with various void ratios and hybrid beams with steel reinforcements are investigated experimentally. Not only 8 hybrid beams formed by (GFRP) square box beams infilled by concrete with various void ratios but also one concrete beam and one reinforced concrete beam was produced. Load displacement curves were investigated under four point bending tests. Bending load capacity of (GFRP) square box beams was developed when compared to the bending load capacity of (GFRP) square box beams infilled with various concrete ratio after bending tests. Additionally, both bending load bearing capacity and ductility of beams were developed significantly when GFRP square box beams infilled by concrete was reinforced with Carbon Fiber.

Keywords: Bending test, FRP, GFRP, hybrid, beam, composite

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca maddi-manevi desteğini, rehberliğini, tavsiye ve teşviklerini eksik etmeyen, sabır ve hoşgörü anlayışı ile tüm zorluklarda yanımda olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU'ya, çalışmalarına destek olan ikinci danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Lokman Gemi'ye gece gündüz demeden desteğini hiç eksik etmeyen aileme, can eşim Esmâ ve candan öte kızım Ülkü Doğa'ya, Yarimoğlu İnşaat-Taahhüt firmasında görev alan çalışma arkadaşlarıma minnet, vefa ve teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet YARIMOĞLU
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT	2
ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	6
ŞEKİLLER LİSTESİ	7
ÇİZELGE LİSTESİ	9
1. GİRİŞ.....	10
1.1. Amaç ve Kapsam.....	15
2. KOMPOZİT VE HİBRİT YAPI MALZEMELERİ	16
2.1. Taneli Yapılı Kompozitler	16
2.2. Tabaka Yapılı Kompozitler.....	16
2.3. Tanecikler İle Güçlendirilmiş Yapıdaki Kompozitler	16
2.4. Lifli Yapıdaki Kompozitler.....	17
2.5. Kompozit Malzemelerinin Tarihsel İncelenmesi	17
2.6. Fiber Takviyeli Plastik Kompozit Malzemelerin Üretim Aşaması	19
2.6.1. Profil çekme (Pultrüzyon) yönteminin incelenmesi	19
2.6.2. GFRP profil malzeme çeşitleri	21
2.6.3. Pultrüzyon yönteminin sağladığı avantajlar	22
2.6.4. Pultrüzyon yönteminin sağladığı dezavantajlar	22
2.7. FRP Kompozit Malzemelerinin Yapılarda Kullanımının İncelenmesi	23
2.8. Hibrit Yapı Malzemesinin İncelenmesi	25
2.8.1. Yapı Malzemesi Betonun FRP Profil Malzemeler İle Birlikte Kullanımı	26
2.8.2. Konu ile ilgili yapılmış çalışmalar	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	32
3.1.1. Beton karışım malzemeleri.....	32
3.1.2. GFRP kutu profil malzemeler.....	33
3.2. Deneysel Çalışma	34
3.2.1. Deneyde Kullanılan Betonun Özellikleri	35
3.2.2. Hibrit kirişler üzerinde yapılan 4 nokta deneyleri	36
3.2.2.1 Boş GFRP malzemenin yalın halde eğilme deneyinin incelenmesi	39
3.2.2.2 İçerisi köpükle sıkıştırılmış GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi.....	42
3.2.2.3 İçerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi.....	44

3.2.2.4 Yarıısı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi.....	47
3.2.2.5 İçerisi U biçiminde boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi	49
3.2.2.6 Orta noktası boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi.....	51
3.2.2.7 Dış kısmı karbon elyaf ile sargılı içerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi	53
3.2.2.8 İçerisi donatılı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi.....	56
3.2.2.9 Betonun yalın halde eğilme deneyinin incelenmesi.....	59
3.2.2.10 Donatılı betonun yalın halde eğilme deneyinin incelenmesi	60
4. DENEYSEL BULGULARI DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA	63
4.1. Eğilme Deneyi Sonuçları	63
4.1.1. (1) nolu (3) nolu ve (9) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması.....	65
4.1.2. (1) nolu (2) nolu ve (3) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması.....	66
4.1.3. (3) nolu (4) nolu (5) nolu (6) nolu ve (7) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması.....	67
4.1.4. (3) nolu (8) nolu (9) nolu ve (10) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması.....	68
4.1.5. (3) nolu ve (7) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması.....	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
L	: Mesnet Açıklığı
kN	: Kilonewton
$\sigma_{yç}$: Betonun ortalama basınç dayanımı
σ_e	: Betonun yarmada çekme dayanımı
σ_b	: Betonun eğilme çekme dayanımı
σ	: Gerilme (N/mm^2)
I	: Atalet Momenti

Kısaltmalar

TS EN 1504-3	: Beton yapıların korunması ve tamiri için mamuller ve sistemler-
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Plastik
CFBT	: Fiber Takviyeli Plastik Boru
FRP	: Fiber Takviyeli Plastik
CTP	: Cam Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Polimer
L	: Mesnet Açıklığı
P	: Maksimum Eğilme Yüğü
d	: Malzeme uzunluğu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kompozit ahşap kiriş maket örneği (Anonim, 2018a)	10
Şekil 1.2. Betonarme yapı elemanı kiriş ve kolonun FRP malzeme ile güçlendirilmesi (Anonim 2018b)	12
Şekil 1.3. GFRP profil malzeme ve hibrit kiriş malzemesi (Anonim 2018c)	13
Şekil 2.1. B787 Kompozit uçak üretimi (Anonim 2018d)	18
Şekil 2.2. Pultrüzyon yöntemi iş akış şeması (Anonim 2018e)	20
Şekil 2.3. Pultrüzyon makinesi örneği (Anonim 2018f)	21
Şekil 2.4. GFRP profil malzeme çeşitleri (Anonim 2018g)	21
Şekil 2.5. FRP üretiminde pultrüzyon yönteminin avantajları	22
Şekil 2.6. FRP ile kiriş güçlendirme uygulaması (Anonim 2018h)	24
Şekil 3.1. Laboratuvar ortamında beton karışımının hazırlanması	33
Şekil 3.2. GFRP profil malzeme	33
Şekil 3.3. GFRP profil malzeme kesiti.....	34
Şekil 3.4. GFRP profil malzeme kesit detayları	35
Şekil 3.5. Beton numuneler	35
Şekil 3.6. Eğilme çekme ve yarmada çekme dayanım testi	36
Şekil 3.7. Eğilme deney düzeneği şeması	37
Şekil 3.8. Eğilme deney düzeneği.....	37
Şekil 3.9. Eğilme deney düzeneğinde sabit mesnet	38
Şekil 3.10. Eğilme deney düzeneğinde hareketli mesnet	38
Şekil 3.11. Eğilme deney düzeneğine yerleştirilen deplasman ölçer	39
Şekil 3.12. İçerisi boş GFRP malzeme şeması	40
Şekil 3.13. İçerisi boş GFRP malzemenin eğilme deneyi sonrası üst bölgeden yırtılması	40
Şekil 3.14. Üst bölgeden yırtılan içerisi boş GFRP numune	41
Şekil 3.15. İçerisi boş 1 nolu GFRP numunenin deney grafiği	41
Şekil 3.16. Deney için kullanılan sıkıştırılmış köpük	42
Şekil 3.17. İçerisi köpükle sıkıştırılmış GFRP malzeme şeması	43
Şekil 3.18. İçerisi köpükle sıkıştırılmış GFRP malzemenin eğilme deneyi sonrası üst bölgeden yırtılması.....	43
Şekil 3.19. Üst bölgenin yırtılması.....	44
Şekil 3.20. İçerisi köpükle sıkıştırılmış 2 nolu GFRP numunenin deney grafiği	44
Şekil 3.21. GFRP malzemenin uç kısımların ahşap malzeme ile kapatılması	45
Şekil 3.22. İçerisi betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması	45
Şekil 3.23. İçerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı.....	46
Şekil 3.24. İçerisi beton ile doldurulmuş 3 nolu GFRP numunenin deney grafiği.....	46
Şekil 3.25. Yarısay betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması	47
Şekil 3.26. Yarısay beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı	48
Şekil 3.27. Yarısay beton ile doldurulmuş GFRP profil malzemedede eğilme sonrası oluşan hasarlar.....	48
Şekil 3.28. Yarısay beton ile doldurulmuş 4 nolu GFRP numunenin deney grafiği	49
Şekil 3.29. İçerisi U biçiminde betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması.....	49
Şekil 3.30. İçerisi U şeklinde boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı	50
Şekil 3.31. İçerisi U şeklinde boşluklu betonla doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası oluşan çatlaklar.....	50

Şekil 3.32. İçerisi U şeklinde boşluklu beton ile doldurulmuş 5 nolu GFRP numunenin ön deney grafiği	51
Şekil 3.33. Orta noktası boşluklu betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması	52
Şekil 3.34. Orta noktası boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı.....	52
Şekil 3.35. Orta noktası boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası davranışı.....	52
Şekil 3.36. Orta noktası kare boşluklu beton ile doldurulmuş 6 nolu GFRP numunenin deney grafiği	53
Şekil 3.37. Dışı karbon elyaf ile sarılmış içerisi betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması	53
Şekil 3.38. GFRP numunenin karbon elyaf ile sarılması	54
Şekil 3.39. Dış kısmı karbon elyaf ile sarılmış içerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı	55
Şekil 3.40. Dışı karbon elyaf ile sarılmış içerisi betonla doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası davranışı.....	55
Şekil 3.41. İçerisi beton ile doldurulmuş dış kısmı karbon elyaf ile sargılı 7 nolu GFRP numunenin deney grafiği	56
Şekil 3.42. İçerisi donatılı betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması	56
Şekil 3.43. İçerisi donatılı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı	57
Şekil 3.44. İçerisi donatılı betonla doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası davranışı.....	58
Şekil 3.45. İçerisi donatılı beton ile doldurulmuş 8 nolu GFRP numunenin deney grafiği	58
Şekil 3.46. Betonun ahşap kalıba dökülmesi	59
Şekil 3.47. Yalın haldeki betonun şeması	60
Şekil 3.48. Yalın halde beton numunenin eğilme davranışı	60
Şekil 3.49. Yalın haldeki donatılı betonun şeması.....	60
Şekil 3.50. Yalın haldeki donatılı betonun şeması.....	61
Şekil 3.51. Donatılı betonun yalın halde eğilme davranışı.....	62
Şekil 3.52. Donatılı betonun yalın halde 9 nolu numunenin deney grafiği.....	62
Şekil 4.1. Eğilme deneyi yapılan GFRP profil malzemelerin kesit detayları.....	63
Şekil 4.2. Eğilme deneyi sonrasındaki GFRP ve beton numuneler	65
Şekil 4.3. Eğilme deneyi yapılan 1 ve 3 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması	65
Şekil 4.4. Eğilme deneyi yapılan 1, 2 ve 3 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması	66
Şekil 4.5. Eğilme deneyi yapılan 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması	67
Şekil 4.6. Eğilme deneyi yapılan 3, 8, 9 ve 10 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması	69
Şekil 4.7. Eğilme deneyi yapılan 3 ve 7 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1. Eğilme-Maksimum şekil değıştirme.....	64
---	----



1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşamını kolaylaştırmak için sürekli arayış içinde olmuş ve yaşamını kolaylaştırmak için atılımlar yapmıştır. İnşaat ve yapı sektöründe de bu arayışlar neticesinde sürekli problemler ve sorunlarla karşılaşılmış bundan dolayı sürekli buluşlar yapılmıştır. Problemleri azaltmak sorunları kısa sürede çözmek amacıyla yeni malzemeler keşfedilmeye başlanmıştır. Son yıllarda da gelişen ve değişen inşaat sektöründe yeni arayışlar yapılmış bu arayışlar farklı tasarım ve kombinasyonların elde edilmesine neden olmuştur (Aydın, 2011). Bu tasarım malzemelerinden birisi de günümüzde sıkça kullanılan, inşaat sektöründe ihtiyaç duyulan kompozit malzemeler olmuştur (Şekil 1.1). Kompozit malzemeler özellikle inşaat sektöründe birçok sorunun çözümlenmesinde etkili olmuştur. Kompozit malzeme en az iki yada daha fazla malzemenin birlikte kullanılarak elde edilen bir malzeme çeşididir (Ersoy 2010).



Şekil 1.1. Kompozit ahşap kiriş maket örneği (Anonim, 2018a)

En az iki veya daha fazla malzemenin özelliklerini bir arada toplamak amacıyla fiziksel olarak birleştirilen kompozit malzemenin yapısını meydana getiren bileşenleri

kimyasal özellik olarak ayrı olur. Bu kompozit malzemeleri meydana getiren bileşenlerin fazları malzemeleri birbirinden ayrı tutan bir ara yüzeye sahiptirler (Callister, 1990). En belirgin adı kompozit malzeme olarak bilinen bu tip malzemeler donatılı malzeme çok bileşenli malzeme gibi adlarla da adlandırma yapılabilirler (Ersoy, 2010). Kompozit malzemeler; doğal yapı olmayıp belirli bir insan yapısı tarifine sahiptirler. Kimyasal birleşime sahip olmalarından dolayı birbirlerinden farklı olarak belirli bir ara yüzle ayrılmış olurlar. Kompozit malzemeler elde edildiği bileşenlerinden tek başlarına sahip olmadıkları özellikleri taşırlar (Eriç, 1994).

Tanımladığımız şekilde özellikleri üzerinde taşıyan özellikle inşaat sektöründe ve diğer çalışma alanlarında tercih edilen kompozit malzeme türlerinden olan Fiber Takviyeli Plastik (FRP) malzeme kompozit malzemelerin liflerinden meydana gelmesiyle elde edilen bir malzeme tipidir. Bu tip kompozit malzemenin tercih edilmesinin nedenleri diğer malzemelere göre dayanımının uzun süreli olması fiziksel etmenli çevresel etmenlere karşı karşıladığı yüksek performans başlıca olarak gösterilebilir. Malzemenin hafif olması, korozyon etkilerine karşı dayanımı, elektrik yalıtımındaki faydası, yoğunluğunun düşük olması, mekanik dayanımının etkili olması nedeniyle kullanımı giderek artmıştır.

Günümüzde FRP kompozit malzemeler çoğunluk olarak cephe giydirmelerinde, ulaşım sektöründe yaya ve taşıt köprülerinde, zemin iyileştirmeleri ve güçlendirme alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzeme en çok yapı sektörü ve otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılma ihtiyacına hitap etmektedir. Bu gibi kullanım özellikleri incelendiğinde kompozitlerin uzun yıllar bir çok sorun noktasında çözüm arayışına kolaylık sağlayacağı gözlenmektedir (Cripps, 2002). Kullanımı yoğun olarak artan ve gelişim ihtiyacında sürekli ilerleyen kompozit malzemeler yapı teknolojilerinde ve tasarım geliştirme uygulamalarında sürekli çözüm arayışlı olarak arayış elemanı olarak ihtiyaç duyulduğu görülmektedir (Hollaway, 2001). Yapı uygulama sektöründe birçok ihtiyaca cevap veren kompozit malzemenin yapı elemanı olarak yoğun bir şekilde kullanımı artmaya başlamıştır (Şekil 1.2). FRP tipi kompozit malzemeler yapı sektöründe güçlendirme, tamir ve iyileştirme uygulamasında kullanılmaktadır (Emmons, 1998). Güçlendirme uygulamalarında kirişlerin alt yüzeylerinde ve kolonların tüm yüzeylerinde arma uygulaması yapılarak güçlendirmeye büyük etkisinin olduğu incelenmiş ve bu uygulamanın yaygın olarak sürekli uygulandığı görülmüştür (Hadi 2006, Teng 2002, Clarke 2003, Koksal 2009, Weijian 2001).



Şekil 1.2. Betonarme yapı elemanı kiriş ve kolonun FRP malzeme ile güçlendirilmesi (Anonim 2018b)

Liflerin karbon ve cam fiberli FRP kumaş veya benzeri malzemeler ile birlikte kullanılmasıyla taşıyıcı özelliğe sahip olan FRP kompozit malzemesi yapı elemanı olan beton veya çelik gibi malzemelerle birlikte kullanılarak yapı sistemleri üzerinde farklı çalışmalar yapılmasına örnek olacağı öngörülmektedir (Bank, 2006).

Çeşitli uluslararası üniversitelerde yapılan araştırma ve deney uygulamaları genellikle yapı malzemesi olan betonla birlikte kompozit malzemelerin kullanılmasıyla hibrit çalışmalar sıklık kazanmıştır. Birçok uygulamalarda içerisi boşluk olacak şekilde tasarlanmış boru yada kutu FRP malzemeler üzerinde çeşitli kombinasyonların deneme uygulaması yapılarak birçok araştırma deneyleri yapılmaktadır (Mirmiran 1997, Fam 2001, Becque 2003, Yu 2006). Bilimsel ve akademik çalışmaların eğilimi incelendikçe çalışmaların büyük çoğunluğu hibrit uygulamalar üzerinde olacağı gözlenmektedir (Hong 2002). Bu yapılan çalışmalar incelediğimiz FRP kompozit malzemelerin yapı elemanı olan beton ile birlikte kullanılmasıyla, elde edilen sonuçlar incelenerek avantaj ve dezavantajların kıyaslaması yapılmıştır. Böylelikle yapılan kıyaslamalarla çözümler üretilerek malzemelerin kullanımının yaygınlaştırılması sağlanmaktadır (Schaumann 2008).

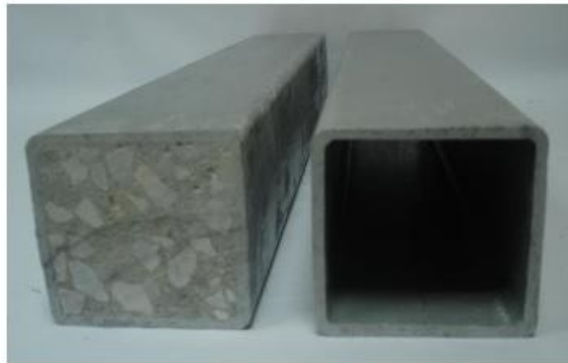
Günümüzdeki kompozit malzemelerin kullanım yoğunluğu ve yüksek talebi göz önünde bulundurularak çalışma yapılmış olup cam fiber takviyeli plastik (GFRP) olan

kompozit malzemenin kutu profilleri üzerinde yapı elemanı olan beton ile birlikte kullanımının incelenmesi yapılmıştır. Her iki malzemenin de birçok özelliklerinin birleştirilmesiyle elde edilen hibrit malzemenin etkisel davranışlarının incelenmesi gözlenmiştir. Fiziksel ve kimyasal davranışları incelendiğinde olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda GFRP profiller üzerinde incelemeler yapılmış alınan sonuçlara göre birçok problemlere karşı yeterli çözümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakılarak tasarım uygulamaları için öneri incelemeleri yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda yapı elemanı olan beton ve GFRP profil malzemelerin özellikleri incelenerek bu iki tür malzemenin birbirinden elde edilen hibrit malzeme ile kesit, mukavemet değerlerinde artış, rijitlik, kür ve geçirimsizlik özellikleri gibi özellikler sağlanması görülmüştür. Bu şekilde bu iki malzemedan elde edilen hibrit malzemenin olumsuz etkilerini yok sayabilmek adına çeşitli sağlanan avantajlar incelenmiştir.

Beton ve GFRP profillerin hibrit kullanımı özellikleri incelendiğinde;

Kalıp malzemesi olarak elde edilen özellik; yapı malzemesi olarak sıkça kullanılan beton katılma süresi halinde bir kalıp malzemesi ile şekillendirilmesi gerektiğinde ahşap malzemeler vb malzemelerin hazırlanması zaman kaybına neden olurken GFRP malzeme ile elde ettiğimiz kutu profilin kalıp amacıyla kullanılması hem betonun şekillendirilmesine kolaylık sağlarken hem de kalıp masrafındaki maliyeti azaltmış olmaktadır(Şekil 1.3). Bu özelliği ile hibrit malzeme günümüzde kalıp malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır (Keller 2007, Hall 1998, Canning 1999, Ribeiro 2002, Tianhong 2006, Fam 2005, Hamdy 2010, Mirmiran 1999).



Şekil 1.3. GFRP profil malzeme ve hibrit kiriş malzemesi (Anonim 2018c)

Kesit detayı kullanımında elde edilen özellik; beton ve GFRP profilin hibrit kullanımı ile, malzemenin çekme gerilmesini çekme gerilmesi dayanımına sahip GFRP profil karşılarken, basınç dayanımını ise yapı malzemesi olan beton karşılayarak birlikte hareket eden iki malzemenin kesit dayanımıyla ilgili yüksek dayanımlı küçük kesitli yapı elemanı elde edilmiş olacaktır.

GFRP profilde meydana gelen kırılmaları önleme amacıyla kullanılan özellik; kompozit malzeme birçok özellikleri ile kullanılırken profil halde yük etkisi altında kaldığında eğilme bölgesinde lokal olarak kırılmalar olmaktadır (Aydın 2008, Aydın 2010). Malzemenin beton ile birlikte hibrit kullanılmasıyla kırılmalar minimum seviyeye indirilmiş ya da yok edilmiştir. Böylelikle hibrit malzeme eğilme etkisi altında incelendiğinde dayanımı yüksek derecede olduğu izlenmiştir.

Yalıtımdaki kullanılan özelliği; Yapı sektöründe sıkça kullanılan beton mukavemeti yüksek bir malzeme olmasına karşın en büyük dezavantajı su ve neme karşı dayanıksız olmasıdır. Yapının içinde ve çevresinde meydana gelen sızıntı, nem vb çevresel etmenlere karşı betonun geçirimsizliği nedeniyle hem kendisine hem de içerisindeki çelik malzeme olan donatıya zarar vermektedir. GFRP malzemeyi oluşturan lifleri sargıyla saran epoksiler su etkisine karşı dayanımlıdır. Böylelikle hibrit olarak kullandığımız betonu saran GFRP profil betonu çevresel nem ve su etkisine karşı korumaktadır. Isı etkisine karşı yüksek yalıtım sağlamasından dolayı da GFRP malzeme yalıtım malzemesi olarak da kullanılmaktadır.

Beton için kür özelliğinden faydalanılması; su ve nem konusunda içine sızıntı almayan GFRP kutu profil aynı zamanda içerisine yerleştirilmiş olan betonun da su ve nemini koruyarak betonu kür konusunda detaylı bir şekilde korumaktadır (Aydın 2011).

Mukavemet özelliği; Betonla birlikte GFRP kutu profilin oluşturduğu hibrit malzemede lokal kırılmaları yok sayacak derecede azalttığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra malzemede meydana gelen çekme kuvvetini kutu profilin karşılaması sonucunda malzemede meydana gelen basınç ve çekme etkilerine karşı önemli oranda artış yönünde etki edeceği gözlenmektedir.

Rijitlik özelliği; Rijitlik konusunda zayıf kalan kutu GFRP profil betonla birlikte hibrit olarak kullanılmasıyla malzemenin rijitliğinin azalacağı gözlenmektedir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında, yapı malzemesi olan betonun GFRP kutu profil malzeme içerisine yerleştirilip bir hibrit malzeme meydana getirilerek, malzemenin incelenip mekaniksel performansı gözlenmiştir. Çalışmada öncelikle elimizdeki GFRP kutu profil malzemenin özellikleri incelenmiştir. Daha sonra laboratuvar ortamında üretilmiş beton ile birlikte oluşturulan hibrit malzemenin oluşturduğu eğilme altındaki davranışı gözlenmiştir. Hibrit malzemede gözlenen değerler beton ve GFRP kutu profile göre kıyaslanarak profildeki boşluk ve doluluk oranları değiştirilerek elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Bölüm 1’de genel olarak araştırma ile ilgili bilgi verilmiştir. Bölüm 2’de ise yapı ve inşaat sektöründe sıkça kullanılan kompozit ve hibrit malzeme hakkında çeşitli değerlendirilmeler ele alınmıştır. FRP profiller hakkında bilgiler verilerek, hibrit yapı malzemesinin kullanımı ve bu malzeme hakkındaki akademik çalışmalar üzerinde inceleme yapılmıştır. GFRP malzemelerin beton ile birlikte kullanıldığı alanlar ele alınmış incelemeleri yapılmıştır.

Bölüm 3’de yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre kompozit ve hibrit malzemenin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Malzemeler üzerinde yapılan deneyler hakkında bilgi verilmiştir. Kurulan eğilme deneyi sistemi ile ilgili bilgi verilerek malzemenin dayanım hesabı üzerinde çalışma metotları yapılmıştır.

Bölüm 4’de yapılan deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçların karşılaştırılması yapılarak kompozit malzemenin kullanılabilirliği üzerinde bilgiler elde edilmiştir.

Bölüm 5’de ise yapılan deneylerin sonuçları değerlendirilmiş GFRP malzemenin beton ile beraber kullanımı sonucunda elde edilen hibrit tasarım üzerindeki avantajlar ele alınmıştır.

2. KOMPOZİT VE HİBRİT YAPI MALZEMELERİ

Kompozit malzemenin meydana gelmesi birçok malzemenin ele alınmasıyla olduğu için kompozit malzemeleri gruplandırabilmek biraz zordur. Fakat malzemeleri genel olarak sınıflandırabilmek için bilgi kolaylığı açısından belirli bir grup altında toplanabilir. Yapılan sınıflandırma da kompozit malzemeleri; taneli kompozitler, tabakalı kompozitler, taneciklerle güçlendirilmiş kompozitler ve lifli kompozitler olarak dört ana başlık altında incelenebilir.

