

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FRP DONATILI BETON DÖŞEMELERİN EĞİLME
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Numan DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ferhat AYDIN

Haziran 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FRP DONATILI BETON DÖŞEMELERİN EĞİLME
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Numan DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 01.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

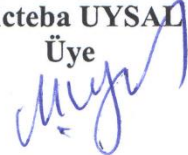
Dr. Öğr. Üyesi
Ferhat AYDIN
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Metin İPEK
Üye



Doç. Dr.
Mücteba UYSAL
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Numan DURMAZ

01.06.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ferhat AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a, Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Metin İPEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na sağladığı proje desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi	4
2.2. Kompozit Malzeme Türleri	5
2.2.1. Taneli kompozitler	5
2.2.2. Taneciklerle güçlendirilmiş kompozitler	6
2.2.3. Tabakalı kompozitler	6
2.2.4. Lifli kompozitler	7
2.2.4.1. Lifli Kompozit malzemelerin özellikleri	8
2.2.4.2. FRP lif türleri	11
2.2.4.3. Uygulama alanları	14
BÖLÜM 3.	
FRP DONATILAR	17
3.1. FRP Donatıların Üretimi	17

3.1.1. Profil çekme (Pultruzyon) metodu	18
3.2. FRP'lerin Betonda Donatı Olarak Kullanılması	24
3.3. FRP Donatıların Gelişim Süreci	25

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1. Materyal ve Metot	31
4.1.1. FRP donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri	33
4.1.1.1. Donatıların özgül ağırlıklarının belirlenmesi	33
4.1.1.2. FRP donatıların lif oranlarının belirlenmesi	33
4.1.1.3. Çekme özelliklerinin belirlenmesi	35
4.1.2. Betonarme döşeme sisteminin hazırlanması	40
4.1.2.1. Döşeme sisteminin tasarlanması	40
4.1.2.2. FRP donatıların hazırlanması	43
4.1.2.3. Beton döküm, numune ve kür işlemleri	46
4.1.2.3. Döşeme deneyleri uygulama sistem ve ekipmanları ..	50
4.1.3. Beton basınç dayanımları ve döşeme deneyleri	55
4.2. Deneysel Çalışma Sonuçları	60
4.2.1. Donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri	60
4.2.1.1. Lif oranları ve özgül ağırlıkları	61
4.2.1.2. Çelik donatıların mekanik özellikleri	62
4.2.1.3. AFRP donatıların mekanik özellikleri	63
4.2.1.4. BFRP donatıların mekanik özellikleri	64
4.2.1.5. CFRP donatıların mekanik özellikleri	65
4.2.1.6. GFRP donatıların mekanik özellikleri	66
4.2.2. Beton basınç dayanımları	67
4.2.3. Donatılı döşemelerin mekanik özellikleri	68
4.2.3.1. Çelik donatılı döşeme	68
4.2.3.2. AFRP donatılı döşeme	70
4.2.3.3. BFRP donatılı döşeme	75
4.2.3.4. CFRP donatılı döşeme	79
4.2.3.5. GFRP donatılı döşeme	80

4.2.4. Döşemelerin eğilme davranışlarının karşılaştırılması	85
4.3. Maliyet Analizi	88
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Kesit Alanı (mm ²)
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
AFRP	: Aramid Fiber Takviyeli Plastik
AFRPK	: Kum yüzeyli AFRP
AFRPN	: Nervür yüzeyli AFRP
A.Ş.	: Anonim Şirketi
BFRP	: Bazalt Fiber Takviyeli Plastik
BFRPK	: Kum yüzeyli BFRP
BFRPN	: Nervür yüzeli BFRP
cm	: Santimetre
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Plastik
CFRPK	: Kum yüzeyli CFRP
CFRPN	: Nervür yüzeyli CFRP
E	: Elastisite Modülü
FRP	: Fiber Takviyeli Plastik
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Plastik
GFRPK	: Kum yüzeyli GFRP
GFRPN	: Nervür yüzeyli GFRP
Inc.	: Anonim Şirketi
kN	: Kilo Newton
L	: Mesnet Açıklığı (cm)
m	: Metre
M	: Ağırlık (gr)
MPa	: Megapascal (N/mm ²)
°C	: Santigrat
Ø	: Donatı çapı (mm)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Korozyon sebebiyle özelliğini yitiren bordür	2
Şekil 2.1. Tanecikli kompozit olan beton ve asfalt	6
Şekil 2.2. Ahşap esaslı tabakalı kompozit	7
Şekil 2.3. Lifli kompozit	7
Şekil 2.4. Hafif ve dayanımı yüksek karbon elyafı ile üretilmiş yolcu kabini	10
Şekil 2.5. Aramid lifli kumaş	11
Şekil 2.6. Bazalt lifli kumaş	12
Şekil 2.7. Cam lifli kumaş	13
Şekil 2.8. Karbon lifli kumaş	14
Şekil 2.9. Yolcu uçağı kısımlarında kullanılan FRP kompozitler	15
Şekil 2.10. FRP kompozitlerin kullanım alanları	16
Şekil 3.1. Pultrüzyon yöntemi şeması	19
Şekil 3.2. Fıtil makaraları	19
Şekil 3.3. FRP donatı çubukların üretiminde reçine işlemi	20
Şekil 3.4. FRP donatı çubukları üretim işlemi	20
Şekil 3.5. Örnek kalıplar	21
Şekil 3.6. Paletlerden FRP donatıların çıkma işlemi	22
Şekil 3.7. Bıçaklar	22
Şekil 3.8. Korozyona uğramış yapı elemanları	24
Şekil 3.9. Farklı Yüzey özelliklerine sahip FRP donatılar	25
Şekil 3.10. Beton yapı elemanlarında çelik donatı korozyonu	26
Şekil 3.11. Ohio'da köprü döşemesinde GFRP donatılar	27
Şekil 3.12. Salem Avenue Köprüsünde GFRP kullanımı	27
Şekil 3.13. Emma Park Köprüsünde GFRP Kullanımı	28
Şekil 3.14. FRP donatıların köprü döşemelerinde kullanımı	29
Şekil 3.15. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı	30
Şekil 3.16. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı	30

Şekil 3.17. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı	30
Şekil 4.1. Deneysel çalışma için kullanılacak FRP donatılar	32
Şekil 4.2. Donatıların özgül ağırlıklarının belirlenmesi	33
Şekil 4.3. Deney sisteminde kullanılan FRP donatılar	34
Şekil 4.4. FRP donatıların alınması ve numaralandırılması	34
Şekil 4.5. FRP matris elemanlarının yakılması	35
Şekil 4.6. Matris malzemesinin yakılma sonrası FRP lifler	35
Şekil 4.7. Cad ortamında başlıklama yapılmış FRP donatı	36
Şekil 4.8. Başlıklı FRP donatılar	37
Şekil 4.9. Çelik donatıların çekme testleri	38
Şekil 4.10. AFRP donatıların çekme testleri	38
Şekil 4.11. BFRP donatıların çekme testleri	39
Şekil 4.12. CRFP donatıların çekme testleri	39
Şekil 4.13. GFRP donatıların çekme testleri	40
Şekil 4.14. Betonarme döşeme ve kalıp sistemi	41
Şekil 4.15. Döşeme kalıp sistemi detayları	42
Şekil 4.16. Kalıp sisteminin hazırlanması	43
Şekil 4.17. FRP Donatı çubuklarının hazırlanması ve montaj aşaması	44
Şekil 4.18. Döşeme için kullanılan kanca	44
Şekil 4.19. Kancaların donatılara sabitlenmesi	45
Şekil 4.20. FRP donatıların kalıplara yerleştirilmesi	45
Şekil 4.21. Paypayının yerleştirilmesi	46
Şekil 4.22. Donatılar arası mesafeler	46
Şekil 4.23. Beton döküm işlemi	47
Şekil 4.24. Taze beton numune alma işlemi	48
Şekil 4.25. Beton dökme işleminin tamamlanması ve isimlendirilmesi	48
Şekil 4.26. Beton numunelerin kür havuzunda bekletilmesi	49
Şekil 4.27. Betonarme döşemelerin kür edilmesi	49
Şekil 4.28. Eğilme çerçevesi	50
Şekil 4.29. Deney çerçevesi yük uygulama kısımları	50
Şekil 4.30. Eğilme çerçeve sistemi	51
Şekil 4.31. Döşeme deneyi için hazırlanmış mesnet düzeneği	52