2.1. Taneli Yapılı Kompozitler

Matris içerisinde üzerindeki boyutlarda tanelerin olduğu kompozit malzeme çeşididir. Çeşitli parçacıkların bağlayıcı bir malzeme etrafında yer aldıkları malzeme çeşidi olarak nitelendirilebilir. Taneli kompozitlere verilebilecek en güncel örnek olarak yapısında kum, çakıl ve çimento bulduran beton olarak verebiliriz (Ersoy 2010).

2.2. Tabaka Yapılı Kompozitler

Farklı özellikteki mukavemetleri birbirinden farklı olan iki yada daha fazla sayıda katmandan meydana gelen levha halindeki malzeme çeşididir. Tabakalı kompozitlerin kullanım amacı ısı ve ses yalıtımı gerektiren yerleri bölme için kullanılır. Elyaf yönleri farklı malzemeler kullanılarak mukavemet dayanımının yüksek olması istenmiştir. Bu tip malzemeler ısı ve neme dayanıklıdır. Metal malzemelere göre hafif ve mukavemetinin yüksek olması malzemenin kullanımını avantajlı hale getirmiştir. Genel olarak uçaklar kanatlarında yüzey kaplamasında sıkça kullanılmaktadır.

2.3. Tanecikler İle Güçlendirilmiş Yapıdaki Kompozitler

Yapı alanında pek sık kullanılmayan taneciklerle güçlendirilmiş kompozit malzemeler matris malzeme içerisinde başka bir diğer malzemenin parçacık halinde yer almasıyla meydana gelmiş izotrop yapılı malzemelerdir. Bu tip malzemelerin mukavemet dayanımı içerisindeki parçacıkların sertlik derecesiyle değişkendir.

2.4. Lifli Yapıdaki Kompozitler

Matris malzemenin çevresini lifler yardımı ile sararak çekme, eğilme, çarpma dayanımlarına karşı düşük direnç gösteren yapısı zayıf ve kırılğan olan malzemenin güçlendirilerek kullanıldığı kompozit malzeme türüdür (Ersoy 2010). Liflerin yerleşimi ve sargı yöntemi kompozit malzemenin mukavemetinde etkilidir. Elyaf malzemeyi birbirine paralel uzun şekilde yerleştirmek malzemeye elyafların doğrultu yönünde yüksek mukavemet katar. Elyaf malzeme her iki doğrultuda yerleştirilirse mukavemet de aynı şekilde iki doğrultuda etkilemiş olur. Bu etkilere bakıldığında kompozit malzemenin mukavemeti elyafların mukavemeti ile doğru orantılıdır. Elyafların kompozit malzemenin mukavemetine etkisinde yeri büyüktür. Elyaf malzemenin uzunluk /çap oranının artması elyaf malzemelere iletilen yük miktarını da doğru oranlı olarak artırmaktadır. Lif malzeme ile birlikte kullanılan kompozit malzemeleri sınıflandırmak istersek kullanılan lif malzemenin cinsine bağlı olarak cam, karbon, aramid gibi çeşitlendirmek mümkündür.

2.5. Kompozit Malzemelerinin Tarihsel İncelenmesi

Kompozit yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi ve kullanımı incelendiğinde Orta Doğu coğrafyasında savaş alanlarında kullanılan ok yayları üzerinde eğilme dayanımını artırmak amacıyla lif yönleri farklı olacak şekilde yaygın şekilde kullanılmıştır. Kerpiç yapılar ve buna benzer olan birçok inşaat yapısında kullanılan kum, çakıl vb. malzemeleri tutunma amacıyla birbirine bağlamak için kireç, kum ve kilden meydana gelen karışımlarda bağlayıcı nitelik taşıyan kompozit malzeme türü görülmüştür (Şahin 2000).

Bağlayıcı malzemelerin sertleşme süresinin yavaş gerçekleşmesi ve şekil verilme açısından kolay olması malzemeyi kullanım açısından avantajlı hale getirmiştir. 1756 yılında John Smeaton kireç, kalsiyum oksit, aluminat ve silikat karışımından meydana gelen malzemeyi Eddyatone Fenerinin yapımı aşamasında kullanmıştır. 1796 yılında ise James Paker içerisinde kil ve kireç taşı bulunan Roma çimentosunun patentini almıştır (Holmes 1983). Çimentonun keşfi de böylelikle icat edilmiştir. 1824 yılında Joseph Aspdin günümüz yapı malzemesi çimentonun icadına ilk öncülüğü etmiştir. 1845 yılında Isaac Johnson Portland şehri civarında kil ve tebeşir tozunu

yüksek sıcaklıklarda yakarak yüksek mukavemet dayanımına sahip olan çimentoyu keşfetmiştir.

Malzemelerin tek başına problemlere cevap verememesi sonucunda malzemelerin tek tek özelliklerinin kullanılmasıyla yeni kompozit malzemelerinin bulunulmasında büyük etkileri olmuştur. Betonun yüksek basınç mukavemetine sahip olmasına karşın çekme dayanımının düşük olması nedeniyle soruna karşılık bulmak için yüksek çekme mukavemetine sahip çelikle yüksek basınç mukavemetine sahip beton birleştirilerek günümüzde sıkça kullanılan yapı malzemesi betonarme bulunmuştur.

Modern kompozitler diye adlandırdığımız yeni nesil kompozit malzemeler, kompozit üretiminin geliştirilmesi üzerinde sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda süper polimer malzemeler olan yaygın olarak kullanılan plastik malzemeler üzerinde olmuştur. Bu tip malzemeler İkinci Dünya Savaşında askeri uçaklarda kullanılmıştır (Holmes 1983). Binalarda, köprülerde, optik lensler gibi değişik alanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. B787 Kompozit uçak üretimi (Anonim 2018d)

Plastik malzemeler dayanım ve sertlik özelliklerinin düşük olması bu tip malzemeler için büyük bir dezavantaj olmuş bu nedenle plastik malzemelerin bu tip eksikliklerinin önlenmesi için yeni malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzeme lifli donatılı malzeme olup polimer esaslı kompozit malzeme olarak adlandırılmıştır (Mallick 1997, Eurocomp 1996). Ülkemizde bu malzeme fiberglas olarak adlandırılmış olup sıvı depolarda, bazı çatı levhalarında kullanılmıştır.

2.6. Fiber Takviyeli Plastik Kompozit Malzemelerin Üretim Aşaması

Fiber takviyeli kompozit malzemeler mekanik özellikleri bakımından göz önünde olması ve malzemelerin üretim aşamasında sürekli teknolojik gelişimlere açık olması bu malzemeyi sıkça kullanılır hale getirmiştir (Anonim 2018e). Üretim yöntemleri çeşitli olan FRP kompozit malzemelerin imal edilme çeşitleri aşağıdaki gibidir.

- Elle Yatırma Metodu
- Püskürtme Metodu
- Reçine Enjeksiyonu Metodu
- Hazır Kaplama Metodu
- Islak Sistem Pres kaplama Metodu
- Vakum Bonding Metodu
- Otoklav Metodu
- Preslenebilir Takviyeli Termoplastik Metodu
- Elyaf Sarma Metodu
- Profil Çekme (Pultruzyon) Metodu

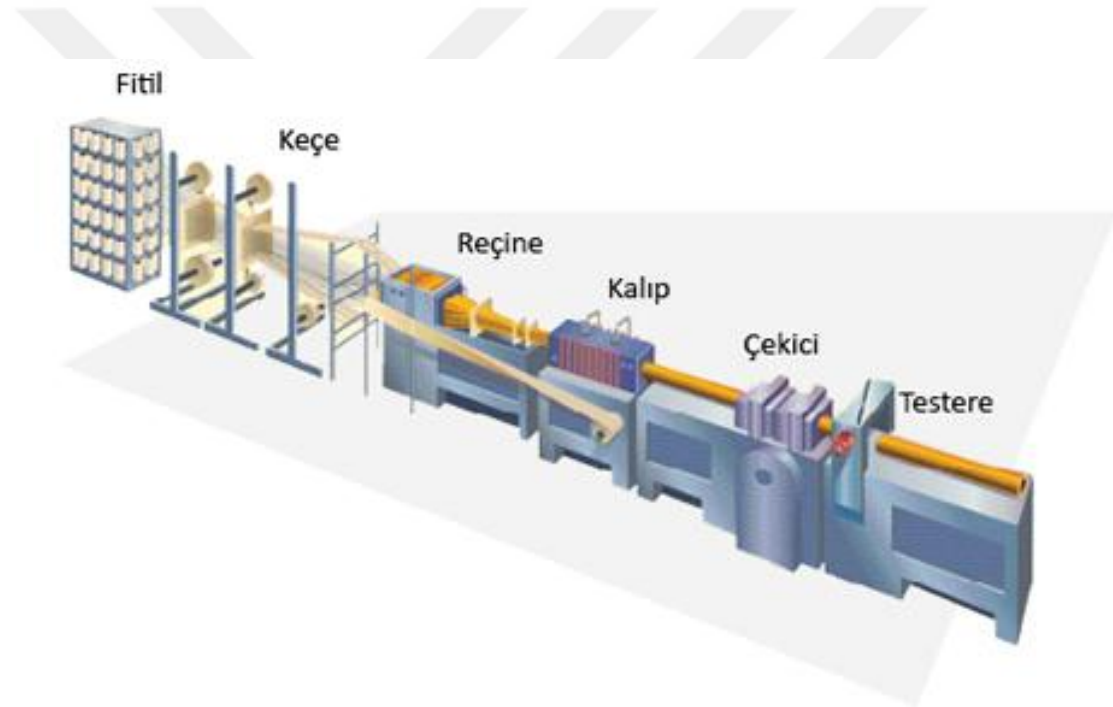
2.6.1. Profil çekme (Pultruzyon) yönteminin incelenmesi

Profil çekme yöntemi inşaat sektöründe taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadır. Üretilen malzemeler çelik kutu profillere benzemektedir. Kompozit malzemelerinin üretildiği diğer yöntemlerde malzemelerin taşıyıcı eleman olarak kullanılması uygun olamamaktadır. Ortaya çıkan bu sorundan dolayı malzemeleri pultruzyon yöntemi ile üreterek inşaat sektöründe taşıyıcı eleman olarak kullanılabilmesini gerçekleştirmektedir (Anonim 2018f). Pultruzyon yöntemi sürekli elyaflar, dokunmuş fitil, keçe maddelerinin kombinasyonlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.2).

Fitil sehpaları, elyaf fitil ve keçelerin sarılı olduğu kısım bobinlerin bulunduğu kısımdadır ve makineden ayrı bir bölümde bulunmaktadır. Makine üzerindeki elyaf bobinlerin sayısı üretilmesi istenen malzemenin çeşidine göre belirlenmektedir. Makine üzerinde yer alan ilk bölümde reçine tankı bulunmaktadır (Şekil 2.3). Cam elyaf malzeme termoset reçine tankının yer aldığı bölümden geçerek reçineye bandırılmış

olur. Daha sonra cam elyaf malzeme içerisinde yer alan hava ve fazla reçine malzemesinin süzülmesi için ön kalıba girer. Bekletildikten sonra ön kalıptan çıkan malzemeyi dış etkenlerken korumak amacıyla yüzeyinin elyaf lifler ile kaplaması yapılır. Böylelikle GFRP malzemesi pultruzyon yöntemiyle enine ve boyuna liflerin reçine ile birleştirilmesi sonucunda profil şeklini almış olur (Şahin 2000).

Pultruzyon yöntemi kompozit malzemelerin üretiminde sıkça kullanılan yöntem olup bu yöntem ile üretilen malzemeler başlangıçta elektrik sektöründe kullanılmış, günümüzde ise korozyona dayanıklı olması nedeniyle inşaat otomotiv ve havacılık sektörlerinde yer almıştır. Korozyona karşı dayanıklı olmasının yanı sıra kimyasallara karşı dayanımı da arıtma tesislerinde ve endüstriyel tesislerde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.



Şekil 2.2. Pultruzyon yöntemi iş akış şeması (Anonim 2018e)

İnşaat sektöründe birçok alanda ihtiyaca cevap veren pultruzyon yöntemi ile üretilen profiller aksel yük altında gösterdiği yüksek performans nedeniyle köprülerde köprü gövdelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra yaya üstgeçitleri, taşıt köprü platformları ve altyapı sektöründe gün gün kullanım alanı artmaktadır. Diğer yapı malzemelerine (çelik, alüminyum vb) oranla GFRP profillerin mukavemeti, korozyona karşı dayanımı, ağırlığı, elektrik iletkenliği, çevresel etkisi, ısı iletkenliği gibi özelliklerinde üstün performans göstermesi yapı sektöründe alternatif kullanılan malzeme olmasının avantajını artırmaktadır.



Şekil 2.3. Pultruzyon makinesi örneği (Anonim 2018f)

2.6.2. GFRP profil malzeme çeşitleri

Sıkça kullanılan pultruzyon yöntemi inşaat sektöründe tamamlayıcı ve ana malzeme olarak kullanılan profil malzemenin üretilme aşamalarından biridir. Üniform kesitte olan kompozit malzemeler katı olarak ve içi boş halde olarak üretilmektedir (Halliwell 2000). Pultruzyon yöntemiyle 'I' tipi 'T' tipi 'L' tipi ve 'U' tipi profil malzemeler üretilmektedir. Bunun yanı sıra isteğe göre şekillendirme de yapabilmek mümkündür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. GFRP profil malzeme çeşitleri (Anonim 2018g)

2.6.3. Pultruzyon yönteminin sağladığı avantajlar

FRP profil malzemelerin birçok üretim yöntemi olmasına karşın pultruzyon yöntemi diğer yöntemlere göre avantaj sayısının fazla olması nedeniyle tercih edilmektedir (Şekil 2.5). Pultruzyon yönteminde karmaşık geometrik şekilleri olan malzemelerin üretimi kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu sayede maliyeti diğer metal malzemelere göre düşük olmakta bu da malzemeyi avantajlı olarak kullanılabilir hale getirmektedir. Farklı elyaf katmanları ve bunların kombinasyonları ile farklı mekanik özelliklere sahip FRP malzeme üretimi yapabilmek mümkündür. Hacimsel polimer üretimi olarak değerlendirilmesi yapıldığında daha az enerji ile üretimi yapılabilmektedir. Düşük işçilik ve ekonomik olması hızlı kullanılabilen bir üretim yöntemi olabilmesini sağlamıştır. Elyaf malzemenin boyuna yerleştirilmesi ile çekme dayanımına etkisi büyük olmaktadır. Bu yöntemde kullanılan ekip ve araç masraflarının diğer üretim yöntemlerine göre düşük olduğu gözlenmiştir (Sarıbyık 2008).

Yüksek Korozyon Dayanımı	Hafif Boyutsal Stabilité Darbe Dayanımı Alev Geciktirici
Çalınma Riski Minimum	Elektrik İletmez Sağlığa Zararsız Geniş Renk Seçeneği A Sınıfı Boyama Yüzeyi

Şekil 2.5. FRP üretiminde pultruzyon yönteminin avantajları

2.6.4. Pultruzyon yönteminin sağladığı dezavantajlar

FRP profilleri üstün özelliklerinden dolayı her ne kadar üretimi aşamasında pultruzyon yöntemi kullanılsa da bu yöntemin bazı eksiklikleri de bulunmaktadır. Bu yöntemde elyaf yerleştirilmesi genellikle çekme mukavemetini sağlayacak şekilde yapılırken çapraz yönlerdeki mukavemet dayanımlarının düşük olduğu gözlenmiştir. Üretim yöntemi ne kadar sağlıklı ve kaliteli gerçekleştirilirse malzeme de o kadar kaliteli elde edilmiş olur. Kompozit malzemelerin kırılma olmaları da bir dezavantaj olup onarım için işlem görmeleri yeni sıkıntılar gösterdiği görülmüştür (Sarıbyık 2008).

2.7. FRP Kompozit Malzemelerinin Yapılarda Kullanımının İncelenmesi

İnşaat mühendisliği sektörü özellikle yapılarda karşılaşılan teknik sorunlara karşı sürekli çözüm arayışı bulma yönünde çalışmalar yapmıştır. Bu sorunları kısa sürede ekonomik bir şekilde çözebilmek için yapı malzemesi alanında hep çalışmalar yapmıştır. Bu yapılan çalışmalarla tasarımlar sürekli teknolojik olarak gelişerek değişiklikler göstermiştir. Bu yapılan çalışmaların en güncel ve belirgin örneği FRP kompozit malzemelerin yapı alanında taşıyıcı malzeme olarak kullanılması gösterilebilir. FRP kompozit malzemelerin yapılarda kullanımı öncelikle güçlendirme elemanı olarak değerlendirilmiş sonrasında ise mevcut kullanılan yapı malzemelerinin değişken alternatif elemanı olarak kullanıldığı görülmüştür. Pultrüzyon yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler geçmiş kullanım alanlarına oranla taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Hava taşıtları ve uzay endüstri sektöründe kullanımındaki görülen performans ve dayanımı malzemenin sektörde kullanım yoğunluğunu daha da artırmıştır (Ayman 2004).

Fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler inşaat altyapısında son zamanlarda sıkça kullanılmıştır. Çubuk ve kiriş yapı elemanlarında güçlendirme de, kolonların sarılmasıyla iyileştirme alanında kullanılmıştır. FRP kompozit malzemeler yapı malzemeleri ile hibrit olarak kullanılmasıyla tamamen kompozit profil malzemelerden oluşmuş sistemlerin bulunduğu uygulama alanları görülmektedir (Karbhari 2004).

İncelenen bazı kompozit köprüler tamamen FRP kompozit malzemesinden imal edilmiş olması yanı sıra güçlendirme amaçlı yapı malzemeler ile birlikte kullanılmaları günümüzde FRP malzemelerin ne kadar yoğun kullanıldığının ispatıdır. Ahşap, tuğla, betonarme, çelik gibi yapı malzemeleri ile birlikte kullanılan FRP kompozit malzemeler kullanımı sonrasında gösterdiği performansla malzemelerle ne kadar uyumlu çalıştığını göstermektedir (Halliwell 2004).

Günümüzde ise FRP kompozit malzemeler genel olarak GFRP veya CFRP olarak laminant, kumaş ve profil halinde kullanıldığı görülmektedir. İnşaat alanında FRP kompozit malzemeler yapı alanında kumaş veya laminant halde güçlendirme uygulamalarında, beton ve çelik malzemesiyle birlikte hibrit olarak, korkuluk, kaplama gibi tamamlayıcı malzeme olarak ve tamamen FRP kompozit profil malzeme olarak kullanıldığı gözlenmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. FRP ile kiriş güçlendirme uygulaması (Anonim 2018h)

FRP kompozit malzemeler yapıların deprem ve dinamik etkiler gibi sorunlardan kaynaklanan taşıma kapasitelerindeki düşme ve performansından dolayı yapılarda güçlendirme malzemesi olarak yoğun olarak kullanılmıştır. Kolon, kiriş ve duvar gibi yapı elemanları FRP kumaşlarla sarılarak yapının taşıma gücüne önemli ölçüde pozitif etkisi olmaktadır. Ayrıca ahşap taşıyıcı yapı elemanları ile inşa edilmiş olan bazı tarihi yapılarda da CFRP kumaşların kullanılması ile güçlendirme yapılmaktadır.

FRP kumaş ve laminantların yapıların güçlendirilmesinde kullanılmasının yanı sıra pultruzyon yönteminin gelişmesi süresince farklı kesitlerde üretimi yapılan FRP kompozit profillerin kullanımı da artmaktadır. Farklı kesitlerde üretimi kolaylıkla yapılabilen profillerin çekme dayanımının yüksek olması ve korozyona karşı direnç göstermesi alternatif malzeme olarak kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Kullanım yerlerini köprüler, konutlar, deniz yapıları, kule ve silo yapıları gibi saymak mümkündür. Ayrıca pultruzyon yöntemi fiber takviyeli kompozit malzemelerin yapı sektöründe taşıyıcı eleman olarak birincil malzeme kullanımında yaygınlaştığı gözlenmiştir.

GFRP taşıyıcı yapı elemanı olarak iskelelerde sıkça kullanılmıştır. Ayrıca GFRP malzeme hafif, sağlam ve mukavemeti yüksek olması yüksek katlı yapılarda kullanımı

görülmüştür. Yapılan çalışmalar incelendiğinde kule yapılarında, köprülerde ve su yapılarında malzemenin sıkça kullanıldığı görülmektedir.

Ülkemizde ise GFRP malzemenin özelliklerine göre balkon çıkmaları ve korkuluklarda ve bunların yanı sıra küçük katlı konut yapılarında da kullanıldığı incelenmiştir.

GFRP profil malzemeleri yapı malzemesi olan betonla birlikte hibrit malzeme olarak kullanımı da yaygındır. Bazı ülkelerde köprülerin taşıyıcı kirişleri GFRP profil malzemeden oluşurken üst kısımları ile betonla imal edilerek uygulandığı gözlenmiştir.

Yeni nesil olarak tanımlanan kompozit malzemeler yapı sektöründe kullanılmasının yanı sıra akademik çalışmalarda da birçok ülkede konu olarak ele alınmıştır.

2.8. Hibrit Yapı Malzemesinin İncelenmesi

Yapı sektöründe kullanılan yapı malzemeleri avantajlı özelliklerinin yanında dezavantaj da bulundurmaktadır. Bu eksikliklerden dolayı üretim ve tasarım aşamasında bu eksik özelliklerini azaltmak, yok etmek amacıyla farklı özelliklerde yeni malzemeler imalatı üzerinde çalışmalar olmuştur. Bu çalışmalardan dolayı araştırmacılar yaygın kullanılan kompozit malzemelerden sonra hibrit malzemeler üzerine tasarımların uygulaması yapılmıştır (Cripps 2002).

Yapı malzemesi olan beton 1850 yıllardan beri inşaat sektörünün ana elemanı olarak kullanılmaktadır. Ekonomik, işlenmesinin kolay olması, basınçta karşı yüksek dayanıma sahip olması nedeniyle kullanım avantajı olan beton bunların yanında çekme dayanımının düşük olması, ağır olması ve geçirimsizliğinin yüksek olması dezavantajları arasında yer almaktadır. Bu nedenlerden dolayı betonun tek başına kullanılması yeterli olmamaktadır. Dezavantajlarını yok sayacak şekilde beton çelikle kullanılması en çok kullanılan çeşidedir. Betonarme yapı elemanı olarak kullanılan kirişlerin tarafsız eksen altında kalan kısımlarında beton verimli kullanılamamaktadır. Çekme dayanımı düşük olan beton çekme etkisini karşılayabilmek için çelik donatılarla birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Çekme etkisini çeliğin karşılamasına rağmen çekme etkilerinden dolayı betonda meydana gelen çatlaklar zamanla içerisindeki çelik donatının deforme olmasına yol açmaktadır. Bu etkilere karşın alternatif malzeme olarak cam ya da karbon fiber malzemelerin vinilister ile birlikte kullanılması ile oluşan kompozit malzeme özellik bakımından yüksek işlevli malzeme olarak kullanılmaktadır. İçerisinde yüksek

lif bulunan kompozit malzemeler dayanımın yüksek olması, rijitlik gibi özelliklere sahip olmaktadır. Böylelikle beton ve polimer kompozitlerden meydana gelen hibrit kirişler, basınç bölgesinde betonun yüksek basınç dayanımıyla, çekme bölgelerinde ise kompozit malzemelerin yüksek çekme dayanımıyla alternatif bir malzeme olarak kullanılabilir (Cripps 2002).

Uzun yıllar çelik donatılar ile birlikte kullanılan yapı malzemesi olan betonun son yıllarda alternatif farklı malzemelerle birlikte kullanılmasının araştırılması yapılmaktadır. Bu araştırmalar sonucu betonla birlikte FRP kompozit malzemelerin yeni nesil hibrit malzeme olarak kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir.

2.8.1. Yapı Malzemesi Betonun FRP Profil Malzemeler İle Birlikte Kullanımı

Özellikle inşaat yapılarında FRP malzemeleri son dönemlerde beton ve çelikle birlikte hibrit malzeme olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Uygulamalar incelendiğinde beton malzemesi işlenirken FRP profilin içerisinde ortak kullanılmakta, böylelikle FRP kompozit malzeme hem kalıp malzemesi olarak hem de çekme bölgesindeki çekme etkisine karşılık olacak şekilde kullanılmaktadır. FRP malzemeler hibrit tasarım uygulamalarıyla kalıp işlevini görmekte, meydana gelen çekme gerilmelerine karşı direnç sağlamakta ve betonu korozyon gibi dış etkilerden korumaktadır. Birçok özelliğiyle sağladığı avantajlar sayesinde yapılan hibrit tasarım uygulamaları çelik, beton ve GFRP malzemesinin bir arada kullanımını sağlamaktadır (Hyung-Joong 2007). Hibrit tasarım uygulamaları ile FRP profilleri farklı kesitlerde kullanılabilir. Zemin uygulamalarında sıkça karşılaştığımız hibrit malzemelerin kazık temel, kolon, köprü ayakları olarak örneklendirilmesi yapılabilir.

Beton çelik profiller ile birlikte sıkça kullanılırken karşılaşılan problemlere karşın FRP profillerin alternatif malzeme olarak kullanımının önü açılmıştır. Çelik profillerin kesitlerinin ölçü ve ebatlarında üretimi yapılabilen FRP profil malzemeler kullanımının yaygınlaşmasında önemli etken olmuştur. İnşaat sektöründe betonda karşılaşılan korozyon etkisini yok sayan FRP kompozit malzemeler alternatif malzeme olarak sıkça kullanılmaktadır.

Çeliğin korozyona uğramasına karşılık korozyona uğramayan FRP daire kesitli boru profil malzeme içerisine hazır beton dökülerek elde edilen hibrit malzeme ile birçok sayıda araştırma çalışmaları yapılmıştır. Buna örnek olarak, çelik boru malzemelerin korozyona uğraması nedeniyle çözüm arayışına giden Mirmian ve

Shahawy 1995 yılında fiber takviyeli plastik boru (CFFT) içerisine beton doldurarak çalışma yapmıştır (Mirmiran 1995). 1996 yılında ise Carbrera CFFT kolonlarla alakalı moment ve eğrilik analizi incelemesi yapmıştır (Cabrera 1996). Yapılan çalışma silindirik numune malzemelere yükleme boşaltma etkisi yapılarak eksenel kuvvet uygulaması yapılmıştır. Çalışmadan alınan sonuç GFRP boru profillerde süneklik artışı olduğu incelenmiştir. Davol ve arkadaşları 2001 yılı içerisinde lamine edilmiş olan farklı fiber yönlerine sahip olan numune malzemeler üzerinde testler yapmış, boru profillerde yüksek düzeyde basınç deformasyonunun olduğunu incelenmişlerdir (Daval 2001).

Yapı malzemesi olan beton ile birlikte FRP profil malzemesi öncelikle daire kesitli boru profil olarak zemin, kazık temel gibi çalışmalarda kullanılmış, sonrasında ise farklı kesitlerde kutu profil malzeme olarak kullanımı yaygınlaşmıştır.

2.8.2. Konu ile ilgili yapılmış çalışmalar

Deskoviç ve arkadaşları (Deskovic 1995) pultruzyon yöntemi ile üretimi yapılmış olan profil malzemeler üzerinde basınç bölgesinde beton, çekme bölgesinde ise CFRP lamine elemana sahip GFRP kutu kiriş malzeme üzerinde mekanik davranışın incelemesini yapmışlardır. Eldeki numune malzemeler üzerinde eğilme testleri çalışmaları yapılmış ve sonuçları incelemişlerdir. Maliyet, yüksek rijitlik, dayanım, süneklik gibi özellikleri inceleyen araştırmacılar sonuçların gayet güzel ve verimli olduklarını bu sayede FRP beton malzemedan oluşan hibrit yapı elemanının kullanılmasını önermişlerdir.

Mirmian ve arkadaşları (Mirmiran 1998) ise elde ettikleri hibrit kolon malzemesi üzerinde içerisine beton doldurulmuş olan FRP profil malzemedan meydana gelen malzemeyi tasarlamışlar ve eldeki numuneler üzerinde basınç ve eğilme testleri yaparak incelemesini yapmışlardır. Yapılan testlerden elde edilen sonuçlarda kesme performansının yüksek olduğu incelenmiştir. Ayrıca hibrit malzeme kirişlerde ani ve gevrek kırılmayla karşılaşılmamış olup deplasmanlar olduğu incelenmesi yapılmıştır.

Ribeiro ve arkadaşları (Ribeiro 2002) pultruzyon yöntemini kullanarak farklı kesitlerde GFRP kompozit profiller kullanılarak beton ile birlikte hibrit kiriş oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kirişlerin eğilme davranışlarının incelenmesi yapılmıştır. GFRP kompozit profilleri çekme bölgesinde, betonu basınç bölgesinde değerlendirerek eldeki profiller polimer beton ile doldurularak deney uygulanmıştır. 4

ayrı kesitte seçilen hibrit tasarımların eğilme davranışları incelenmiştir. Çalışma sonrasında elde edilen sonuçlara bakıldığında iki malzemenin birlikte kullanılması ile malzemede dayanımın arttığı görülmüştür.

Hulatt ve arkadaşları (Hulatt 2003) beton ve polimer kompoziti kullanarak betonun yüksek basınç dayanım özelliğini üst kısımda, polimer kompoziti de yüksek çekme dayanımı ve rijitlik özelliğini alt kısımda kullanarak iki katlı bir kiriş tasarımı yaparak çalışma yapmışlardır. Toplamda dokuz adet 1,5 m açıklığına sahip T kesitli kirişin alt kısmında CFRP malzeme diğer kısımlarda ise GFRP malzeme kullanarak incelemişlerdir. Yapılan deney sonucunda kırılma yükünün olduğu küçük bir kısımda burkulma kırılmalarının gerçekleştiği görülmüştür. Hibrit kiriş üzerinde yaptıkları sünme ve yorulma testlerini incelediklerinde betonda rijitlik azalması olduğu görülmüş fakat FRP kompozit elemanlarda negatif yönde bir etkinin olmadığı incelenmiştir.

Fam ve arkadaşları (Fam 2003) GFRP profil elemanların içerisi beton ile doldurularak eğilme, aksenal basınç kuvvetleri uygulanarak çalışma yapmışlardır. Malzemenin ağırlık testini de inceleyebilmek için iç boru çapıyla ilgili inceleme yapılmıştır. Hibrit malzemenin fiber yönü, FRP boru et kalınlığı, iç boşluk çapı ve beton basınç dayanımının etkilerinin incelemek için çalışma yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kirişlerin içerisindeki betonun tam yada yarı dolu olması rijitliğe pek etki etmezken eğilme dayanımının düşük olduğu incelenmiştir. İçerisi tam dolu olan kirişlerde Çekme bölgelerinde GFRP profillerde kırılmalar incelenmiş, bir kısmı beton ile dolu olan kirişlerde beton kenarlarında lokal kırılmaların gerçekleştiği incelenmiştir.

Nordina ve Taljstena (Nordin 2003) I kesitli seçtikleri GFRP kompozit profil üzerinde basınç bölgesine gelen yerde beton blok kullanılmış olup alt çekme bölgesine gelen yerde ise CFRP eleman kullanarak deneysel çalışma yapmışlardır. Seçilen malzemelerden betonun yüksek basınç dayanımı incelenmiş, GFRP ve CFRP malzemelerin ise çekme dayanımları incelenmiştir. Beton ile karbon malzemelerin birleşimi epoksi malzemesi ile yapıştırılarak uygulanmıştır. Çalışma sonrasında incelenen sonuçlarda GFRP profil malzemenin diğer yapı malzemelerine oranla hafif olması uygulanabilirliğini artıran özelliği olmuştur.

Wenlxiao ve Zhishen (Wenlxiao 2004) FRP beton kiriş malzemeler üzerinde bir tasarım çalışması yapmışlar ve üzerinde eğilme deneyi yaparak alınan sonuçların incelemesini yapmışlardır. Hibrit kiriş sistem üzerinde çekme bölgesine çelik donatılar yerleştirilerek 150-200 mm kesite sahip dikdörtgen numune malzemeler kullanılmıştır. FRP malzemesi olarak fiber türü cam fiber ve yüksek karbon lif olan malzemeler

seçilmiştir. Hibrit malzeme olan FRP beton kiriş malzeme sistemi üzerinde farklı FRP kompozit oranlarında süneklik, taşıma kapasitesi ve rijitlik üzerinde testler yapılmıştır. Hibrit sistem için Euler-Bernouli kiriş teorisinin kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmiş yük taşıma kapasitesi ve rijitliğin tasarımının geliştirilmesinin sonuçları olumlu yönde etkileyeceği kanısına varılmıştır.

Fam ve arkadaşları (Fam 2005) dikdörtgen kesite sahip GFRP profil malzemelerin içerisine beton doldurularak hibrit yapı elemanı üzerinde çalışma yapmışlardır. Üç adet kiriş ve beş adet kısa kolon üzerinde eksen merkezli, eksantrik yükleme testi yapmışlardır. Deneyde kiriş içerisi betonla tamamen ve kısmen doldurularak farklı ağırlıklarda kullanılması sağlanmıştır. GFRP kutu profiller 271*164 mm ile 374*266 mm ölçüleri arasında seçilmiş olup cam fiber oranı %60 civarında olduğu belirtilmiştir. Beton ile profil malzemenin arasındaki aderans kuvvetini artırabilmek için epoksi malzemesi yardımı ile profillerin iç yüzeyi silika kumu ile yapıştırılmıştır. Kısa kolon malzeme içerisi tamamen beton doldurularak 680 mm uzunluğunda seçilip eksantrik oranları 0, 0.092, 0.184, 0.236 olacak şekilde deney çalışması yapılmıştır. Deneyde kullanılan GFRP elemanlar ile benzer olacak şekilde içerisi beton malzeme ile doldurulmuş çelik elemanlar seçilerek karşılaştırması incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonrasında alınan sonuçları özetlemek istersek, sistemin kolaylık avantajının yüksek olduğu ve GFRP profil malzemenin aynı zamanda kalıp malzemesi görevi yaparak işleri kolaylaştırdığı incelenmiştir. Beton ile GFRP profil malzemelerin oluşturduğu hibrit kirişlerde yapılan yük-deplasman davranışlarında içi boş olarak seçilmiş kirişler tam dolu olan kirişlere oranla %22 daha az dayanım göstermiştir. İçerisi tamamen dolu olan GFRP profil elemanların basınç bölgeleri incelendiğinde beton kenarlarında kırılmalar gözlenmiş, GFRP malzemenin kopması ile boş olan bölgelerde iç burkulma kırılmalarının gözlendiği GFRP malzemenin basınç kenarlarında ise dış burkulmaların gözlendiği incelenmiştir. Seçilen iki farklı sistemde Beton-GFRP hibrit malzemesi ile Beton-Çelik malzemenin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında yük-deplasman davranışlarının farklı olduğu gözlenmiştir. Çelik kiriş malzemedeki çeliğin elastisite modülünün GFRP malzemeye göre fazla olmasından dolayı ilk önce rijit davrandığı gözlenmiş sonrasında ise çeliğin akma sınırına geldiğinde plastik davranış gözlemlendiği incelenmiş olmasına karşın GFRP malzemedeki bu durum görülmemiştir. GFRP hibrit kiriş malzemelerde beton ve FRP kesit alanlarında güçlendirme oranında artma görülmesi halinde eğilme dayanımına %40 oranlarında

faydası olduğu incelenmiştir. Plastik kıvamda betonun yerleştirilmesi ile GFRP profil malzemelerde bazı bölgelerde şişmelerin görülebileceği incelenmiştir.

Teng ve arkadaşları (Teng 2004) GFRP-Beton-Çelik boru kolonların basınç ve eğilme yükü karşısında gösterdikleri davranışları incelemek için daire ve kare kesitli GFRP ve çelik malzemeler kullanarak iç kısmı çelik malzemeden dış kısmı ile GFRP malzemeden oluşturarak çalışma yapmışlardır. Eğilme testi yaparak inceledikleri malzemede süneklik, korozyon ve yangın dayanıklılığını ön planda tutarak katkı sağladıklarını incelemiştir.

Tianhong ve arkadaşları (Tianhong 2006) E şeklinde tasarım yaptıkları sistemde I kesitli FRP profil malzeme kullanarak betonla birlikte hibrit sistemin çalışma sistemi üzerine deney çalışması yapmışlardır. Profillerin kalıp görevi üstlenmesi sistemi avantajı hale getirirken hibrit kirişin alt kısmının CFRP kumaş malzeme ile sarılarak beton ve GFRP malzemelerin performansına karşın etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçları ayrıntılı olarak incelendiğinde tasarımı yapılmış olan hibrit kirişin kalıp malzemesi olarak kalıcı görev üstlendiği görülmüş olup alt bölgede kullanılmış olan CFRP malzemenin rijitliğe etkisinin olumlu yönde olduğu incelenmiştir. Beton levhanın kalınlığının kayma dayanımında doğru orantılı etkisinin olduğu araştırma sonucunda görülmüştür.

Correia ve arkadaşları (Correia 2009) Yapı malzemesi olan beton ve I GFRP profil malzeme ile farklı birleşmelerde 6 adet sistem hibrit kiriş üzerinde eğilme testi çalışması yapmışlardır. Malzemelerin birleşimi için epoksi kullanılmıştır. Eğilme performansları incelenen hibrit kirişler üzerinde yapılan deneyler sonucunda hibrit sistemin kullanılan yapılarda iyileştirme amacıyla rahatlıkla kullanılabilmesi olumlu yönde etkisinin olacağı öngörüsüne varılmıştır. Bir başka inceledikleri GFRP I profil ile beton arasında kesme kuvvetine karşı birleşmeyi sağlayabilmek için birleşim elemanı olarak paslanmaz çelik kullanılarak kayma gerilmeleri davranışları üzerinde inceleme yapılmıştır. Açıklıkları 4 m ve 1.8 m olarak seçilen GFRP beton hibrit kiriş malzeme üzerinde eğilme etkisine bakılarak tasarımın özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonrası hibrit malzemenin rijitlik ve yüksek dayanımları sayesinde onarım, güçlendirme gibi yerlerde kullanımının uygun olabileceği incelenmiştir. Kopma dayanımları ve sehim davranışları incelemesi yapıldığında sonuçların gayet olumlu olduğu görülmüştür.

Aydın (Aydın 2010) cam lifi takviyeli plastik kompozit ve beton ile üretilen hibrit yapı elemanlarının mekanik performansının incelenmesi üzerine deneysel

çalışma yapmıştır. Yüksek basınç özelliğine sahip olan yapı malzemesi olarak kullanılan beton ile yüksek çekmeye sahip GFRP malzeme ile hibrit bir çalışma üzerine inceleme yapmıştır. GFRP malzemenin özelliklerinin üzerine farklı dayanım özelliğine sahip beton üretilmesiyle basınç ve eğilme davranışlarının incelenmesini yapmıştır. Gayet uyumlu sonuçlar elde edilen çalışma sonuçlarına göre beton ile hibrit malzeme olarak kullanılan GFRP malzeme üstün özelliklerinin incelendiği görülmüştür

Yapı malzemesi olarak kullanılan beton ve FRP profil malzemelerin hibrit malzeme olarak kullanılmasının yapılan çalışma ve deneylerden görüldüğü gibi sürekli artacağı gözlenmiştir. Yakın zamanda sık sık araştırmacıların konu olarak değerlendirebileceği sistem yakın zamanın avantajlı malzemesi olarak kullanılabilir. CFRP ve GFRP profil malzeme içerisine betonun plastik kıvamda yerleştirilmesiyle daire kesitli olarak kullanılan kolon zemin güçlendirmeleri ve temel kazık sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. I kesite sahip FRP profil malzemeler ise betonla birlikte hibrit malzeme olarak köprü kirişlerinin alt çekme bölgelerinde FRP malzeme , basınç bölgesinde ise beton malzeme kullanılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

GFRP kutu profiller ile yapı malzemesi olan betonun hibrit kullanımının üstün özellikleri yanında, sergiledikleri eksik özellikleri de bulunmaktadır. Beton ile GFRP kutu profil malzemenin hibrit kullanımı ile meydana gelen yeni malzeme üzerinde yapılan çalışmalarla, eksik olan özelliklerin ortadan kalkması ve azaltılması yönünde uygulamalar yapılmıştır. Yapılan testler ve deneysel çalışmalarla GFRP kutu profilin beton ve köpükle doldurulması hali incelenmiş ve davranışa olan etkileri gözlemlenmiştir.

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tanıtılması yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney düzeneği üzerinde kullanılan malzeme ve ekipmanların kullanılması üzerinde açıklamalar yer almıştır.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Beton karışım malzemeleri

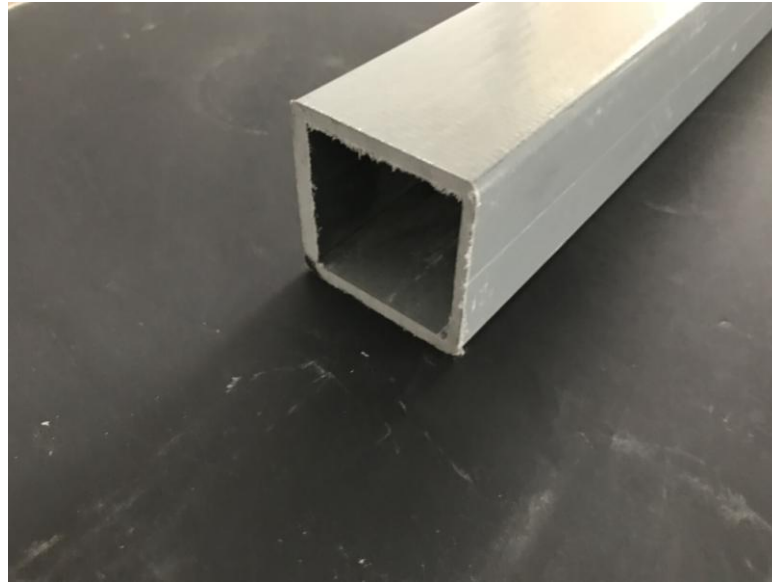
Çalışma yapılması esnasında GFRP kutu profillerin içine doldurulan beton olarak Weber.rep.grout harcı kullanılmıştır. Weber tarafından üretilen malzeme TS EN 1504-3 (Beton yapıların korunması ve tamiri için mamuller ve sistemler- Tarifler, gerekler, kalite kontrol ve uygunluk değerlendirmesi- Bölüm 3: Yapısal olan ve yapısal olan ve yapısal olmayan tamir) standartlarına uygun olarak üretilmiştir. Çimento esaslı yüksek mukavemetli, yüksek akıcılık özelliğine sahip, büzülme yapmayan su geçirimsiz malzeme olarak geçen grout harcı uygulandığı zaman yüksek aderans ve yüksek akışkanlığa sahiptir. 25 kg'lık torba üzerine 4,25 lt temiz su katılarak karışım uygulanmıştır. Kullanılan su içilebilir niteliğe sahip Konya Büyükşehir Belediyesi şehir şebeke suyudur. Karışım betoniyer yardımı ile laboratuvar ortamında yapılmıştır (Şekil 3.1). Çalışmada çimento esaslı grout harcının kullanılmasının nedeni malzemenin büzülme yapmamasıdır. Büzülme yapmayan bu harç sayesinde GFRP profil ile beton arasındaki aderans artırılarak daha iyi birlikte hareket etmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.1. Laboratuvar ortamında beton karışımının hazırlanması

3.1.2. GFRP kutu profil malzemeler

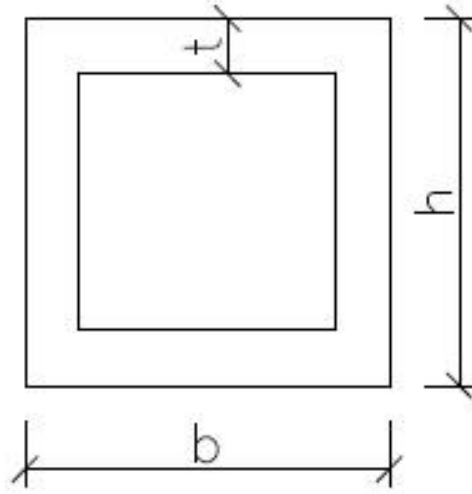
Deney esnasında kullanılan GFRP kutu profil malzemeler ülkemizde sektörde faaliyet gösteren ve halen faal durumda olan Tezkom Kompozit Teknolojileri Sanayi ve A.Ş. 'nin ürettiği profil malzemelerdir. Polimer matris cam lifi takviye uygulaması ve pultruzyon tekniği kullanılarak üretilen çeşitli şekil ve ölçülerde üretimi yapılan profil malzemeler üstün özellikteki mekanik özelliklere sahip olmanın yanı sıra yüksek dayanım, elektriksel iletkenlik, burulma gibi dış etkilere karşı şekil ve özelliklerini koruyabilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. GFRP profil malzeme

Yapılan deneysel çalışmamızda GFRP profil malzemenin tek kesit tipi kullanılmıştır. Kullanılan GFRP profil malzemenin kesit detayı Şekil 3.3’de verilmiştir.

Kullanılan GFRP profil malzeme çekme dayanımına karşı cam lifler ile rijitlik ve darbe dayanımını artırmak için enine keçe kullanılarak ayrıca korozyon etkisine karşı örtü içerisine enjekte edilen malzemelerin kullanımı ile yapılmıştır.



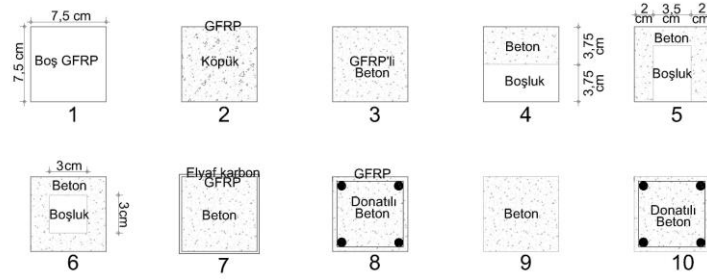
Şekil 3.3. GFRP profil malzeme kesiti

Yapılan deneyde kullandığımız GFRP kutu profil malzemenin et kalınlığı 7 mm seçilmiş olup kesit ölçüleri 75x75 mm ve profil boyu 1500 mm olarak seçilmiştir.

3.2. Deneysel Çalışma

GFRP kompozit malzemenin üzerinde yapılan testlerle malzemenin geliştirilmesi amaçlanmış bu amaçla profil malzeme eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Çalışma değişkeni olarak GFRP kompozit malzemenin içine doldurulan malzeme ve boşluk olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 9 adet farklı hibritlemeden oluşturulan numuneler kullanılmıştır. Deney sonuçlarının karşılaştırılması açısından GFRP profil ile aynı boyutlara sahip beton numune sonuçları ile kıyaslanması yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kesitleri aynı boşluk ve malzeme bakımından farklı olarak kullanılan deney numuneleri Şekil 3.4’te detaylı olarak gösterilmiştir.



- 1 Boş GFRP Numune
- 2 İçerisi Köpüklü GFRP Numune
- 3 İçerisi Betonlu GFRP Numune
- 4 Yarısi Beton İle Doldurulmuş GFRP Numune
- 5 İçerisi U Şeklinde Boşluklu GFRP Numune
- 6 Orta Noktası Boşluklu GFRP Numune
- 7 İçerisi Betonlu Dışı Elyaf Karbon İle Sargılı GFRP Numune
- 8 İçerisi Donatılı Beton İle Doldurulmuş GFRP Numune
- 9 GFRP'siz Beton Numune
- 10 GFRP'siz Donatılı Beton Numune

Şekil 3.4. GFRP profil malzeme kesit detayları

3.2.1. Deneyde Kullanılan Betonun Özellikleri

Basınç deneylerinde üretilen beton karışım malzemesi küp kalıplara doldurularak 28 günlük aksenal basınç testi yapılarak malzemenin basınç dayanımı tespit edilmiştir. Deneyde bütün numuneler için aynı beton karışımı kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Beton numuneler

Beton üretiminde Weber.rep.grout harcı kullanılmıştır. Kullanılan betonun basınç ve çekme dayanımının tayini için basınç, yarmada çekme ve 3 nokta eğilme deneyleri yapılmıştır. Üretilen betonun 28 günlük ortalama basınç dayanımı (σ_b) 53,75 MPa, yarmada çekme dayanımı (σ_{yc}) 19 MPa ve eğilme çekme dayanımı (σ_e) 11 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 3.6).