Şekil 4.32. Loadcell	53
Şekil 4.33. Potansiyometre	53
Şekil 4.34. Çerçeve sisteme yerleştirilmiş potansiyometre	54
Şekil 4.35. Deney yükleme sistemi	54
Şekil 4.36. Beton basınç testleri	55
Şekil 4.37. Çelik donatılı döşeme kırılma öncesi	56
Şekil 4.38. AFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi	56
Şekil 4.39. BFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi	57
Şekil 4.40. CFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi	57
Şekil 4.41. GFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi	58
Şekil 4.42. AFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi	58
Şekil 4.43. BFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi	59
Şekil 4.44. CFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi	59
Şekil 4.45. GFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi	60
Şekil 4.46. Çelik donatı çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği	63
Şekil 4.47. AFRP donatı çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği	64
Şekil 4.48. BFRP donatı çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği	65
Şekil 4.49. CFRP donatı çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği	66
Şekil 4.50. GFRP donatıların çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği	67
Şekil 4.51. Çelik donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği	69
Şekil 4.52. Çelik donatılı döşeme kırılma sonrası	70
Şekil 4.53. Çelik donatılı döşeme kırılma detayı	70
Şekil 4.54. AFRPK donatılı döşeme yük-sehim grafiği	71
Şekil 4.55. AFRPN donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği	71
Şekil 4.56. AFRP donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği	72
Şekil 4.57. AFRP donatılı döşemelerin moment taşıma kapasitesi grafiği.....	73
Şekil 4.58. AFRP donatılı döşemelerin kırılma tokluğu karşılaştırma grafiği	73
Şekil 4.59. AFRPK donatılı döşeme kırılma sonrası	74
Şekil 4.60. AFRPK donatılı döşeme kırılma detayı	74
Şekil 4.61. AFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası	74
Şekil 4.62. AFRPN donatılı döşeme kırılma detayı	74
Şekil 4.63. BFRPK donatılı döşeme yük-sehim grafiği	75

Şekil 4.64. BFRPN donatılı döşeme yük-sehim grafiği	75
Şekil 4.65. BFRP donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği	76
Şekil 4.66. BFRP donatılı döşemelerin moment taşıma kapasitesi grafiği	77
Şekil 4.67. BFRP donatılı döşemelerin kırılma tokluğu karşılaştırma grafiği	77
Şekil 4.68. BFRPK donatılı döşeme kırılma sonrası	78
Şekil 4.69. BFRPK donatılı döşeme kırılma detayı	78
Şekil 4.70. BFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası	78
Şekil 4.71. BFRPN donatılı döşeme kırılma detayı	78
Şekil 4.72. CFRPN donatılı döşeme yük-sehim grafiği	79
Şekil 4.73. CFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası	80
Şekil 4.74. CFRPN donatılı döşeme kırılma detayı	80
Şekil 4.75. GFRPK donatılı döşeme yük-sehim grafiği	81
Şekil 4.76. GFRPN donatılı döşeme yük-sehim grafiği	81
Şekil 4.77. GFRP donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği	82
Şekil 4.78. GFRP Donatılı döşemelerin moment taşıma kapasitesi grafiği	83
Şekil 4.79. GFRP donatılı döşeme kırılma tokluğu karşılaştırma grafiği	83
Şekil 4.80. GFRP donatılı döşeme kırılma sonrası	84
Şekil 4.81. GFRPK donatılı döşeme kırılma detayı	84
Şekil 4.82. GFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası	84
Şekil 4.83. GFRPN donatılı döşeme kırılma detayı	84
Şekil 4.84. Çelik ve kumlu yüzey donatılı döşemelerin yük-sehim grafikleri	85
Şekil 4.85. Çelik ve nervürlü donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği	85
Şekil 4.86. Çelik ve FRP donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği	86
Şekil 4.87. Döşemelerin moment taşıma kapasiteleri	86
Şekil 4.88. Çelik ve FRP donatılı döşemelerin tokluk değerleri	87
Şekil 4.89. MPa başına donatılı döşemelerin birim maliyeti	89

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Döşeme kodları ve açılımları	32
Tablo 4.2. Donatıların ağırlıkça lif oranı sonuçları	61
Tablo 4.3. Donatıların özgül ağırlıkları	62
Tablo 4.4. Çelik donatı çekme dayanımı değerleri	63
Tablo 4.5. AFRP donatı çekme dayanımı değerleri	64
Tablo 4.6. BFRP donatı çekme dayanımı değerleri	65
Tablo 4.7. CFRP donatı çekme dayanımı değerleri	66
Tablo 4.8. GFRP donatı çekme dayanım değerleri	67
Tablo 4.9. Beton basınç dayanımı değerleri	68
Tablo 4.10. Çelik donatılı döşemelerin eğilme test sonuçları	69
Tablo 4.11. AFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri	72
Tablo 4.12. BFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri	76
Tablo 4.13. CFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri	79
Tablo 4.14. GFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri	82
Tablo 4.15. Donatılı döşeme birim fiyatları	88