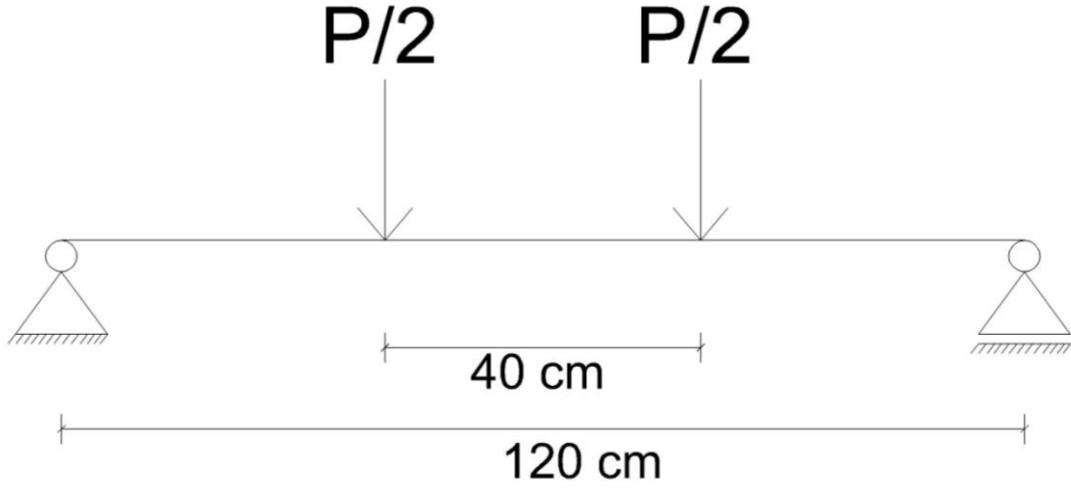


Şekil 3.6. Eğilme çekme ve yarmada çekme dayanım testi

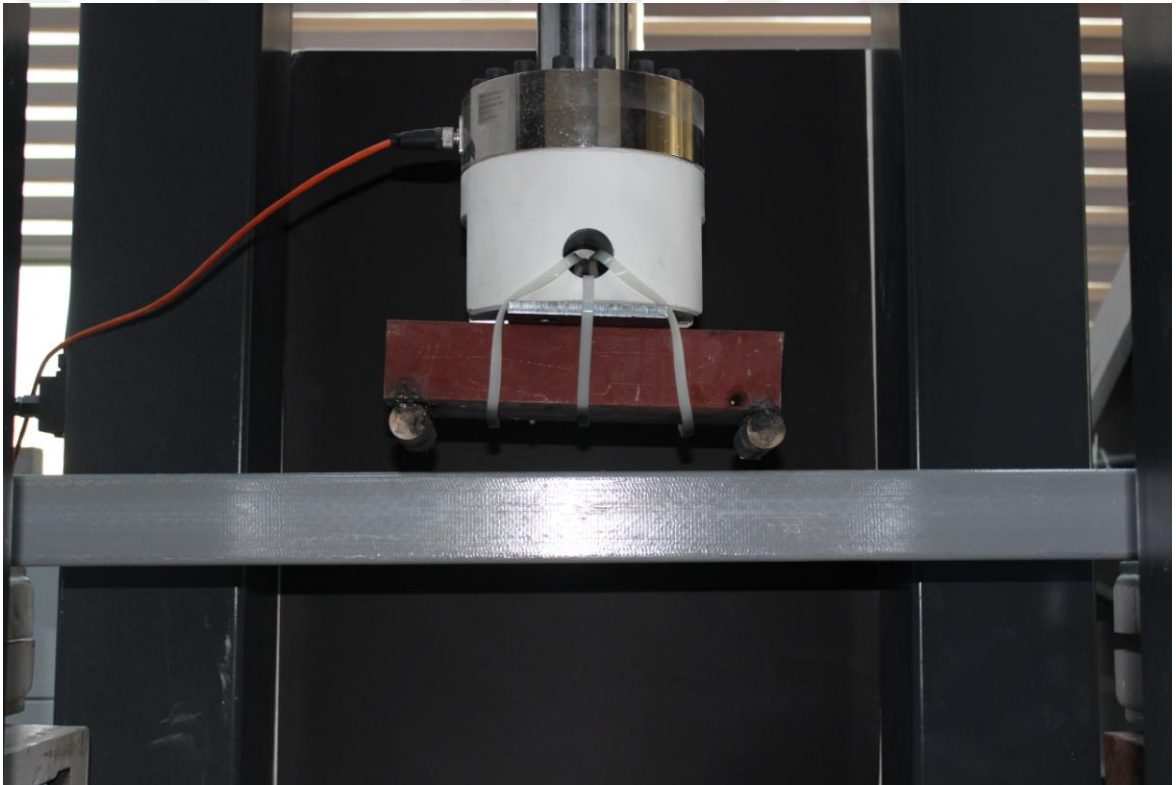
3.2.2. Hibrit kirişler üzerinde yapılan 4 nokta deneyleri

Eğilme deneylerinde yalın beton, donatılı beton, hibrit kiriş olarak üretilen kiriş numuneler kullanılmıştır. Kesit ölçüleri aynı olan kiriş şeklinde üretilen malzemeler boşluk, donatı ve sargılı olmak üzere çeşitli şekillerde hazırlanmıştır.

Deney düzeneğinde 75x75 mm kesite sahip 150 cm uzunluğa sahip numunelerin mesnet noktalarından itibaren 120 cm uzunluğunda eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise hazırlanan diğer numunelerin eğilme testlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Eğilme test düzeneği ve deneyde kullanılan GFRP kutu profil malzeme Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 3.7. Eğilme deney düzeneği şeması

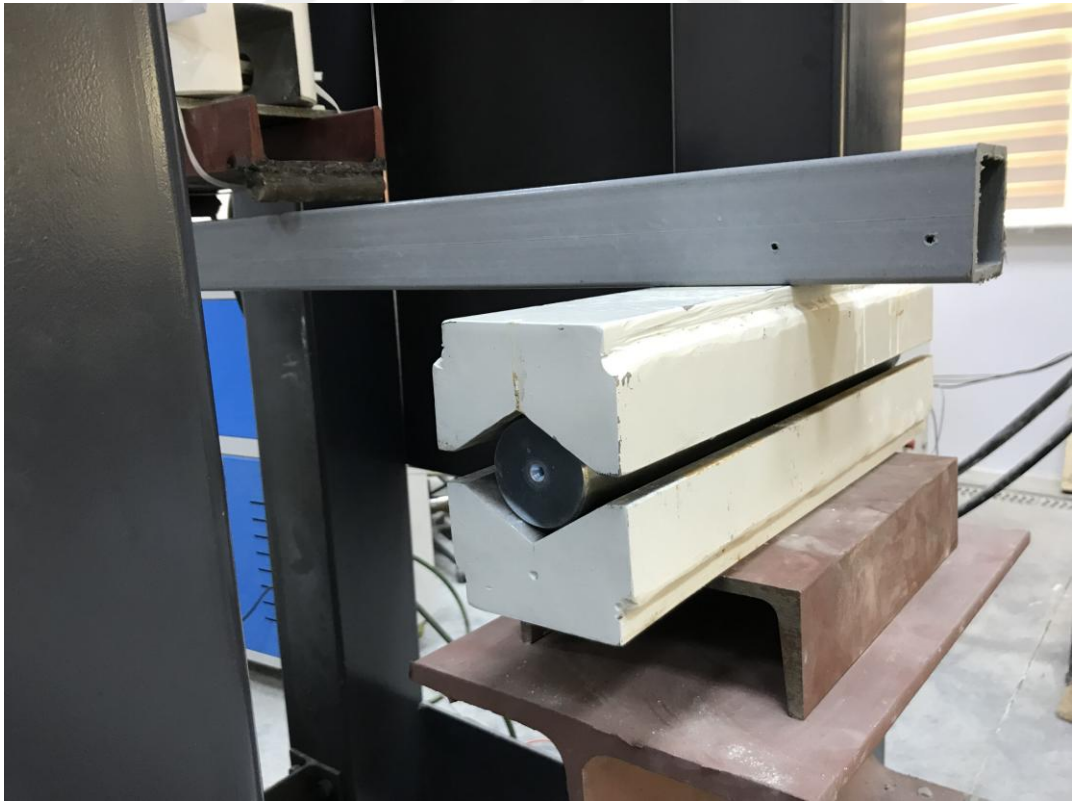


Şekil 3.8. Eğilme deney düzeneği

Deney eğilme düzeneğinin mesnet noktaları sabit ve hareketli mesnet olarak seçilmiştir (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).



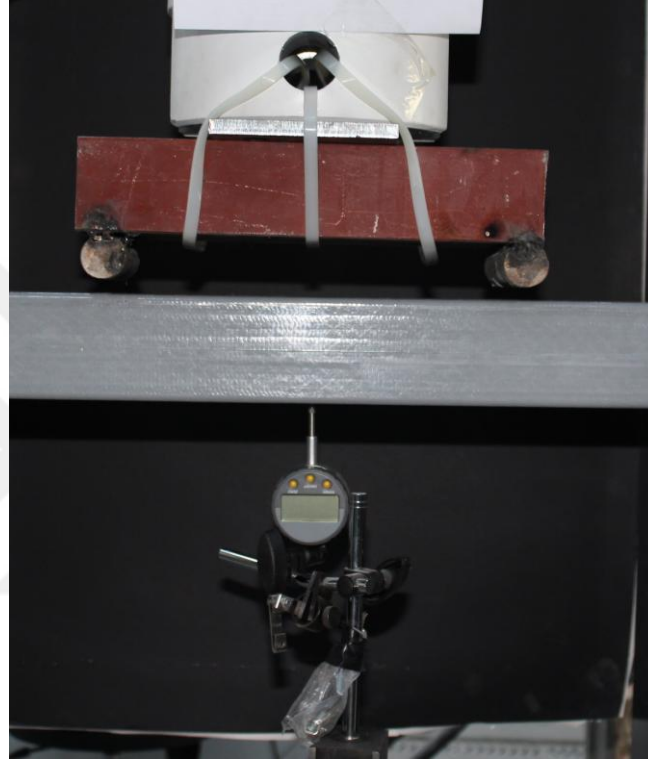
Şekil 3.9. Eğilme deney düzeneğinde sabit mesnet



Şekil 3.10. Eğilme deney düzeneğinde hareketli mesnet

Yapılan her deney numunesi için yük orta nokta deplasman grafiği çizdirilmiş ve her deneyle ilgili bölümde anlatılmıştır.

Deney sırasında Şekil 3.11’de görüldüğü gibi kiriş üst bölgesine yerleştirilen yük ölçer ile kirişe uygulanan yükler anlık olarak ölçülmüş ve bununla birlikte anlık olarak kirişin orta bölgesine yerleştirilen deplasman ölçer vasıtası ile orta bölgede oluşan yer değiştirme ölçülmüştür.



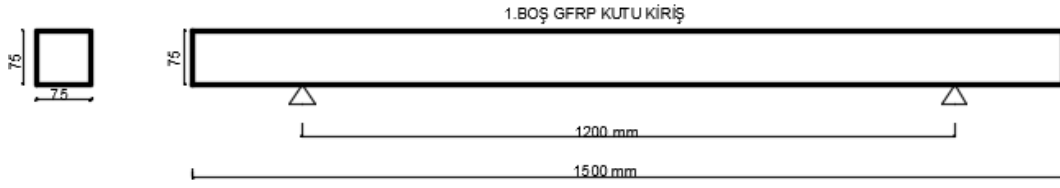
Şekil 3.11. Eğilme deney düzeneğine yerleştirilen deplasman ölçer

Yapılan eğilme testlerinde numune olarak kullanılan GFRP kutu profil malzemenin yalnız olarak, beton ile birlikte, beton ve donatı ile birlikte, farklı boyutlarda içerisi boşluklu beton halinde, içerisi köpük malzeme ile doldurulmuş halde ve dış kısmının karbon elyaf ile sarılarak incelenmesi yapılmıştır.

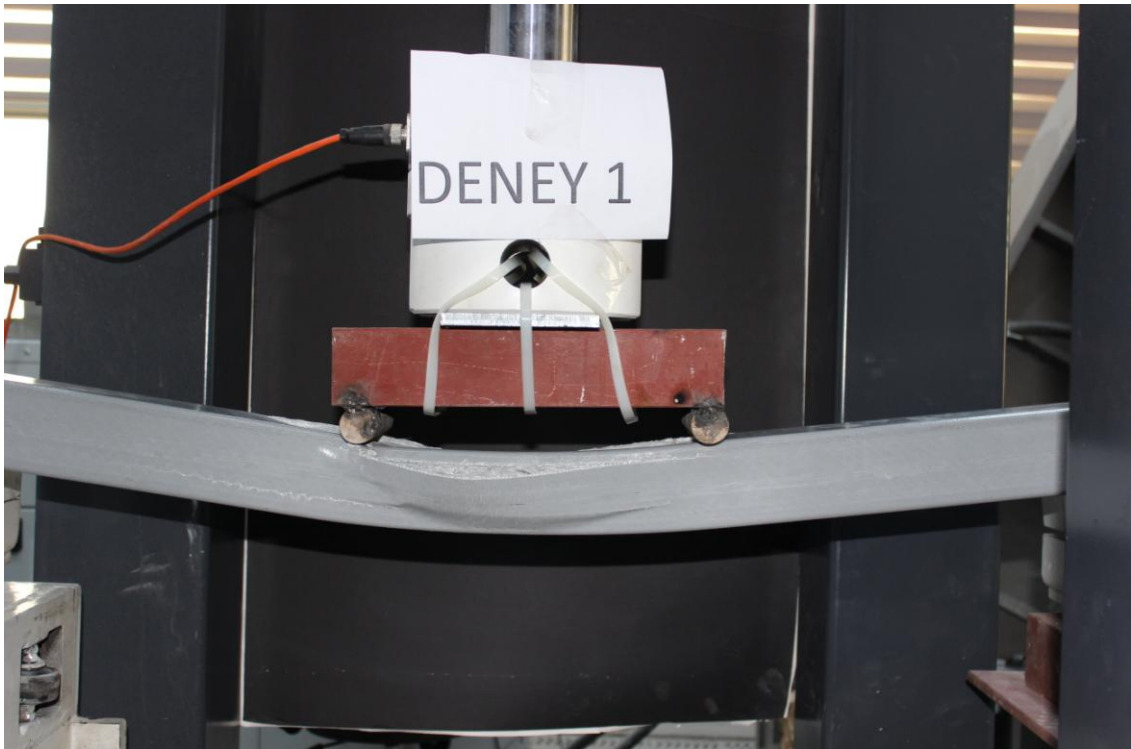
3.2.2.1 Boş GFRP malzemenin yalnız halde eğilme deneyinin incelenmesi

Laboratuvar ortamında hazır halde bulunan içi boş GFRP numune deney düzeneğine yerleştirilerek malzemenin yalnız halde eğilme testi incelenmiştir (Şekil 3.12). Numuneye yükleme yapılmaya başlamış ve deney esnasında 15 kN yükleme

yapıldığı durumunda numuneden ses gelmeye başladığı görülmüş 25 kN yükleme esnasında ise numunenin üst taraftan ayrıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. İçerişi boş GFRP malzeme şeması

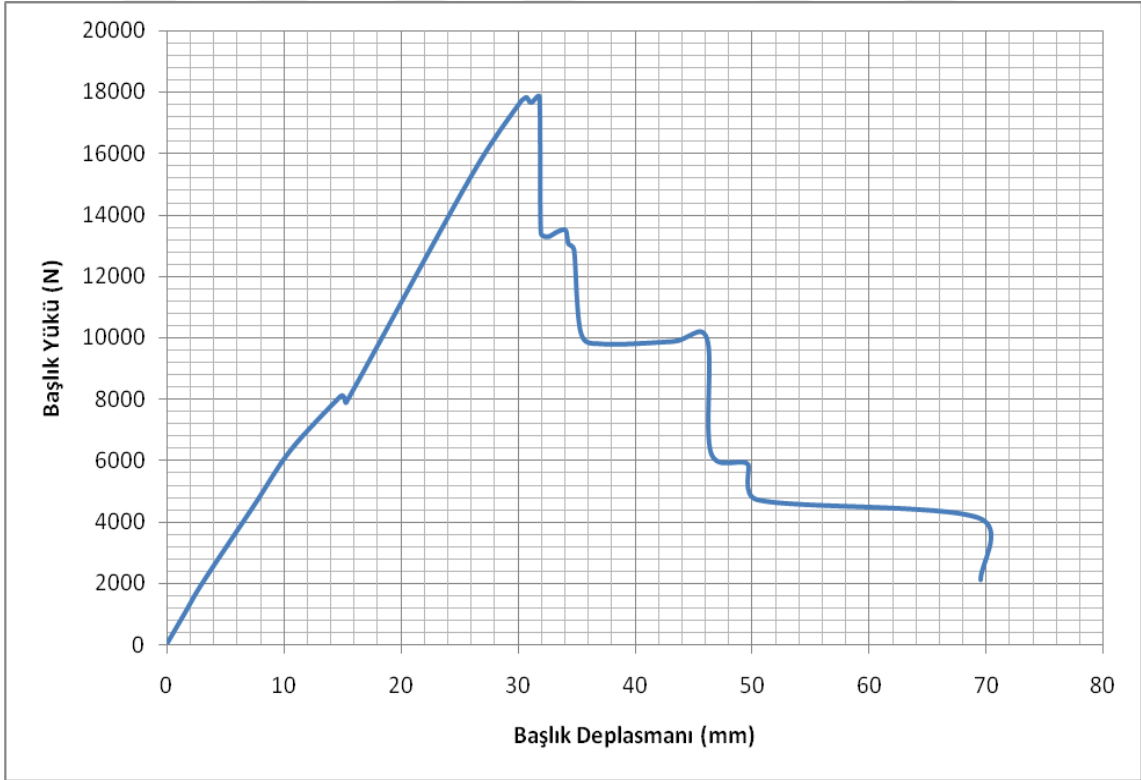


Şekil 3.13. İçerişi boş GFRP malzemenin eğilme deneyi sonrası üst bölgeden yırtılması

Şekil 3.14'de eğilme sonrasında üst bölgeden yırtılan içi boş GFRP numunenin son hali, Şekil 3.15'de içi boş olarak seçilmiş GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 3.14. Üst bölgeden yırtılan içerisi boş GFRP numune



Şekil 3.15. İçerisi boş 1 nolu GFRP numunenin deney grafiğı

3.2.2.2 İçerisi köpükle sıkıştırılmış GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

Yapılan 2 nolu deneyde laboratuvar ortamında iki ucundan ahşap malzeme ile kapatılarak numunenin mesnet bölgesinden 8 mm çapında delik açılarak köpük doldurulacak şekilde matkap ile GFRP malzeme delinmiş ve sıkıştırma köpük ile içerisi doldurulmuş olan GFRP malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir. Deney için polireten köpük kullanılmıştır (şekil 3.16). Deneye ait kesit şekli şekil 3.17’de verilmiştir.



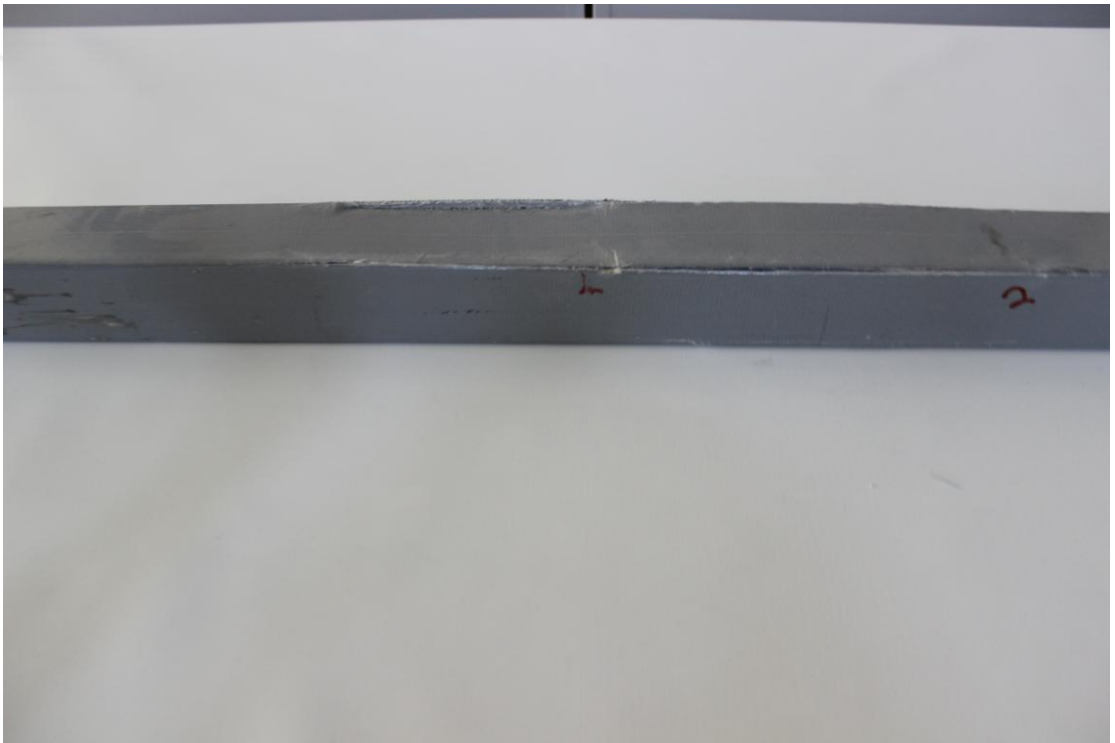
şekil 3.16. Deney için kullanılan sıkıştırılmış köpük

Deney düzeneğine yerleştirilerek yükleme yapılmaya başlanmış olan GFRP malzeme ilk deplasmanı 0,7 mm 1 kN yük altında yapmıştır. 14,5 kN yükleme yapıldığı esnada basma noktalarında ve kenar köşe noktalarında çatlak oluşmuştur. Deplasmanın 18,5 mm ulaştığı anda yük 18 kN olarak görülmüş ve azalmaya başlamıştır. Yük azalırken çatlaklar ilerlemeye devam etmiştir. Yük 7,5 kN iken deplasman 23 mm

olmuş iki mesnet arasında açılmalar meydana gelmiştir. Aynı zamanda arka yüzeyde de çatlaklar oluşmuş ve iç noktaya doğru yönelmiştir. Yük 3,9 kN olduğunda deplasman 47 mm olmuş ve malzemenin üst tabakası içe doğru yırtılmıştır (Şekil 3.18).

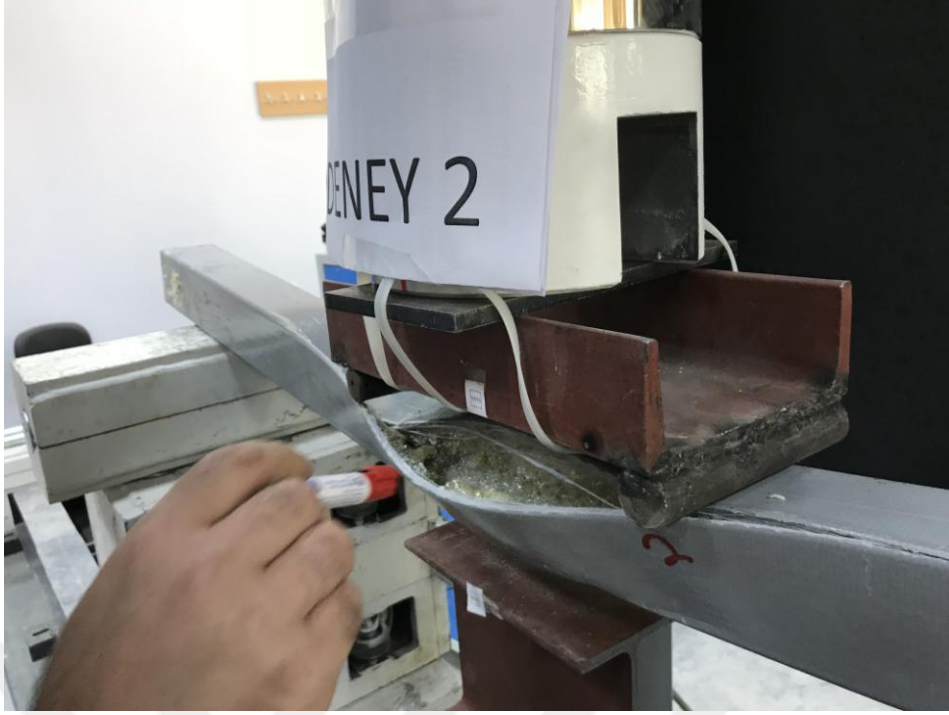


Şekil 3.17. İçerisi köpük ile sıkıştırılmış GFRP malzeme şeması

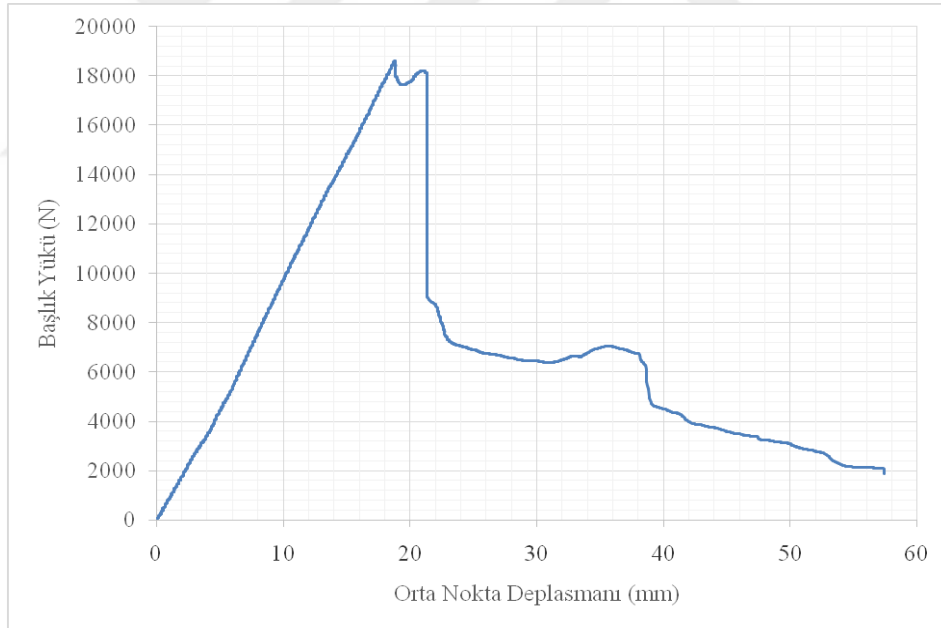


Şekil 3.18. İçerisi köpük ile sıkıştırılmış GFRP malzemenin eğilme deneyi sonrası üst bölgeden yırtılması

İçerisi köpük ile doldurulan GFRP numunenin yük-şekil değiştirme grafiği incelendiğinde yalın haldeki numuneye oranla maksimum yükün az da olsa arttığı incelenmiştir. Yalın halde maksimum eğilme yükü 17 kN iken köpük ile sıkıştırılmış halde maksimum eğilme yükü 18 kN olarak görülmüştür. Şekil 3.19'da iki ucu ahşap malzeme ile kapatılarak içerisi köpük ile doldurulan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasındaki üst bölgeden açılma halini, şekil 3.20'de ise numunenin eğilme deneyi sonrasındaki elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 3.19. Üst bölgenin yırtılması



Şekil 3.20. İçerisi köpikle sıkıştırılmış 2 nolu GFRP numunenin deney grafiği

3.2.2.3 İçerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

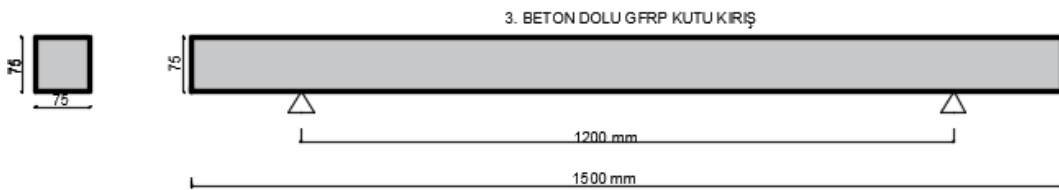
Yapılan 3 nolu deneyde laboratuvar ortamında içerisi beton harc ile doldurulan GFRP profil malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir. Akıcı kıvamda hazırlanan harc

bir huni yardımı ile GFRP numunenin içerisine yerleştirilmiştir. Bu işleme başlamadan önce GFRP numunenin bir ucu ahşap malzeme ile kapatılmıştır (Şekil 3.21). Deneye ait kesit şekli Şekil 3.22’de verilmiştir.

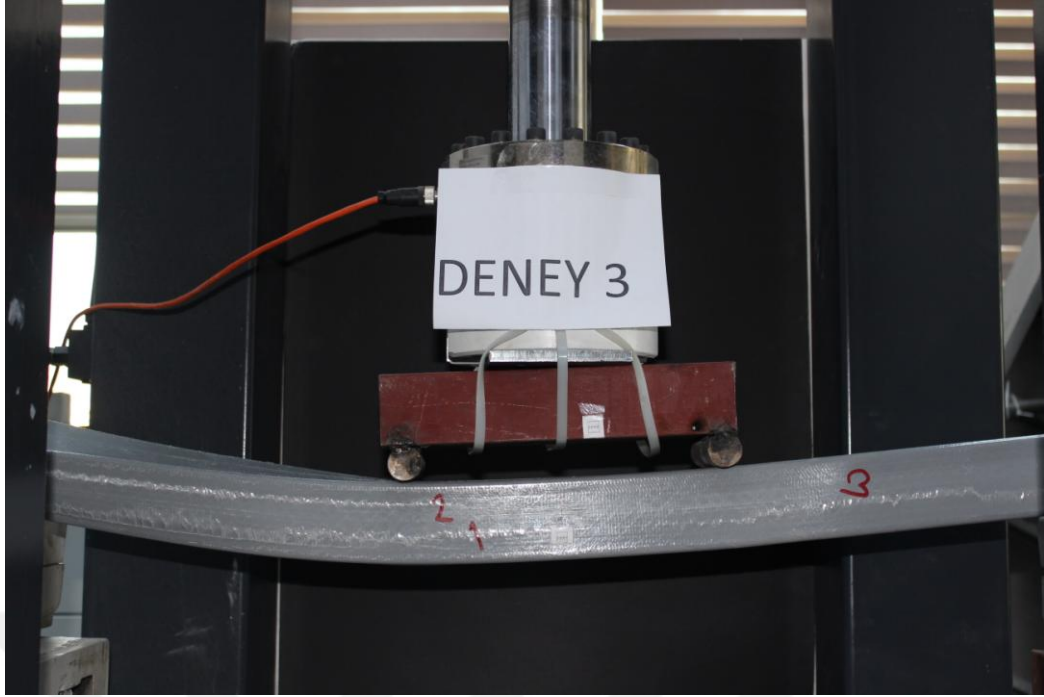


Şekil 3.21. GFRP malzemenin uç kısımların ahşap malzeme ile kapatılması

Deney düzeneğine yerleştirilerek eğilme testi başlatılan malzemede 6 kN yükleme anında numunenin orta noktasında elyaf doğrultusunda 2 adet kılcal çatlak oluştuğu gözlenmiştir. Sol taraftaki çatlak olan yerden numune köşe noktadan yarılmıştır. Sağ tarafta ise orta bölgede elyaf doğrultusunda tek çatlağın oluştuğu gözlenmiştir. Aynı zamanda arka yüzeyde de iki adet çatlağın oluştuğu gözlenmiştir. 1 ve 2 nolu çatlaklarda elyaf doğrultusunda eğilmenin etkisi ile tabaka içi kayma gözlenmiştir (Şekil 3.23). Sonuç hasarı deplasmanın maksimum noktaya ulaştığı anda numunenin üst köşe noktasında yarıma hasarı gerçekleşmiştir. Numunenin alt ve üst köşe kısımlarında herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Bunun sebebi alt ve üst kısımlarda burkulmanın oluşmamasıdır.

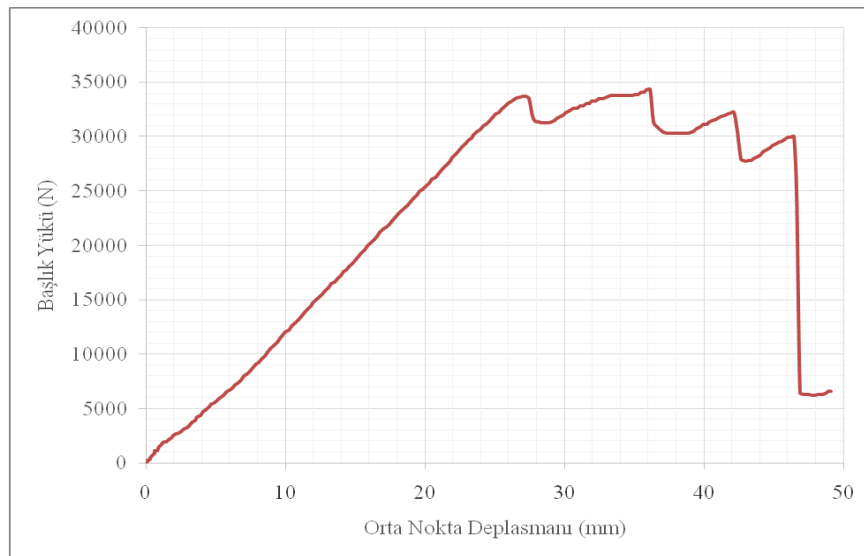


Şekil 3.22. İçerisi betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması



Şekil 3.23. İçerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı

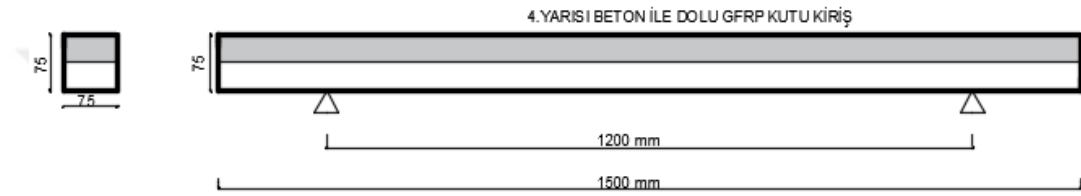
İçerisi tamamen beton ile doldurulan GFRP numunenin yük-şekil değiştirme grafiği incelendiğinde GFRP numunenin yalın haline göre performans artışının olduğu gözlenmiştir. GFRP numunenin yalın haline göre kıyaslama yapıldığında eğilme yükünde % 94 oranında artış olduğu görülmüştür. Şekil 3.24’de iki ucu ahşap malzeme ile kapatılarak içerisi beton ile doldurulan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 3.24. İçerisi beton ile doldurulmuş 3 nolu GFRP numunenin deney grafiği

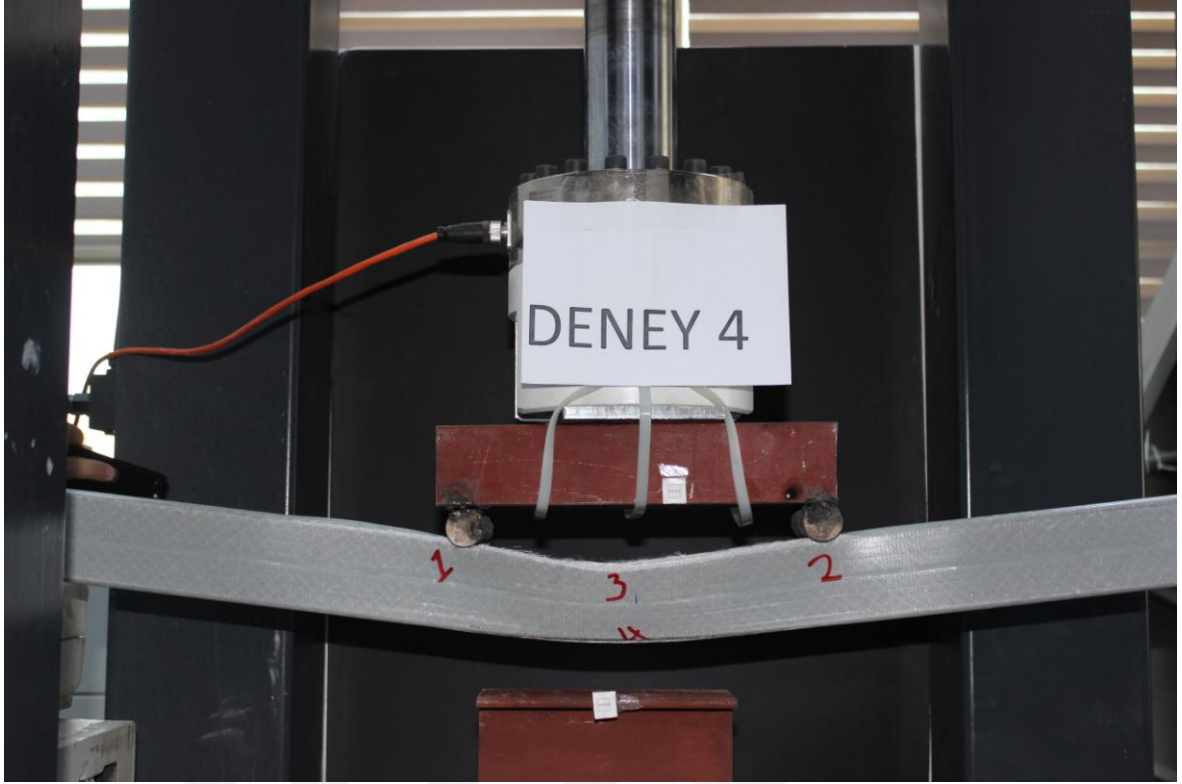
3.2.2.4 Yarısı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

Yapılan 4 nolu deneyde yarısı beton harc ile doldurulmuş olan GFRP profil malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir. GFRP numunenin yarısına GFRP ölçülerinde ahşap malzeme yerleştirilmiş ve sonrasında huni yardımı ile beton harc numuneye dökülmüştür. Harcın donmasından sonra ahşap numunenin çıkartılmasının zor olacağından dolayı bir süre harcın prizini alması beklenip sonrasında ahşap malzeme numuneden çıkartılmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Yarısı betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması

Deney düzeneğine yerleştirilerek eğilme testi başlatılmış olan malzemede 18 kN yükleme esnasında deplasman 16,5 mm olmuş ve çatlaklar başlamıştır. Yükleme 22 kN olduğunda üst bölgede ikinci hasarlar meydana gelmiştir. Deney sonrasında numuneyi incelediğimizde 1 ve 2 nolu bölgede basınçtan dolayı ezilmeler meydana gelmiştir. 1 ve 2 nolu üst plaka içe doğru u biçiminde sehim yapmış olduğu görülmüştür. Çatlaklar 18 kN'da 1 nolu hasar bölgesinden başlayarak 2 nolu hasar bölgesine kadar ilerlemiştir. Yük 22 kN olduğu değerinde numunenin arka yüzeyinde 5 ve 6 nolu hasar bölgeleri köşe noktalarında ayrılmalar gerçekleşmiştir (Şekil 3.26). Sonuç hasarı oluşmasına rağmen yükleme yapılmasına devam edilmiştir. Yükleme ile beraber yan ve alt yüzeylerde elyaf doğrultusunda çatlamlar oluşmuştur. 3 nolu hasar bölgesi eğilmenin etkisi ile öne doğru açılmıştır. 4 nolu hasar bölgesi eğilmeden kaynaklı olarak elyaf doğrultusunda çatlamlar oluştuğu görülmüştür. Ayrıca oluşan hasarın yük noktaları arasında yoğunlaştığı incelenmiştir. Deney sonrası oluşan hasarlar Şekil 3.27'de görüldüğü gibi oluşmuştur.

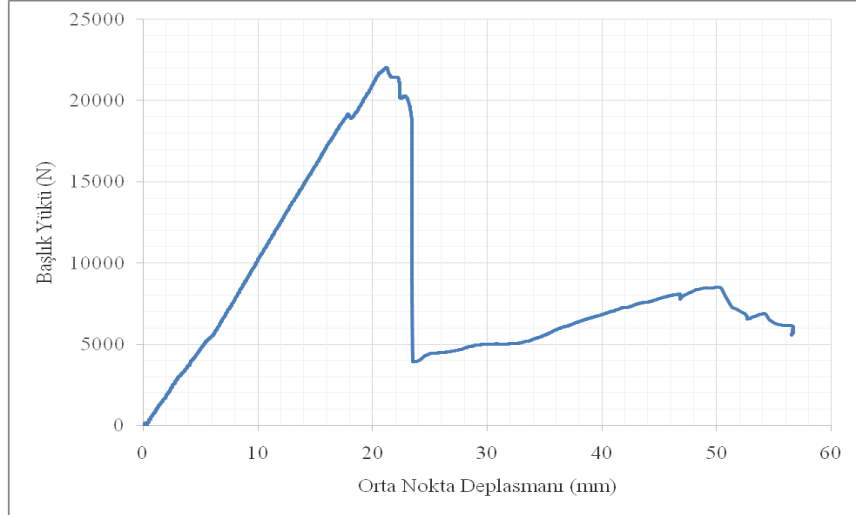


Şekil 3.26. Yarı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı



Şekil 3.27. Yarı beton ile doldurulmuş GFRP profil malzemede eğilme sonrası oluşan hasarlar

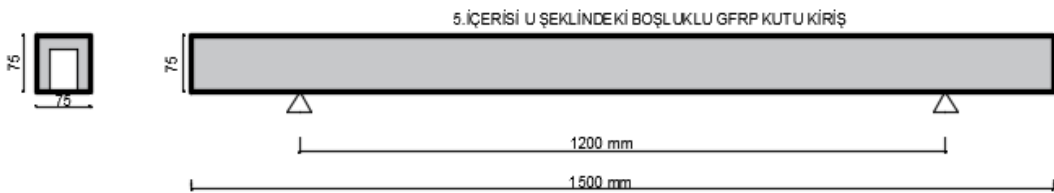
Yarı beton ile doldurulan GFRP numunenin yük-şekil değiştirme grafiği incelendiğinde içerisi tamamen beton dolu olan GFRP numuneye oranla maksimum yükte azalma olduğu görülmüştür. İçerisi tamamen beton dolu olan GFRP numunenin maksimum eğilme yükü 33 kN iken yarı beton ile dolu olan GFRP numunenin maksimum eğilme yükü 21 kN olarak görülmüştür. Şekil 3.28’de yarı beton ile doldurulan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



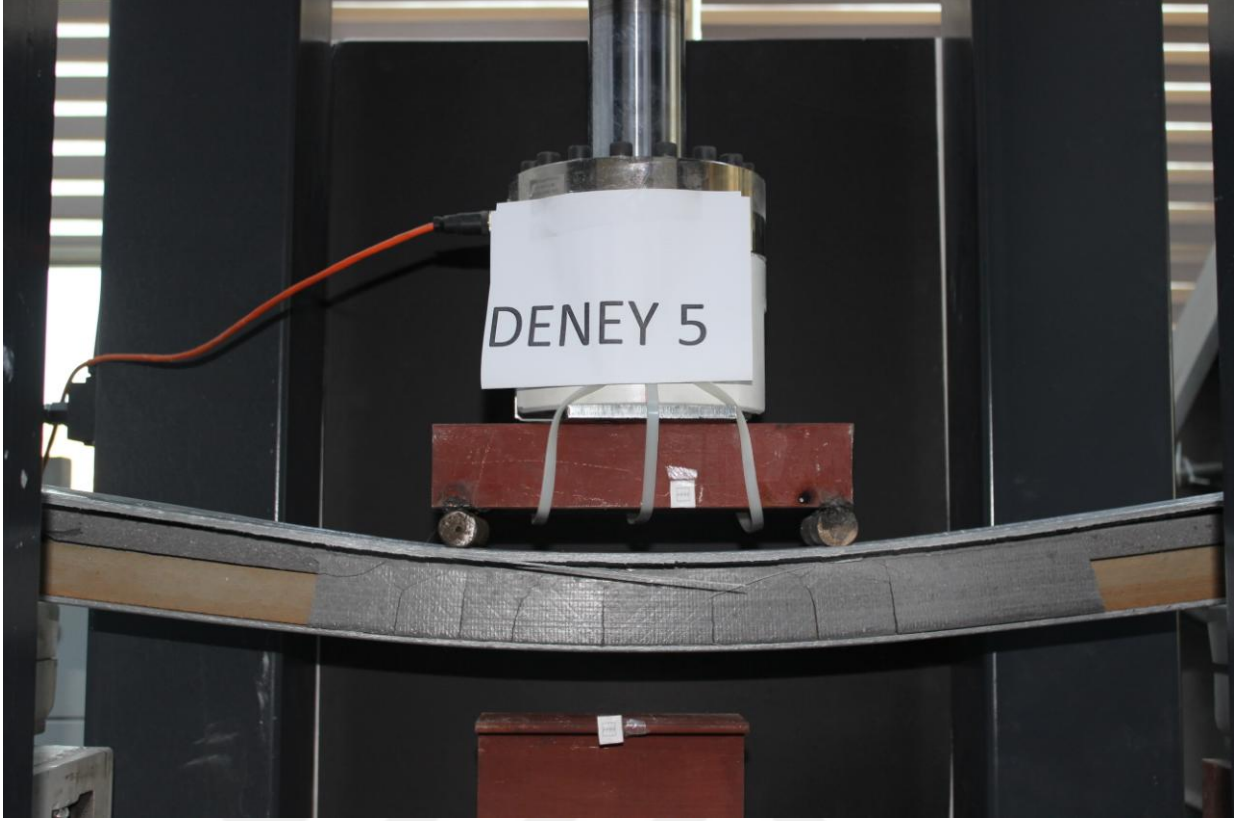
Şekil 3.28. Yarısay beton ile doldurulmuş 4 nolu GFRP numunenin deney grafiği

3.2.2.5 İçerisi U biçiminde boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

Yapılan 5 nolu deneyde içerisi U biçiminde boşluk bırakılarak beton harc ile doldurulmuş olan GFRP profil malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir. Deneye ait kesit şekli Şekil 3.29'da verilen numune deney düzeneğine yerleştirilerek eğilme testi başlatılmıştır. Malzemede 24 kn yükleme esnasında deplasman 18,1 mm olmuş ve numunenin genelinde çatlak sesi gelmeye başlamıştır. 26 kN yükleme esnasında numunenin alt köşede elyaf doğrultusunda çatlama gözlenmiştir. 28-32 kN aralığında alt kısımda başlayan çatlamanın devam ettiği görülmüştür. 34 kN'da çatlama boydan boya bütün numuneye yayılmıştır. Devamında numunenin yan yüzeyinde elyaf doğrultusunda çatlak gerçekleşmiştir. 30-34 kN aralığında aynı yüzeyde bir çatlak oluşmasıyla beraber arka yüzeyinde de boydan boya 2 çatlak noktanın oluştuğu gözlenmiştir. 34 kN yükleme esnasında yoğun çatlak oluşumu sebebiyle ilk çatlak oluştuğu köşeden yan yüzeyde 90° açılma şeklinde sonuç hasarı gözlenmiştir (Şekil 3.30, Şekil 3.31).



Şekil 3.29. İçerisi U biçiminde betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması

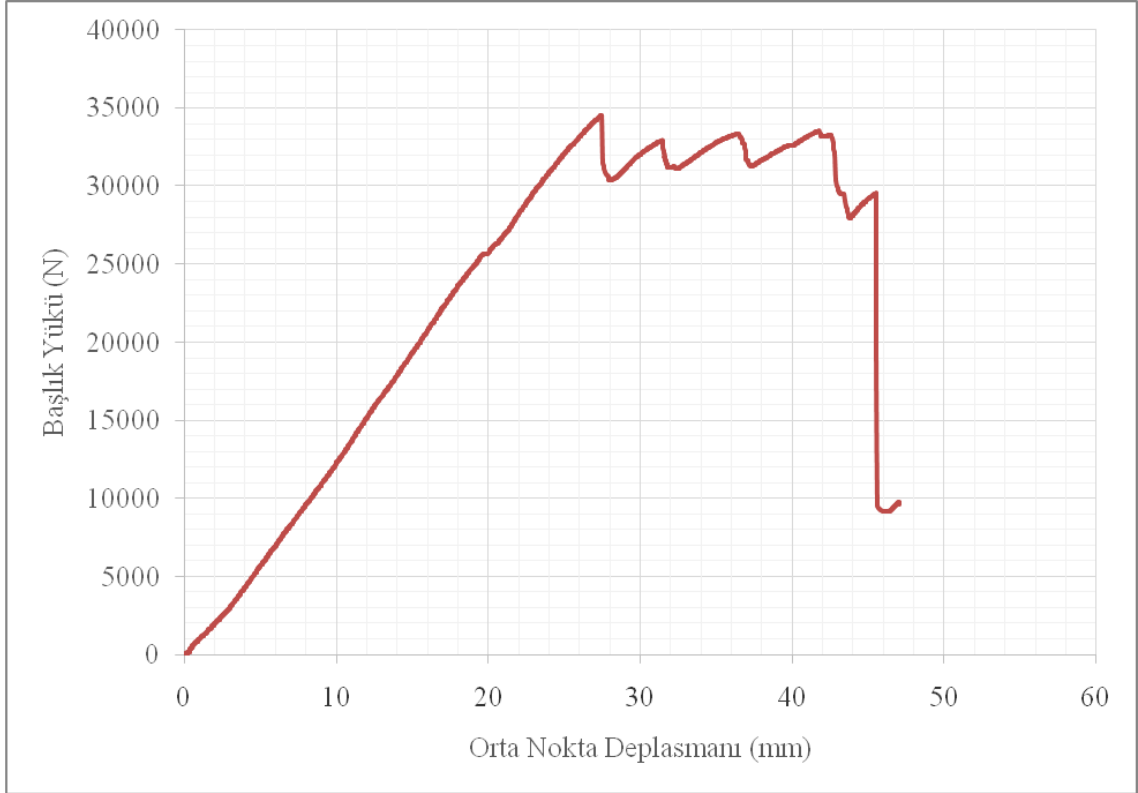


Şekil 3.30. İçerisi U şeklinde boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı



Şekil 3.31. İçerisi U şeklinde boşluklu betonla doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası oluşan çatlaklar

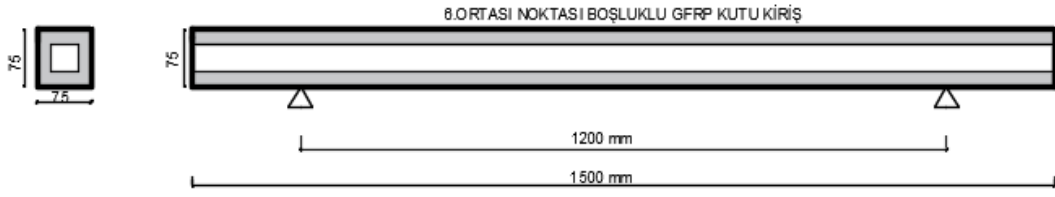
Şekil 3.32’de içerisi U şeklinde beton ile doldurulan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



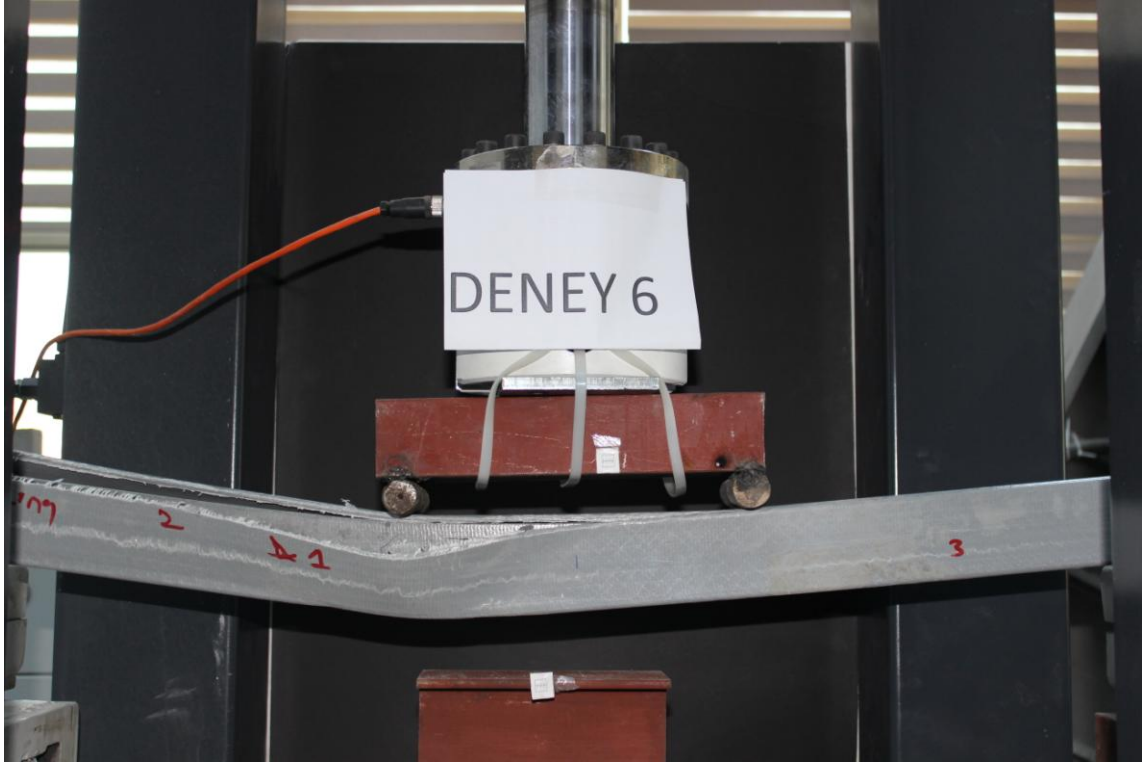
Şekil 3.32. İçerisi U şeklinde boşluklu beton ile doldurulmuş 5 nolu GFRP numunenin ön deney grafiği

3.2.2.6 Orta noktası boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

Yapılan 6 nolu deneyde laboratuvar ortamında içerisi kare biçiminde boşluk bırakılarak beton harc ile doldurulmuş olan GFRP profil malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir (Şekil 3.33). Deney düzeneğine yerleştirilerek eğilme testi başlatılmış olan malzemede 28 kn yükleme esnasında deplasman 17,4 mm olmuş ve numunenin genelinde çatlak sesi gelmeye başlamıştır. Yükleme 30 kN olduğu anda yan yüzeyde boydan 2 adet çatlak oluşmuştur. çatlak oluşmanın sonrasında yük 28 kN'a düşmüştür. Yük 30 kN olduğu anda numunenin arka yüzeyinde 2 adet çatlak meydana gelmiştir. Yük 32 kN olduğu anda ise numunenin köşe noktasında çatlak başlangıcı oluşmuştur. Yükleme 34 kN olduğu anda ise meydana gelen çatlak ilerlemeye devam etmiştir. Yüklemenin 33 kN olduğu esnada numunenin köşe noktasında oluşan çatlak sol taraftan boydan boya ilerleyip yarıлма şeklinde hasar gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 3.34). Oluşan hasar 1. mesnetten başlayarak 2. mesnete doğru ilerleyip numunenin sonuna kadar oluştuktan sonra ani yük düşüşü ile birlikte sonuç hasarı gerçekleşmiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.33. Orta noktası boşluklu betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması

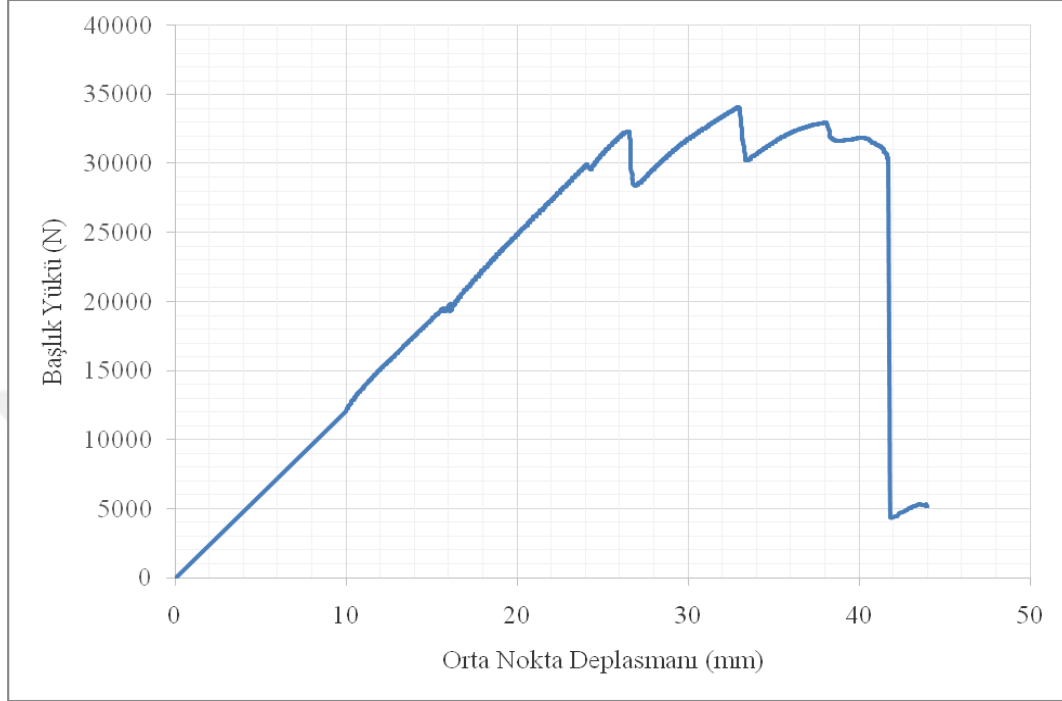


Şekil 3.34. Orta noktası boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı



Şekil 3.35. Orta noktası boşluklu beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası davranışı

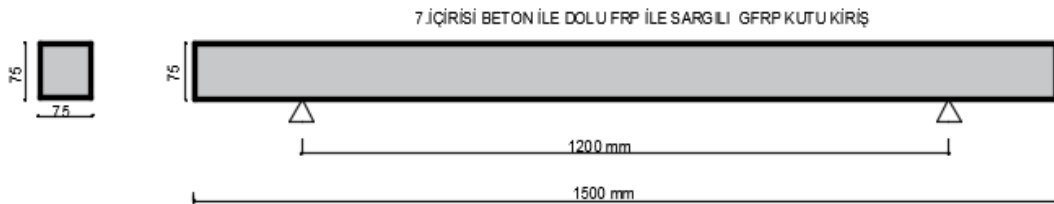
Şekil 3.36'da ortası kare şeklinde boşluklu beton ile doldurulan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



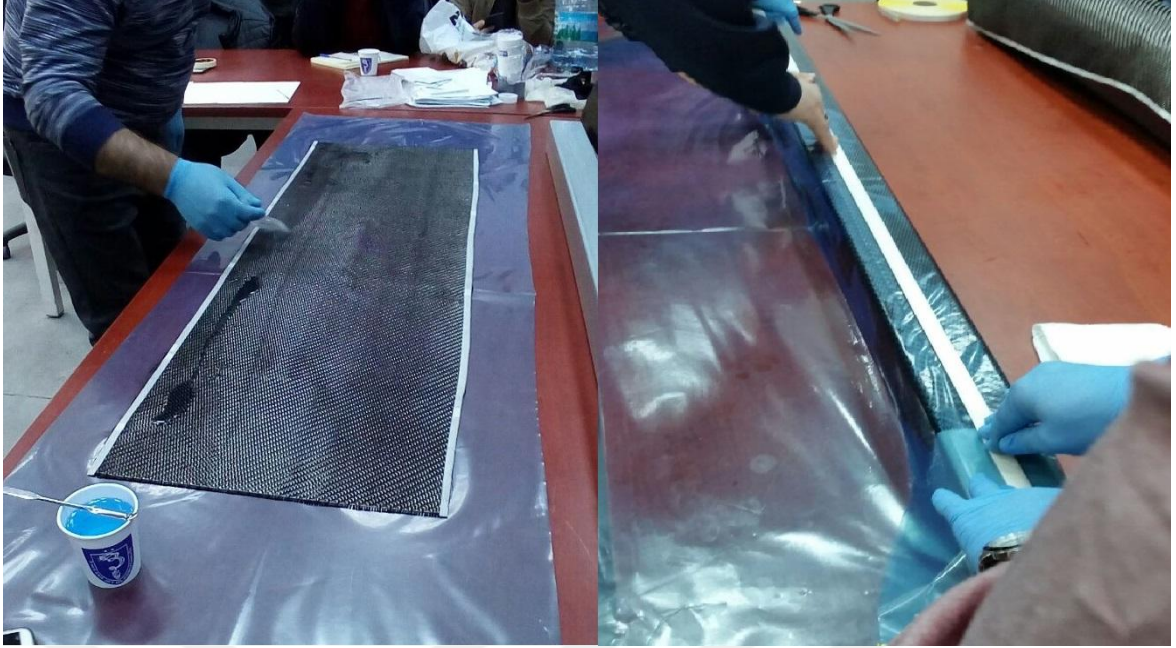
Şekil 3.36. Orta noktası kare boşluklu beton ile doldurulmuş 6 nolu GFRP numunenin deney grafiği

3.2.2.7 Dış kısmı karbon elyaf ile sargılı içerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

Yapılan 7 nolu deneyde laboratuvar ortamında dış kısmı 1 kat karbon elyaf malzeme ile sargılı içerisi beton harc ile doldurulmuş olan GFRP profil malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir (Şekil 3.37). GFRP profil 2 yönlü karbon elyaf ile epoksi yardımı ile tek sıra olarak sarılmıştır (Şekil 3.38). Sarılan profil vakumlanmış ve oda sıcaklığında kürlenmiştir. Karbon elyaf hacim oranı % 48'dir.

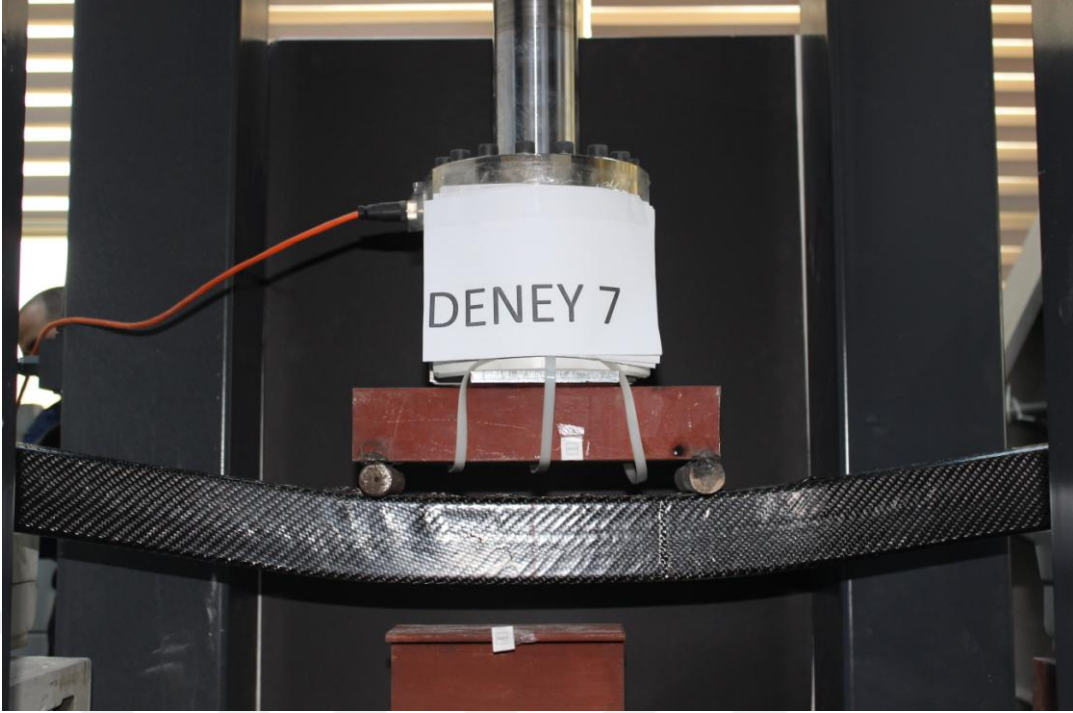


Şekil 3.37. Dış kısmı karbon elyaf ile sarılmış içerisi betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması



Şekil 3.38. GFRP numunenin karbon elyaf ile sarılması

Deney düzeneğine yerleştirilerek eğilme testi başlatılmış olan malzemede 13 kN yükleme esnasında deplasman 8,6 mm olmuş ve numunede matris çatlakları oluşmuştur. Yükleme 16 kN olduğu anda matris çatlaklarının devam ettiği görülmüştür. Yükleme 30 kN olduğu anda numuneden ses gelmiştir ve ezilme çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. Yükleme 32 kN olduğu esnada üst tabakada ayrışma olduğu gözlenmiş iki mesnet arasında ayrışmalar görülmüştür. Yüklemenin 38 kN olduğu anda yan yüzey tabakalarının ayrıldığı incelenmiştir (Şekil 3.39). Yüklemenin 42 kN olduğunda numuneden ses gelmiş ve deformasyon olduğu gözlenmiştir. Yükleme 44 kN olduğu anda tabaka ayrışmalarının yoğun bir şekilde devam ettiği gözlenmiştir. 47 kN yükleme esnasında ses artmış yükte düşüş gerçekleşmiş ve mesnet noktalarının ön ve arka yüzeylerinde kabarmaların olduğu görülmüştür. Yük 46,1 kN'a düşmüş çatlaklar mesnet dışına doğru ilerlemiştir. 50 kN yükleme esnasında tabaka ayrılmaları gözlenmiş ayrılmalar numunenin uç kısımlarına kadar gelmiştir. Yükleme 49,5 kN olduğu esnada yan yüzeylerde oluşan çatlak kenarlara ulaşmıştır. Yükleme 51,8 kN'a ulaştığında ses fazlasıyla artmış yükte azalma meydana gelmiştir. Mesnetin alt kısmında kopma meydana gelmiştir (Şekil 3.40).



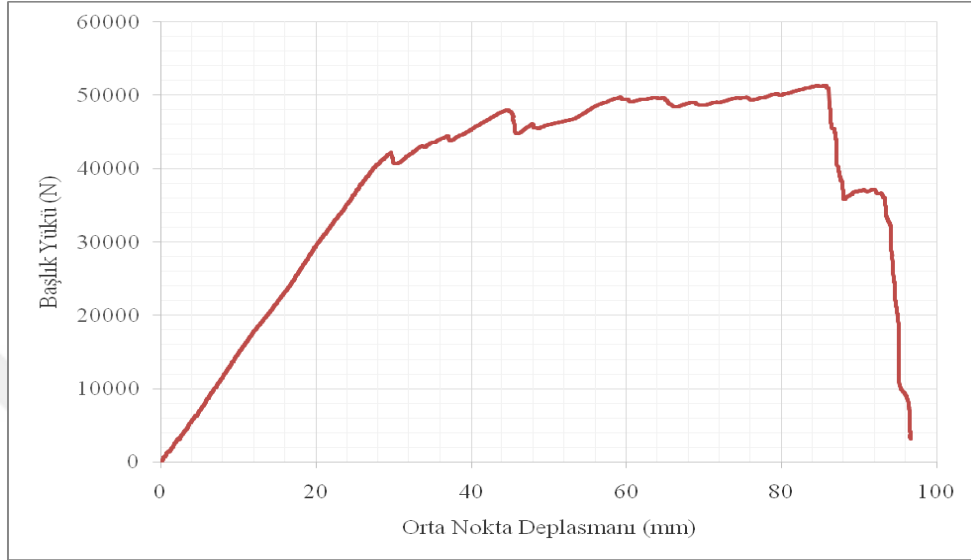
Şekil 3.39. Dış kısmı karbon elyaf ile sarılmış içerisi beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı



Şekil 3.40. Dış karbon elyaf ile sarılmış içerisi betonla doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası davranışı

GFRP numunenin karbon elyaf ile sarılmasıyla maksimum eğilme yükü 51 kN olarak gözlenmiştir. Karbon elyafın taşıma kapasitesine olumlu etkisinin olduğu

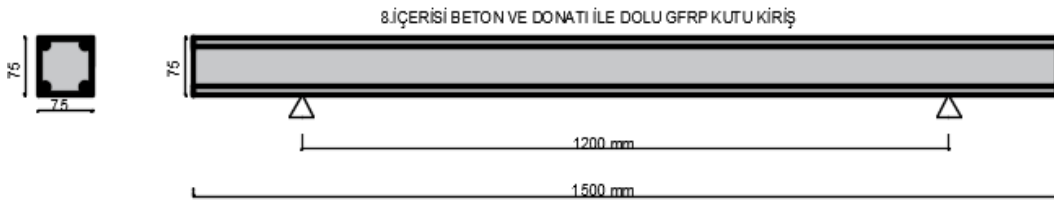
gözlenmiş içerisi beton dolu olan GFRP numunelere oranla maksimum eğilme yükünün 1,5 kat arttığı görülmüştür. Şekil 3.41’de içerisi beton ile doldurulan dışı elyaf keçe ile sarılan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 3.41. İçerisi beton ile doldurulmuş dış kısmı karbon elyaf ile sargılı 7 nolu GFRP numunenin deney grafiği

3.2.2.8 İçerisi donatılı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme deneyinin incelenmesi

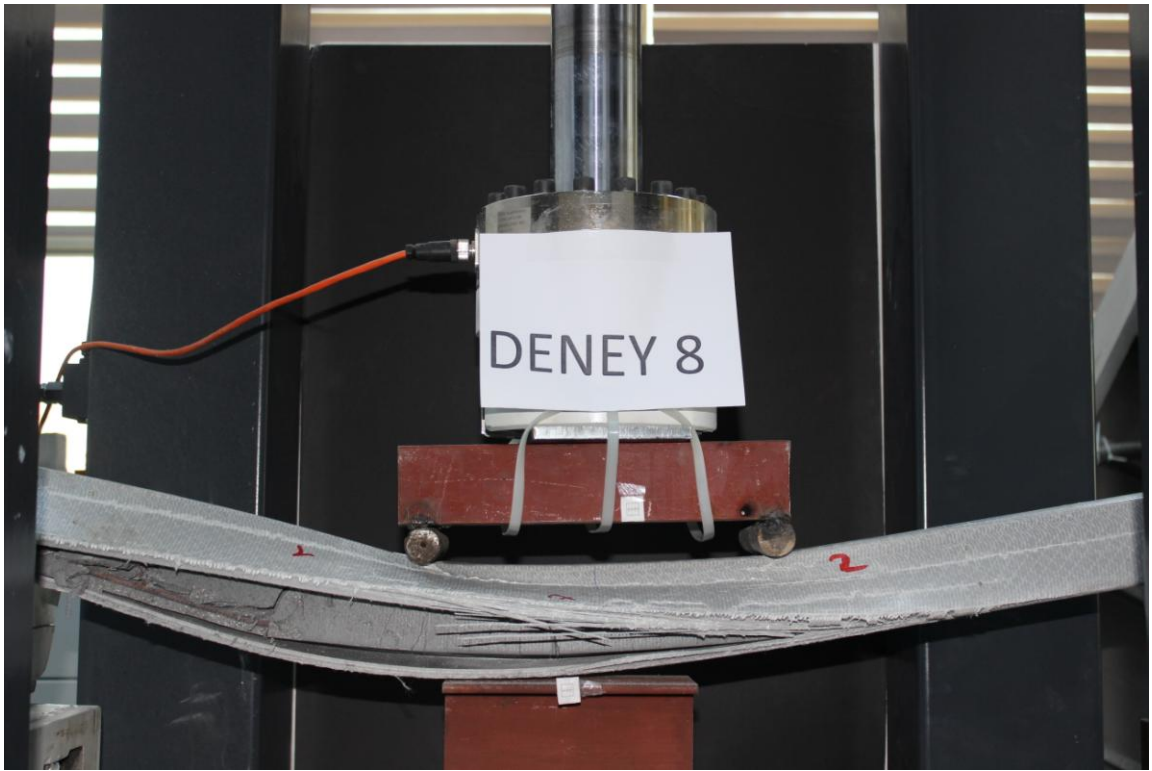
Yapılan 8 nolu deneyde içerisi donatılı beton harc ile doldurulan olan GFRP profil malzemenin eğilme davranışı incelenmiştir (Şekil 3.42). Laboratuvar ortamında donatılar etriye ile sarılarak GFRP numune içerisine yerleştirilmiş daha sonrasında numune içerisine beton harc dökülerek prizini alması beklenmiştir.



Şekil 3.42. İçerisi donatılı betonla doldurulmuş GFRP malzeme şeması

Deney düzeneğine yerleştirilerek eğilme testi başlatılmış olan malzemede 28 kN yükleme esnasında deplasman 18,1 mm olmuş ve numunede betonda eğilmeli kesme

kırılması oluşmuştur. 28,54 kN yükleme anında ön yüzey köşe noktasında oluşan çatlak boydan boya yayılarak ön yüzey alt yüzeyden ayrılmış ve malzemede sonuç hasarı oluşmuştur. Yükleme 30,5 kN olduğu anda arka yüzeyde orta noktada oluşan aksenal çatlak yarıлма şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 3.43). Yükleme 25,8 kN olduğu anda ön yüzeyin yaprak şeklinde ayrıldığı gözlenmiştir. Ve ayrılma esnasında alt köşe noktasında elyaf kopmaları gerçekleşmiştir. Yükleme 34 kN olduğu anda arka bölgede boydan boya çatlak oluşmuş ve çatlağın yüklemeye beraber ilerlediği incelenmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde çatlakların ilerlediği köşe noktalarından ayrılmak üzere olduğu incelenmiştir (Şekil 3.44).

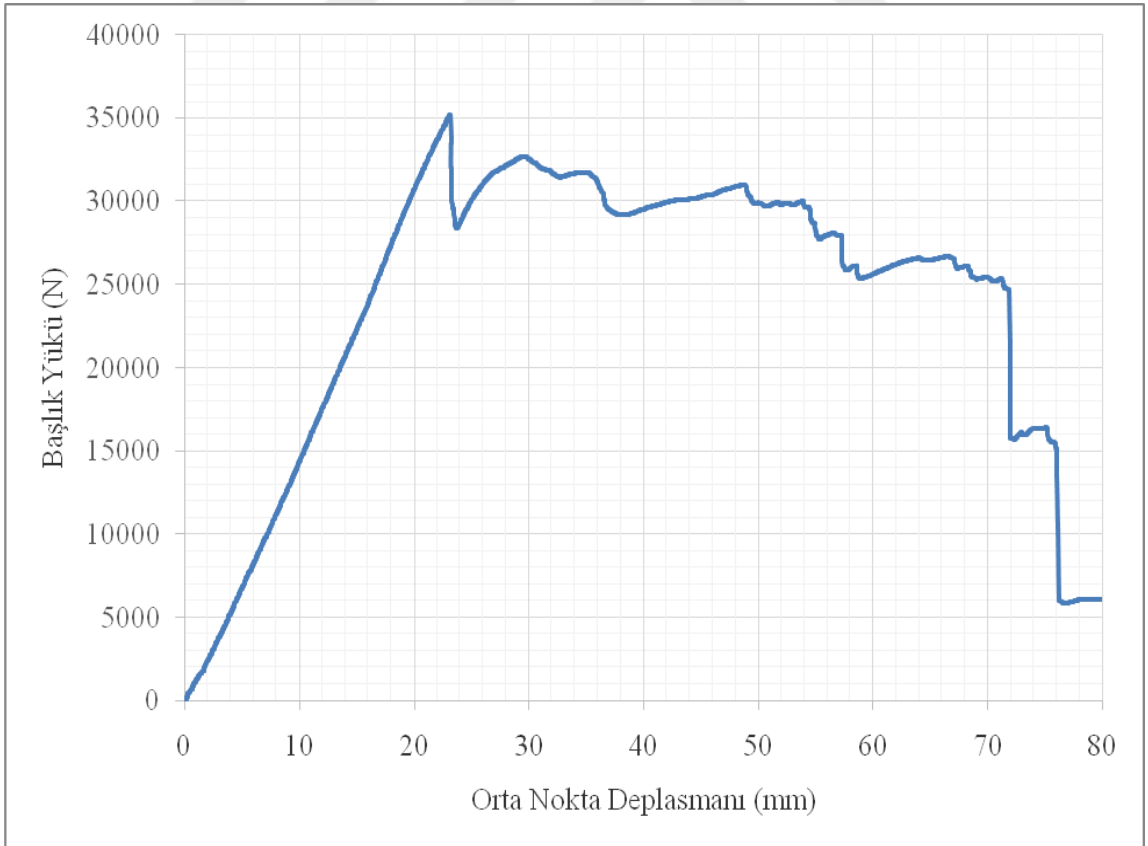


Şekil 3.43. İçerisi donatılı beton ile doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme davranışı

GFRP numunenin içerisinde donatılı beton ile doldurulması sonucunda maksimum eğilme yükü 35 kN olarak görülmüştür. Şekil 3.45’de içerisi donatılı beton ile doldurulan GFRP numunenin eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 3.44. İçerisi donatılı betonla doldurulmuş GFRP malzemenin eğilme sonrası davranışı



Şekil 3.45. İçerisi donatılı beton ile doldurulmuş 8 nolu GFRP numunenin deney grafiği

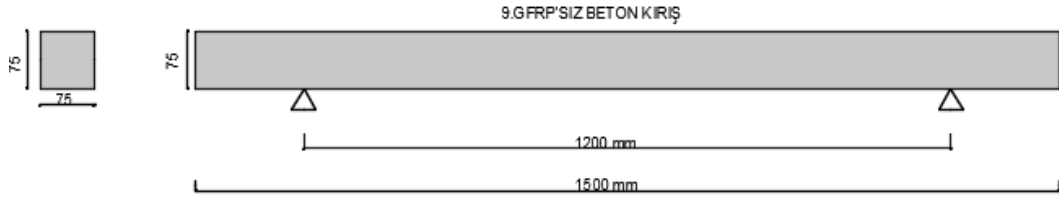
3.2.2.9 Betonun yalın halde eğilme deneyinin incelenmesi

Laboratuvar ortamında GFRP numune ebatlarında hazırlanan ahşap kalıbın iç yüzeyi kalıp yağı ile yağlanmıştır. Sonrasında hazırlanan beton harc kalıp içerisine huni yardımı ile dökülerek betonun donması beklenmiştir. Beton numune kalıptan alındıktan sonra yüzeyine beyaz boya fırça yardımı ile sürülerek oluşacak kılcal çatlakların daha iyi gözlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.46). Deneye ait kesit şekli şekil 3.47’de verilmiştir.

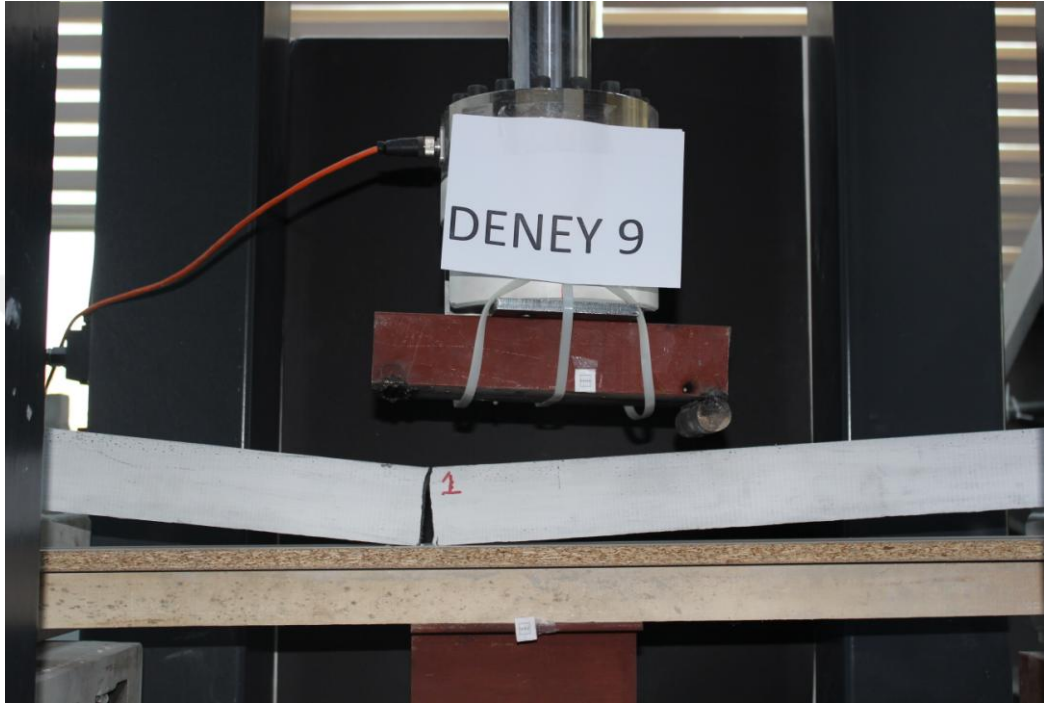


Şekil 3.46. Betonun ahşap kalıba dökülmesi

Sonrasında numune deney düzeneğine yerleştirilerek 9 nolu deneyde betonun yalın halde eğilme testi incelenmiştir (Şekil 3.47). Deney esnasında 0,2 kN yükleme yapıldığı durumda çatlama meydana gelmiş ve numune tek noktadan ikiye ayrılmıştır (Şekil 3.48).



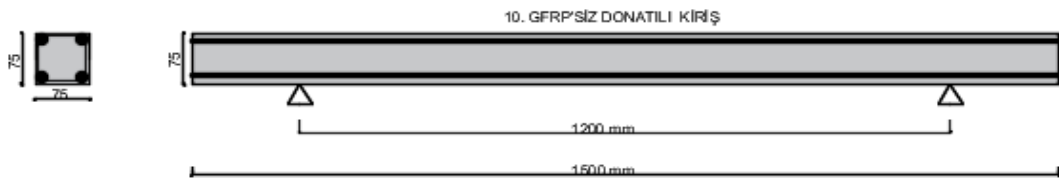
Şekil 3.47. Yalın haldeki betonun şeması



Şekil 3.48. Yalın halde beton numunenin eğilme davranışı

3.2.2.10 Donatılı betonun yalın halde eğilme deneyinin incelenmesi

Yapılan 10 nolu deneyde laboratuvar ortamında hazırlanan donatılı betonun yalın halde eğilme testi incelenmiştir (Şekil 3.49). Beton numune yüzeyine beyaz boya fırça yardımı ile sürülerek oluşacak kılcal çatlakların daha iyi gözlenmesi amaçlanmıştır.

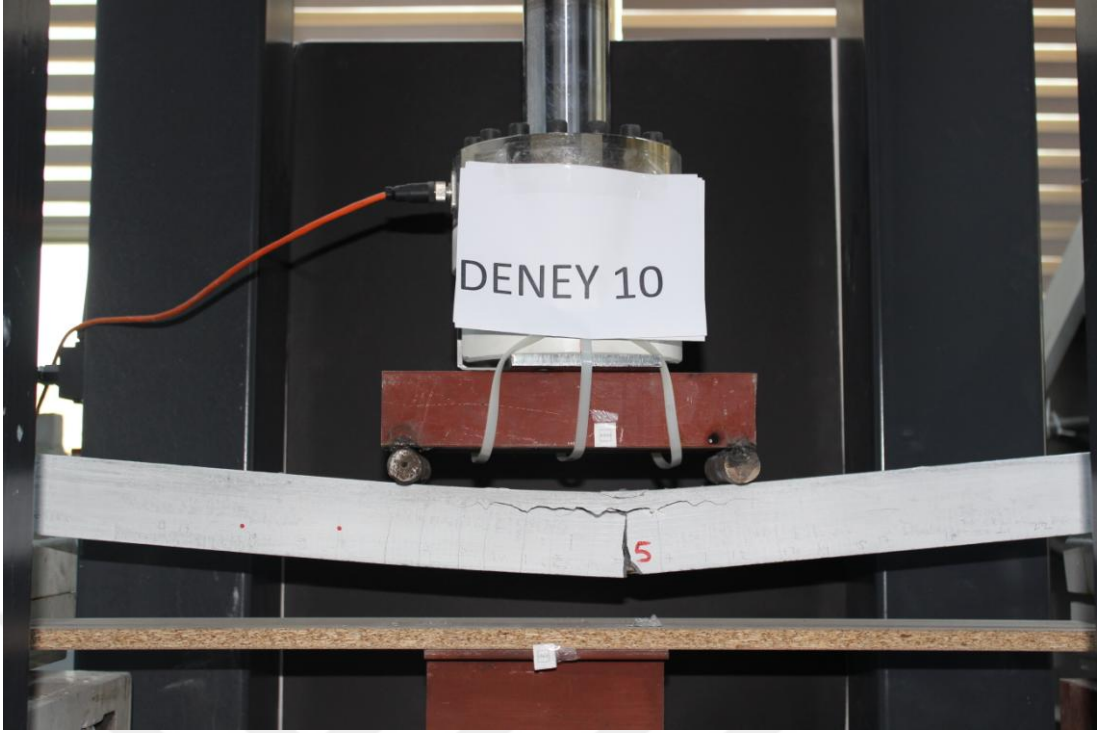


Şekil 3.49. Yalın haldeki donatılı betonun şeması

Deney esnasında 1,3 kN yükleme yapıldığı durumunda kılcal çatlakların oluştuğu gözlenmiş, 1,8 kN yükleme esnasında ise ikinci kılcal çatlaklar görülmüştür. 2 kN yükleme yapıldığı anda yaklaşık 5 adet kılcal çatlak gözlenmiştir. 4,5 kN yükleme esnasında ise toplamda 19 adet kılcal çatlak gözlenmiştir. Bu yükleme anında 2 mm deplasman gözlenmiş ve çatlaklar açılmıştır (Şekil 3.50). 5,4 kn yükleme esnasında çatlaklar açılmış ilerlediği gözlenmiş 15 nolu olarak belirttiğimiz çatlak ciddi şekilde açılmıştır. 6,4 kN yükleme anında 23 adet çatlak oluştuğu gözlenmiş olup 6,6 kN yükleme anında 5 nolu çatlak ucu ikiye ayrılmıştır. 6,2 yükleme esnasında yükün azaldığı gözlenmiş diğer çatlakların genişlediği görülmüştür. 3,9 kN yükleme esnasında donatıda kopmanın gerçekleştiği denge altı donatı olduğunun göstergesi olarak çekme çatlağı donatının kopması şeklinde gerçekleşmiştir. Ayrıca betonun basınç bölgesinde basınç eğilmesi gerçekleşmiştir. 6,4 kN yükleme esnasında 5 nolu çatlak ilerleyip genişlemiştir. 5 nolu çatlak bölgesinde donatı kopmasıyla birlikte çatlak ucundaki çatallaşan çatlaklar basınç donatısı hizasında genişleyerek ilerlediği görülmüştür. Diğer çatlak noktalarında birleşme gözlenmiştir. 2-12 nolu çatlaklara kadar birleşme gerçekleşmiştir (Şekil 3.51). Deney donatının kopması ile sona ermiştir.

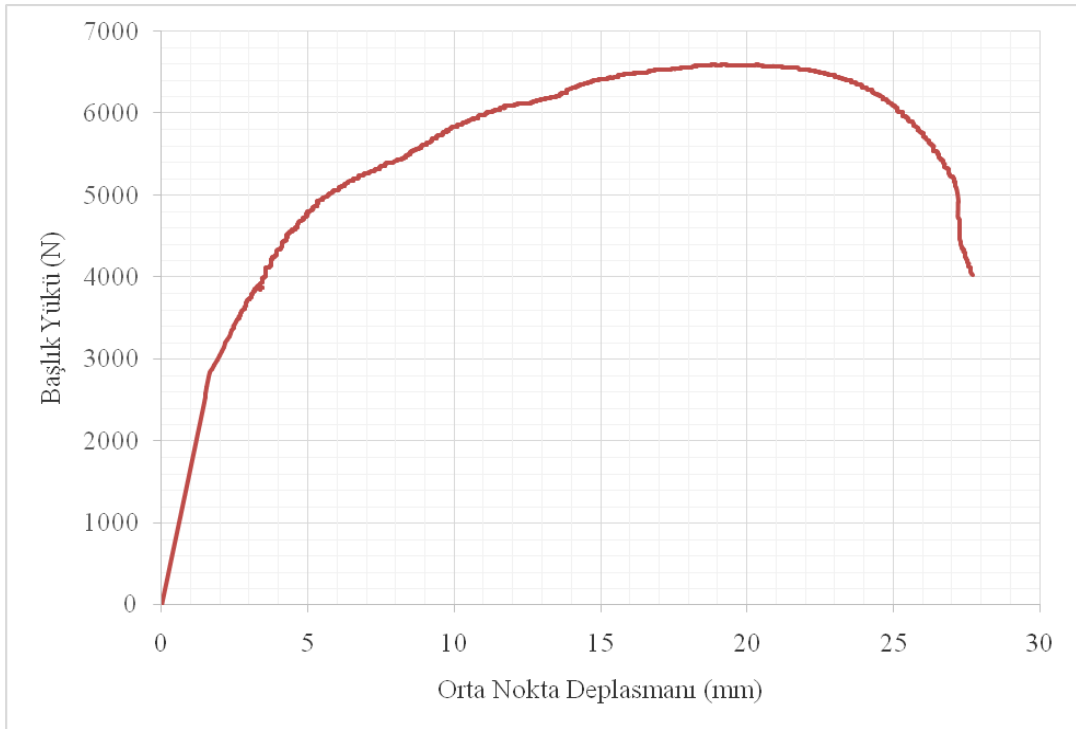


Şekil 3.50. Yalın haldeki donatılı betonun şeması



Şekil 3.51. Donatılı betonun yalın halde eğilme davranışı

Şekil 3.52’de donatılı beton numunenin yalın halde eğilme deneyi sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiği görülmektedir.



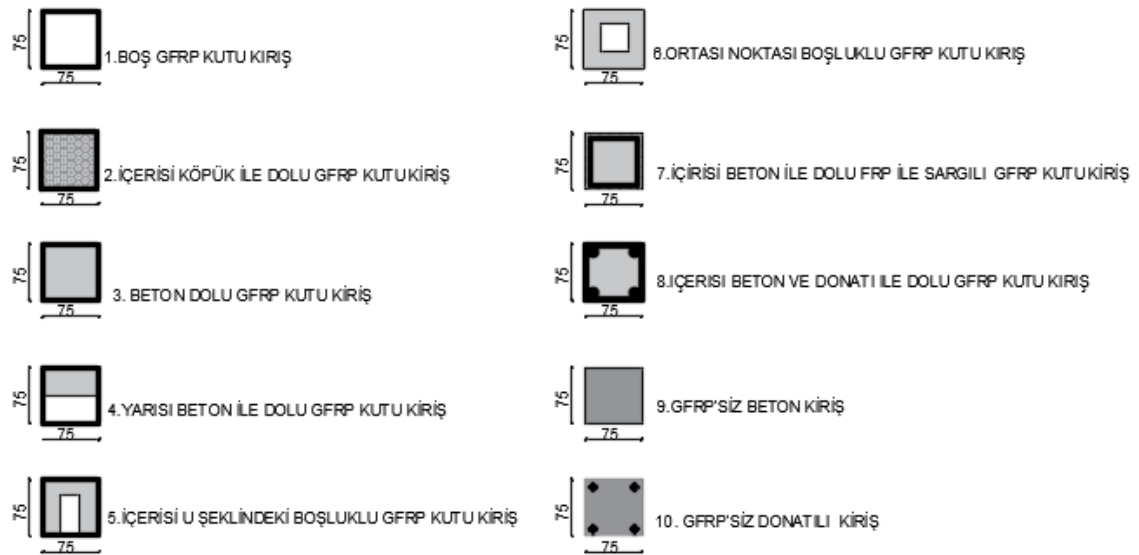
Şekil 3.52. Donatılı betonun yalın halde 9 nolu numunenin deney grafiği

4. DENEYSSEL BULGULARI DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilip, elde edilen değerlerin grafiksel olarak sonuçları ifade edilmiştir. Eldeki sonuçlara bakarak malzemenin farklı kombinasyonlardaki deney eğilme davranışları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca malzemenin kiriş eğilme davranışı ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek malzemenin ekonomik maliyet analizi ve kullanılabilirliği karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1. Eğilme Deneyi Sonuçları

Yapılan eğilme deneylerinde farklı kombinasyonlarda kullanılan aynı boyut ve kalınlığa sahip GFRP profil malzemelerin ve bir adet GFRP malzeme ölçülerinde donatılı ve donatısız beton numunenin testi yapılmıştır. 75x75 mm kesitli 7 mm et kalınlığına sahip 1500 mm uzunluğundaki GFRP malzemenin iç boşluk oranları ve içerisindeki malzeme çeşidine göre eğilme testleri yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Eğilme deneyi yapılan GFRP profil malzemelerin kesit detayları

Aynı boyut ve kalınlıktaki GFRP numune ve beton numunelerin eğilme ve maksimum şekil değiştirme sonuçları Çizelge 4.1’de verildiği şekilde bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Eğilme-Maksimum şekil değiştirme

Numune	1	2	3	4
Eğilme yükü (N)	17	18	33	21
Maksimum şekil değiştirme (mm)	31	19	27	22
Numune	5	6	7	8
Eğilme yükü (N)	34	32	51	35
Maksimum şekil değiştirme (mm)	27	38	84	23
Numune	9	10		
Eğilme yükü (N)	-	6,5		
Maksimum şekil değiştirme (mm)	-	22		

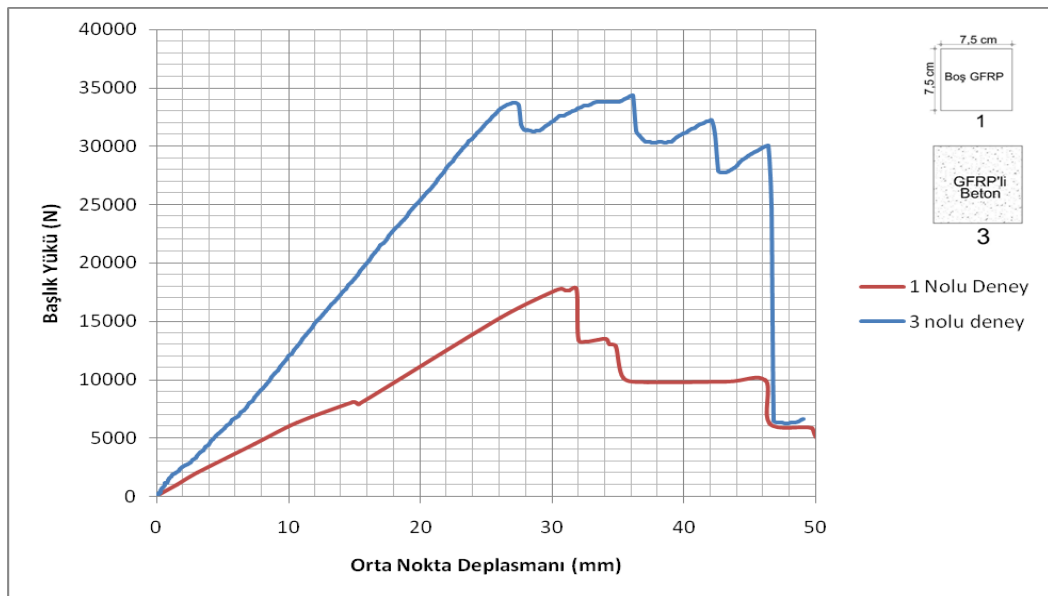
Aynı ebatlarda farklı kombinasyonlarda kullandığımız GFRP numuneler ve beton numuneler ile yapılan eğilme deneyleri sonuçlarında; içi boş yalın halde kullanılan 1 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 17 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 31 mm, içerisi köpük sıkılan 2 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 18 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 19 mm, içerisi beton ile doldurulan 3 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 33 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 27 mm, içerisi yarısına kadar beton ile doldurulan 4 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 21 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 22 mm, içerisi U biçiminde boşluklu olacak şekilde beton ile doldurulan 5 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 34 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 27 mm, içerisinde orta kısmı kare şeklinde boşluklu olacak şekilde beton ile doldurulan 6 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 32 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 38 mm, içerisi beton ile doldurulan dış kısmı karbon elyaf ile sarılan 7 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 51 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 84 mm, içerisi donatılı beton ile doldurulan 8 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 35 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 23 mm, GFRP numune ebatlarında iç kısmı donatılı beton olan 10 nolu numunenin eğilme yükü 6,5 kN iken maksimum yüke gelen şekil değiştirmesi 22 mm bulunurken GFRP numune ebatlarında yalın haldeki beton numunenin deneyinde kırılmanın ani olmasından dolayı sonuç alınamamıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Eğilme deneyi sonrasındaki GFRP ve beton numuneler

4.1.1. (1) nolu (3) nolu ve (9) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması

İçerisi boş olarak seçilen 1 nolu GFRP numune, içerisi beton ile doldurulan 3 nolu GFRP numune ve yalın halde GFRP ebatlarında dökülen 9 nolu beton numunenin eğilme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.3’de görülmektedir.

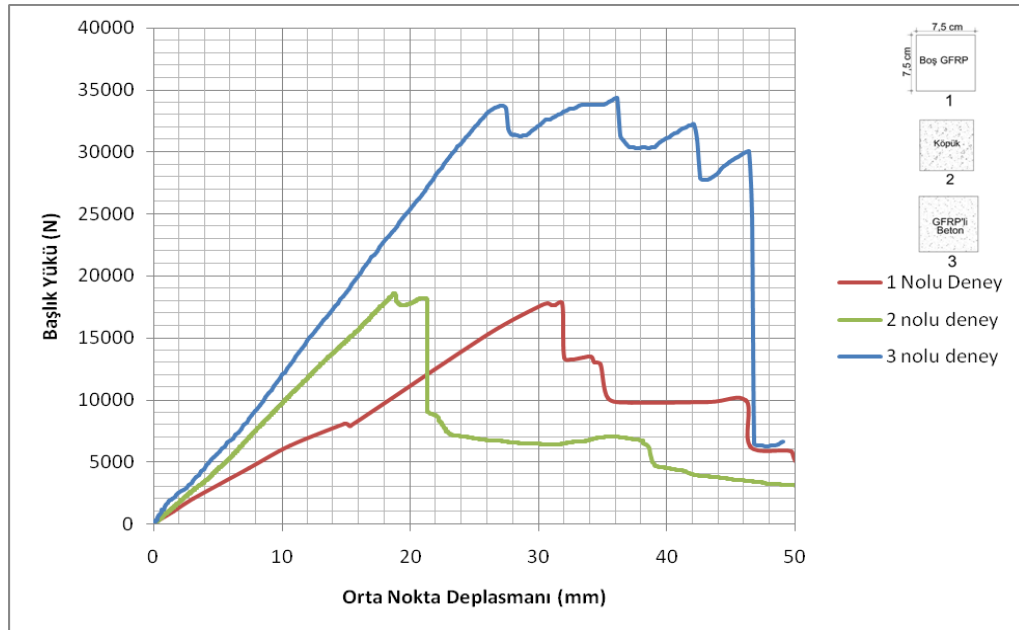


Şekil 4.3. Eğilme deneyi yapılan 1 ve 3 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması

Yalın halde eğilme deneyi yapılan 1 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 17 kN iken içerisi beton ile doldurulan 3 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 33 kN olarak görülmüştür. GFRP numunenin içerisinin beton ile doldurulması malzemenin dayanım performansını artırmış olduğu görülmüştür. Maksimum yüke gelen deformasyon miktarı 1 nolu numunede 31 mm olarak görülürken 3 nolu numunede 27 mm olarak görülmüştür. Yükleme esnasında 1 nolu numunede direk ayrılma gözlenirken 3 nolu numunede elyaf doğrultusunda kılcal çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. İki numunenin karşılaştırma grafikleri incelendiğinde içerisi beton ile doldurulmuş numunenin boş GFRP numuneye oranla eğilme yükü açısından büyük artışlar olduğu gözlenmiştir. İçerisi betonla dolu GFRP numune boş haline göre iki katı oranında artış sergilemiştir. GFRP ebatlarında dökülen yalın haldeki beton numune deneyinde yükleme esnasında numunenin ani olarak kırılmasından dolayı sonuç alınamamıştır.

4.1.2. (1) nolu (2) nolu ve (3) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması

İçerisi boş olarak seçilen 1 nolu GFRP numune, içerisi köpükle doldurulan 2 nolu GFRP numune ve içerisi beton ile doldurulan 3 nolu GFRP numunenin eğilme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.4'de görülmektedir.

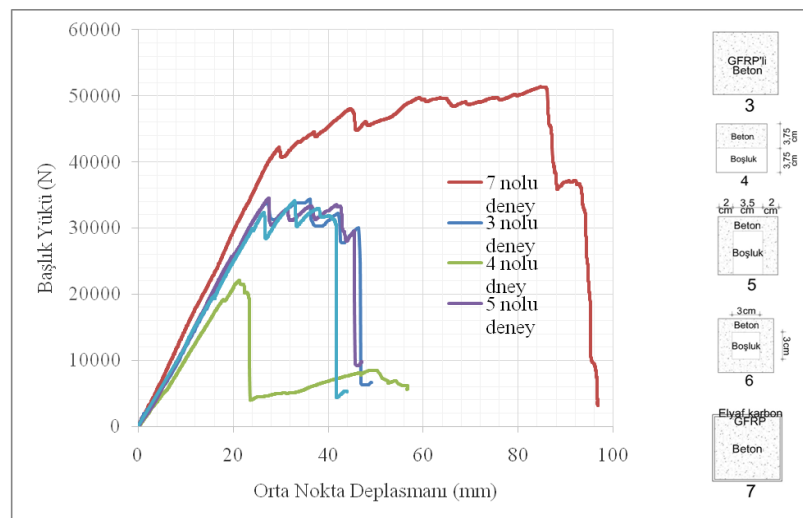


Şekil 4.4. Eğilme deneyi yapılan 1, 2 ve 3 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması

Yalın halde eğilme deneyi yapılan 1 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 17 kN iken içerisi köpük ile doldurulan 2 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 18 kN içerisi beton ile doldurulan 3 nolu GFRP numunenin eğilme yükü 33 kN olarak görülmüştür. GFRP numunenin içerisinin beton ile doldurulması malzemenin dayanım performansını yaklaşık iki katı oranında artırmış olduğu görülmüş olup içerisinin köpük ile doldurulmasının performansa etkisinin fazla olmadığı alınan sonuçlarla rahatlıkla görülmüştür. Buna karşılık içerisinin köpük ile doldurulmasıyla maksimum yüke gelen deformasyon miktarı beton ile doldurulmasına oranla büyük farklılık göstermiştir. Yükleme esnasında 1 nolu numunede direk ayrılma gözlenirken 3 nolu numunede elyaf doğrultusunda kılcal çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. 2 nolu numunede ise basma noktaları ve kenar köşe noktalarında çatlakların oluştuğu gözlenmiştir.

4.1.3. (3) nolu (4) nolu (5) nolu (6) nolu ve (7) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması

İçerisi betonla doldurulan 3 nolu GFRP numune, içerisi yarisına kadar betonla doldurulan 4 nolu GFRP numune, içerisi U şeklinde boşluklu olacak şekilde betonla doldurulan 5 nolu GFRP numune, içerisi kare şeklinde boşluklu olacak şekilde betonla doldurulan 6 nolu GFRP numune ve içerisi beton ile doldurulan dışı karbon elyaf ile sarılan 7 nolu GFRP numunenin eğilme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.5’de görülmektedir.



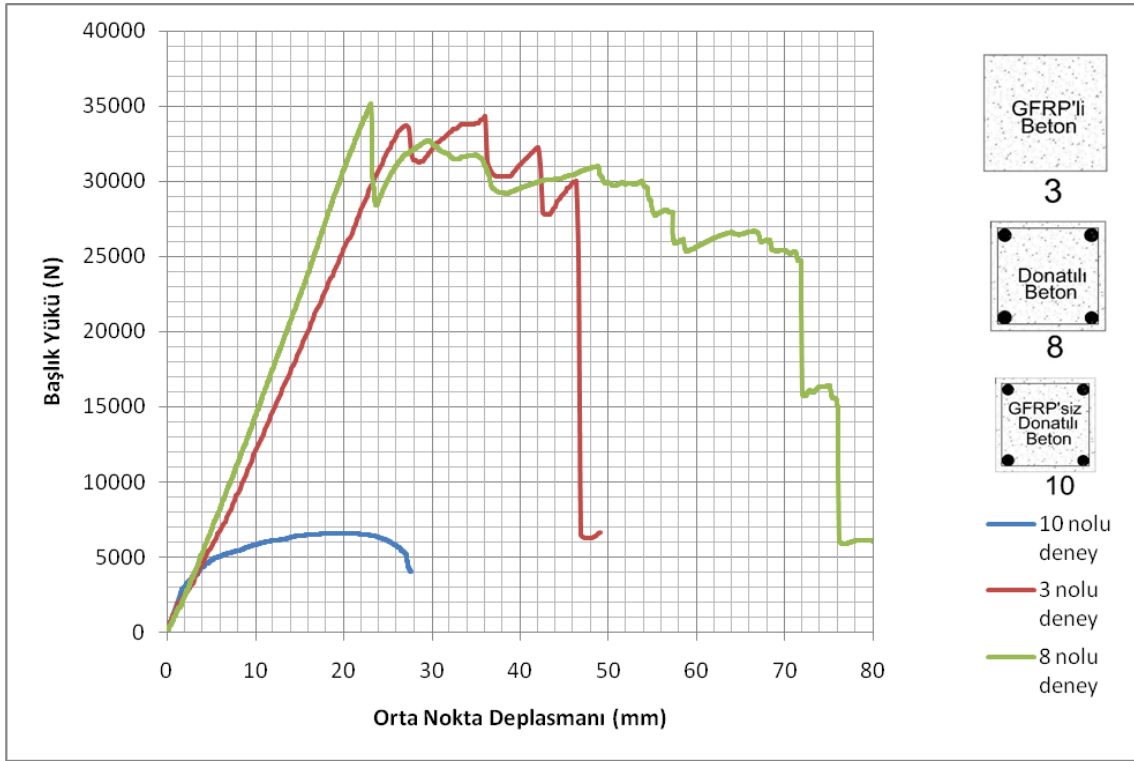
Şekil 4.5. Eğilme deneyi yapılan 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması

Deney sonrasında alınan sonuçlar incelendiğinde GFRP numunenin içerisindeki boşluk oranının maksimum yüke fazla etki etmediği maksimum yüke karşılık gelen deplasman miktarında kısmen etkisi olduğu incelenmiştir. GFRP numunenin karbon elyaf ile sarılmasıyla maksimum yüke % 54 oranında artış sağladığı görülmüştür. 3 nolu GFRP numunede üst bölgede hasarların meydana geldiği görülürken ön yüzeylerde basınç kaynaklı ezilmelerin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca numunede elyaf doğrultusunda çatlamlar gözlenmiştir. 4 nolu GFRP numunede ise 3 nolu numuneye oranla boydan boya çatlamlarla karşılaşmış ve ilk çatlağın olduğu yan yüzeyde 90° lik açılma olduğu incelenmiştir. 7 nolu numunede elyaf keçenin maksimum dayanımı artırıcı yönde etkisinin olduğu görülmüştür. Yüklemeler esnasında tabaka ayrışmalarının olduğu gözlenmiş mesnet noktalarının ön ve arka yüzeylerinde kabarmaların olduğu görülmüştür. Sonuç yüklemesinde mesnetin alt kısmında kopmanın meydana geldiği görülmüştür.

4.1.4. (3) nolu (8) nolu (9) nolu ve (10) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması

İçerisi donatılı betonla doldurulan GFRP numune betonla dolu olan GFRP numuneye oranla % 6 oranında performans artışının olduğu gözlenmiştir. 3 nolu GFRP numunede üst bölgede hasarların meydana geldiği görülürken ön yüzeylerde basınç kaynaklı ezilmelerin olduğu numunede elyaf doğrultusunda çatlamların olduğu gözlenirken 8 nolu numunede eğilmeli kesme kırılmasıyla karşılaşmıştır. Ayrıca 8 nolu numunede ön yüzey ve köşe noktalarında çatlak olduğu gözlenmiş yüklemeye devam ettikçe çatlama boydan boya yayılarak ön yüzey alt yüzeyden ayrılmış ve malzemede sonuç hasarı gerçekleşmiştir.

Numunelerin eğilme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.6'da görülmektedir.

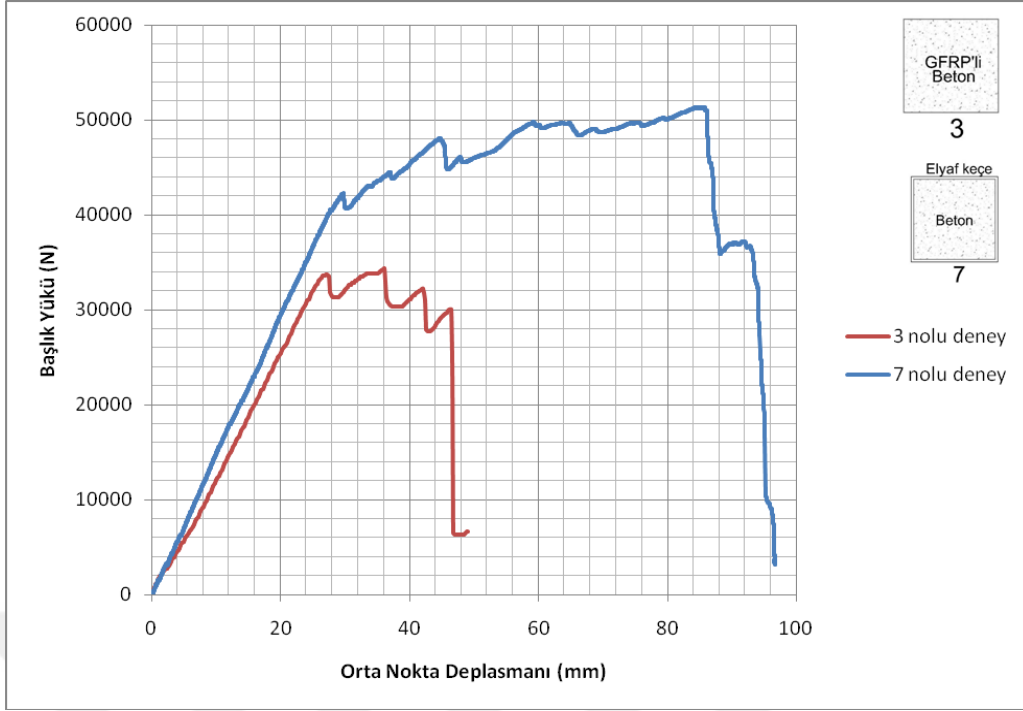


Şekil 4.6. Eğilme deneyi yapılan 3, 8, 9 ve 10 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması

4.1.5. (3) nolu ve (7) nolu Numunelerde Yapılan Eğilme Deneyinin Karşılaştırılması

İçerisi betonla doldurulan 3 nolu GFRP numune ile içerisi beton ile doldurulmuş dış kısmı karbon elyaf ile sarılmış olan 7 nolu GFRP numune karşılaştırıldığında karbon elyaf malzemenin maksimum eğilme yükünü artırıcı oranda etkisi olduğu gözlenmiştir. 3 nolu numunede maksimum eğilme yükü 33 kN olarak görülürken elyaf keçe ile sarılmış olan 7 nolu numunenin maksimum eğilme yükü 51 kN olarak gözlenmiştir. Performansı % 54 oranında artıran karbon elyaf güçlendirme çalışmalarında kullanılmasının yapıya olumlu yönde etkisinin olabileceği öngörüsüne varılmıştır. Yapılan deneylerde yükleme esnasında 3 nolu numunede 6 kN yükleme esnasında elyaf doğrultusunda kılçak çatlak gözlenirken 7 nolu numunede 13 kN yükleme esnasında numunede matris çatlakları gözlenmiştir.

Numunelerin eğilme deneyleri sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş maksimum yük-maksimum deformasyon grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Eğilme deneyi yapılan 3 ve 7 nolu numunelerin grafiklerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kare kesite sahip GFRP kutu profilin betonla birleştirilmesi ile meydana gelen hibrit kirişin yanında GFRP numune ebatlarında beton ve donatılı betonun eğilme davranışının incelendiği çalışmada çalışma değişkeni olarak GFRP numunenin iç yüzey boşluk oranları kullanılmıştır. Hibrit malzemenin boşluk oranının eğilme davranışına etkisi incelenmiştir. GFRP ve beton malzemenin özellikleri deneysel olarak belirlenmiş olup hibrit yapı elemanının sergilediği eğilme davranışları incelenmiştir.

Yapılan eğilme testi sonuçlarına bakıldığında içerisi beton ile dolu olan GFRP numunenin eğilme yükü boş GFRP numuneye göre %94 oranında artış göstermiştir. İçerisi köpük doldurulan GFRP numune boş numuneye göre %5 oranında artış göstermiştir. İçerisi donatılı beton ile dolu olan GFRP numune boş GFRP numuneye göre %105 oranında, içerisi betonla dolu olan GFRP numuneye göre %6 oranında artış göstermiştir. İçerisi beton dolu dış kısmı elyaf keçe ile sarılan GFRP numune boş GFRP numuneye göre %54 oranında artış göstermiştir.

Laboratuvar ortamında GFRP numunenin dış kısmının karbon elyaf ile sarılmasıyla GFRP numunenin özelliklerinin geliştirildiği görülmüş bu işlemlerin fabrika çalışma ortamında yapılması malzeme üzerindeki dayanımın artış oranında olumlu etkisi olacağı kanısına varılmıştır. Yapılan deneylerde karşılaşılan deformasyonun genellikle enine doğrultuda kopması, enine lif oranının artırılarak dayanım açısından olumlu sonuçlar alınabileceği kanısına varılmıştır.

GFRP malzemelerin yapıda kullanılan temel malzemelere oranla hafiflik, korozyon, çekme dayanımı konusunda daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı GFRP malzemelerin özellikle inşaat sektöründe etken malzeme olarak kullanılması yapı sektöründe karşılaşılan birçok sorunlara karşı çözüm olacağı düşünülmektedir.

Yapı malzemelerinin yanında kompozit malzemelerin hibrit birleşimleri ile meydana gelen hibrit yapılar günümüzde kullanılan yapı malzemelerinin eksik kalan yönlerine karşı alternatif malzeme olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

Hibrit sistemli yapılarda GFRP malzemeler aynı zamanda kalıp görevi de yaparak zaman ve kalıp masrafı açısından avantajlı olduğu görülmektedir.

Hibrit sistemlerde GFRP malzeme aynı zamanda betonu koruyarak yapı elemanının ömrünü uzatmaktadır. Dış etkilerden kaynaklı su, nem vb. geçmesine izin vermeyen GFRP malzeme betonun deformasyon etkisini azaltmaktadır. Bununla birlikte

yalıtkan etkisi olan GFRP malzeme ısı geçişlerine karşı da etkin rol oynamaktadır. GFRP malzeme içerisine yerleştirilen beton içerisindeki suyu kaybetmemesinden dolayı malzemenin kürlenme etkisi büyüktür.

Uzunlukları büyük olan ve kesiti dar olan GFRP numunelerde plastik kıvamdaki betonun malzeme içerisine yerleşmesi zor olmasından dolayı kolay yerleşebilen beton kullanılarak bu sorun rahatlıkla çözülebilecektir.

GFRP malzemelerin beton ile hibrit sistem oluşturulması ile yapı sektöründe kolon, kiriş olarak kullanılarak deniz yapıları gibi nemli ve suya maruz kalan ortamlarda yapıda korozyon etkisine karşı çözüm olabilecektir.

GFRP malzeme ile oluşturulan hibrit kirişlerde alt kısımda çekme bölgesine beton içerisine donatı yerleştirilerek eğilme dayanımı artırılabilir. Yalın beton malzemeye oranla yüksek dayanıma sahip hibrit kirişler yapı sektöründe alternatif malzeme olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aydın, 2011, Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton ile Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, Sakarya.
- Aydın, F., Sarıbyık, M. ve İpek, M., 2008, CTP Profil ile Betonun Hibrit Kullanımının Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. 12th International Materials Symposium (IMPS), Denizli. Turkey.
- Aydın, F. and Sarıbyık, M., 2010, Compressive and Flexural Behavior of Hybrid Use of GFRP Profile with Concrete. 2. International Symposium on Sustainable Development (ISSD 2010), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- Aydın, F. ve Sarıbyık, M., 2011, GFRP Kutu Profiller ile Betonun Hibrit Kullanımının Beton Kürüne Etkilerinin İncelenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0211.
- Ayman, M., 2004, Composites: Construction Materials For The New Era, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), pp.45-58.
- Bank, L.C., 2006, Application of FRP Composites to Bridges in the USA, Proceedings of the International Colloquium on Application of FRP to Bridges, Tokyo, Japan.
- Becque, J., Patnaik, A. K. and Rizkalla, S. H., 2003, Analytical Models for Concrete Confined With FRP Tubes, J. Compos. Constr., 7-1,31-38.
- Cabrera, S., 1996, Shear Strength and Seismic Performance of Concrete Filled FRP Tubes. MS thesis, Univ. of Central Florida, Orlando, Fla.
- Callister, W.D., 1990, Materials Science and Engineering, Second edition, John Wiley and Sons Inc., Singapore.
- Canning, L., Hollaway, L. and Thorne, A.M., 1999, An Investigation Of The Composite Action Of An FRP/Concrete Prismatic Beam, Construction and Building Materials, 13 417-426.
- Clarke, JL., 2003, Strengthening Concrete Structures With Fibre Composites, Struct Build;156(1):49-50.
- Cripps, A., 2002, Fiber Reinforced Polymer Composites In Construction, Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), February.
- Davol, A., Burgueno, R., and Seible, F., 2001, Flexural Behavior of Circular Concrete Filled FRP Shells, J. Struct. Eng. 127, 810-817.
- Deskovic, N. and Thanasis, C., 1995, Triantafillou and Urs Meier, Innovative Design of FRP Combined with Concrete: Short-Term Behavior, Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 7, pp. 1069-1078.

- Emmons, P. H., Vaysburg, A. M. and Thomas, J., 1998, Strengthening of Concrete Structures, Part II, Advanced Composites, ACI Concrete International, Vol. 20, No. 4, pp. 56-60.
- Eriç, M., 1994, Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul.
- Ersoy, H. Y., 2010, Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Eurocomp, 1996, Structural Design of Polymer Composites, Design Code and Handbook, Edited by Clarke J. L., Chapman and Hall, London, 10-11.
- Fam, A., Schnerch, D. and Rizkalla, S., 2003, Fibre-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, Proceedings of the Sixth International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-6), pp. 685-694, Singapore.
- Fam, A.Z. and Rizkalla, S.H., 2001, Confinement Model for Axially Loaded Concrete Confined by Circular FRP Tubes. ACI Structural Journal. 98(4):251-461.
- Fam, A., Schnerch, D. and Rizkalla, S., 2005, Rectangular Filament- Wound Glass Fiber Reinforced Polymer Tubes Filled with Concrete under Flexural Axial Loading: Experimental Investigation, Journal of Composites for Construction, Vol. 9, No. 1, ASCE.
- Fam, A., Schnerch, D. and Rizkalla, S., 2005, Rectangular Filament- Wound Glass Fiber Reinforced Polymer Tubes Filled with Concrete under Flexural Axial Loading: Experimental Investigation, Journal of Composites for Construction, Vol. 9, No. 1, ASCE.
- Hadi, M.N.S., 2006, Behaviour of FRP Wrapped Normal Strength Concrete Columns Under Eccentric Loading, Composite Structures, 72 503–511.
- Hall, J. and Mottram, J., 1998, Combined FRP Reinforcement And Permanent Formwork For Concrete Members, J Composites Construct;2(2):78-86.
- Halliwell, S.M., 2000, Polymer Composites in Construction, BRE Centre for Composites in Construction, London.
- Halliwell, S.M. and Reynolds, T., 2004, Effective Use of Fibre Reinforced Polymer Materials in Construction, BRE Centre for Composites in Construction, London.
- Hamdy, M.M. and Radhouane, M., 2010, Flexural Strength and Behavior Of Steel and FRP-Reinforced Concrete-Filled FRP Tube Beams, Engineering Structures 32, 3789–3800.
- Hollaway, L.C., 2001, Advance Polymer Composites and Polymers in the Civil Infrastructure, Elsevier Science, First edition, July.

- Hong, W.K., Kim, H.C. and Yoon, S.H., 2002, Experiment Of Compressive Strength Enhancement of Circular Concrete Column Confined By Carbon Tubes. KCI Concrete Journal 14:4. 19-144.
- Holmes, M. and Just, D.J., 1983, GRP in Structural Engineering, Applied Science Publishers Ltd., New York.
- Hulatt, J. and Hollaway, L., 2003, Thorne The use of advanced polymer composites to form an economic structural unit, Construction and Building Materials 17, 55–68.
- Hyung-Joong, J., Seungsik, L.,B, Soon-Jong, Y., Ju-Kyung, P. and Kwang-Yeoul, S., 2007, Development Of Hybrid FRP-Concrete Composite Compression Members, Advanced Materials Research Vols. 26-28, pp 329-332.
- Joao, R. Correia, Fernando, A. Branco, Joao G. Ferreira, 2009, Flexural Behaviour of Multi-Span GFRP-Concrete Hybrid Beams, Engineering Structures 31, 1369-1381.
- Karbhari, V.M., 2004, Durability of Advanced Polymer Composites in the Civil Infrastructure, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), pp.31-38.
- Keller, T., Schaumann, E. and Vallee, T., 2007, Flexural Behavior of A Hybrid FRP and Lightweight Concrete Sandwich Bridge Deck, Composites Part A;38(3): 879-889.
- Koksal, H.O. Doran, A. and Turgay, T., 2009, A Practical Approach For Modeling FRP Wrapped Concrete Columns, Construction and Building Materials, 23(3), 1429–1437.
- Mallick, P.K., 1997, Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker, New York, 10-11.
- Mirmiran, A. and Shahawy, 1997, Behavior of Concrete Columns Confined By Fiber Composites. J. Struct. Eng. 123: 583-590.
- Mirmiran, A., Shahawy, M. and Samaan, M., 1990, Strength and Ductility of Hybrid FRP-Concrete Beam-Columns,1 Member, ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 10, ASCE, October.
- Mirmiran, A. and Shahawy, M., 1995, A Novel FRP-Concrete Composite Construction for the Infrastructure. Proc., 13th Structures Congress, ASCE, New York, 1663–1666.
- Mirmiran, A., Samaan, M., Cabrera S. and Shahawy M., 1998, Design, manufacture and testing of a new hybrid column Construction and Building Materials, Vol. 12, No. 1, pp. 39-49.

- Nordin, H. and Taljstena, B., 2003, Testing of Hybrid FRP Composite Beams in Bending, *Composites: Part B* 35 27–33.
- Ribeiro, M.C.S., Tavares, C.M.L., Antqnio, J.M.F., Marques, A.O.T., 2002, Static Flexural Performance of GFRP-Polymer Concrete Hybrid Beams, *Key Engineering Materials*, Volumes 230-232, *Advanced Materials Forum I*, pages 148-151.
- Ribeiro, M.C.S., Tavares, C.M.L., Antqnio, J.M.F., Marques, A.O.T., 2002, Static Flexural Performance of GFRP-Polymer Concrete Hybrid Beams, *Key Engineering Materials*, Volumes 230-232, *Advanced Materials Forum I*, pages 148-151.
- Sarıbıyık, M., Elmas, M., Özdemir, S., Ünal, H., Çağlar, N. ve Aydın, F., 2008, TÜBİTAK sonuç raporu, Sera Tasarımında Pultruzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması, Sakarya.
- Schaumann , E., 2008, Hybrid FRP-Lightweight Concrete Sandwich System For Engineering Structures, PhD thesis.
- Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara.
- Tianhong, L., Peng, F. and Lieping, Y., 2006, “Experimental Study On FRPConcrete Hybrid Beams, Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006), Miami, Florida, USA, December 13-15.
- Tianhong, L., Peng, F. and Lieping, Y., 2006, “Experimental Study On FRPConcrete Hybrid Beams, Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006), Miami, Florida, USA, December 13-15.
- Teng, J.G., Chen, JF, Smith, ST., Lam, L., 2002, *FRP Strengthened RC Structures*, John Wiley.
- Teng, J.G., Yu, T. and Wong, Y.L., 2004, Behavior of Hybrid FRP-Concrete- Steel Double-Skin Tubular Columns, *FRP Composites in Civil Engineering*, Australia, CICE 2004; 811-818.
- Weijian, Y. and Hung, H., 2001, Experimental Study On The Flexural Behavior of Beams Strengthened With CFRP Laminates, *Proc. of the International Conference on FRP, Composites in Civil Engineering*, Hong Kong, China, pp. 399-405. 12-15 December.
- Wenlxiao, L. and Zhishen, W., 2004, Flexural performance of newly developed hybrid FRP concrete beams, *FRP Composites in Civil Engineering*, Australia, CICE 2004; 819-826.
- Yu T., Wong, Y.L., Teng, J.G., Dong, S.L. and Lam, E.S.S., 2006, Flexural Behavior of Hybrid FRP-Concrete-Steel Double-Skin Tubular Members, *Journal of Composites For Construction*, ASCE pp. 443-452/ September/October .

Anonim, 2018 a, http://www.ahsapkompozitmarket.com/2599_u-kiris.aspx.

Anonim, 2018 b, <https://www.besoglu.com/hizmetler/frp-guclendirme>.

Anonim, 2018c, [http:// docplayer.biz.tr/ 4179711-Gfrp-beton- celik-donatili -hibrit-kirislerin-egilme-davranislarinin-incelenmesi.html](http://docplayer.biz.tr/4179711-Gfrp-beton-celik-donatili-hibrit-kirislerin-egilme-davranislarinin-incelenmesi.html).

Anonim, 2018d, CTP Teknolojisi, 1984, Cam Elyafı Takviyeli Reçine Sistemleri, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul.

Anonim, 2018e, 2008, Composites Manufacturing, An Official Magazine of The American Composites Manufacturers Association, (<http://www.acmanet.org>), March.

Anonim , 2018f, [http://turkish.shoesolemakingmachine.com/supplier-137810-fiberglass- pultrusion-machine](http://turkish.shoesolemakingmachine.com/supplier-137810-fiberglass-pultrusion-machine)

Anonim, 2018g, <http://polikom.com.tr/teknolojiler/frp-profil>

Anonim , 2018h, <http://miraselin.com/yapi-guclendirme/>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet YARIMOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Karapınar/Konya 02.01.1989
Telefon : 0532 482 83 46
Faks : 0332 755 26 14
e-mail : mehmetyarimoglu@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Karapınar Y.D.A. Lisesi, Karapınar	2007
Üniversite	: Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta	2012
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	Devam
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2014	Beğen İnşaat	Şantiye Şefi
2014-	Yarimoğlu İnşaat-Taahhüt	Firma Sahibi

UZMANLIK ALANI: İnşaat Mühendisliği

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER:

Karapınar Ticaret ve Sanayi Odası Genç Girişimciler Kurulu Üyesi
 Konya İnşaat Mühendisleri Odası 15. Dönem Genel Merkez Delegatesi
 Karapınar Ticaret ve Sanayi Odası 4. Meslek Komite Başkanı
 Karapınar Ticaret ve Sanayi Odası Yüksek İstişare Kurulu Üyesi

YAYINLAR