ÖZET

Anahtar kelimeler: FRP donatı, FRP donatılı döşeme, çelik donatı, AFRP, BFRP, CFRP, GFRP

Teknolojik gelişmelerle paralel olarak ilerleyen yapı sektörü her gün büyümekte yeni tasarımlar hayata geçmektedir. Bu tasarımlardan biriside FRP (Fiber Reinforced Polymer - Lif Takviyeli Plastik) kompozitlerdir. FRP kompozitlerin kimyasal etkilere karşı dirençli, elektromanyetik alan oluşturmeyen, düşük elektriksel iletkenlik ve özgül ağırlıklarının çeliğe göre büyük oranda düşük olmaları sebebiyle kompozitlere olan ilgiyi büyük oranda artmıştır. Ayrıca yüksek korozyon direnci ve yüksek çekme dayanımı nedeniyle betonarme yapılarda çelik donatı yerine kullanılması düşünülen çözümlerden biri olmuştur.

Bu çalışmada, betonarme çeliğine alternatif FRP donatılardan olan Aramid, Bazalt, Cam ve Karbon esaslı donatıların kumlu ve nervürlü yüzey özelliklerine sahip olanlarının (Ø10) özgül ağırlıkları, lif oranları, çekme dayanımları belirlenmiştir. Ardından bu donatılar kullanılarak 27 adet (110-110-10 cm) betonarme döşeme üretilmiş ve eğilme testleri yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, CFRPK donatılı döşemelerin en yüksek moment taşıma kapasitesine sahip olduğu ve en küçük GFRK donatılı döşemelerin olduğu gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF FLEXURAL BEHAVIOUR OF FRP REINFORCED CONCRETE SLABS

SUMMARY

Keywords: FRP bars, FRP reinforced slab, AFRP, BFRP, CFRP, GFRP, steel

In parallel with the technological developments, the building sector is growing every day and new designs pass by. One of these designs is FRP (Fiber Reinforced Polymer) composites. Since FRP composites are low in electrical conductivity and specific gravity, which are resistant to chemical effects, do not create electromagnetic fields, and are low in large proportion with respect to their heights, they have increased considerably in relation to composites. It is also one of the solutions to be used instead of steel reinforcement in reinforced concrete structures due to its high corrosion resistance and high tensile strength.

In this study, specific weights, fiber ratios, tensile stresses of the equipments ($\text{\O}10$) with sandy and ribbed surface properties of Aramid, Basalt, Glass and Carbon based equipments also being FRP equipments which serve as an alternative to reinforced concrete equilibrium have been determined. Also, 27 (110-110-10 cm) reinforced concrete slabs were produced by using these equipments and bending tests were carried out and the results were examined. As a result of the investigations, it was seen that the CFRPK reinforced slabs had the highest moment carrying capacity and the smallest GFRK slabs.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlar, varoluşlarından günümüze kadar yaşam kalitesi iyileştirmek amacıyla sürekli gelişim ve değişim göstermişlerdir. İlk çağlardan bu yana barınma ve korunma amacıyla doğadaki her türlü malzemeyi deneyerek veya birleştirerek ihtiyaçları doğrultusunda yeni ürünler ortaya koymaya çalışmışlardır. Günümüzde bu sürecin hala devam ettiği, yeni malzeme arayışı içerisinde olduğunu görmekteyiz. 1800'lü yıllarda çimentonun keşfi ile yapı sektörü yeni bir boyut kazanmış beton ile çeliğin beraber kullanılmasıyla oluşan betonarme, yapı endüstrisinin vazgeçilmezi olmuştur. Ancak bu durum farklı problemleri de beraberinde getirmiştir.

Geçmişten günümüze kadar yapı sektörünün vazgeçilmezi olan çelik, ister tek başına ister beton ile birlikte çalışarak ihtiyaçları karşılama sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak yetersiz bakım, yapı elemanı üretim aşamasındaki hatalar, elektriksel alan oluşturma ve en önemlisi çevresel etkenler sebebiyle beton karbonatlaşması ve devamında beton içerisindeki çeliğin kimyasal reaksiyonlara uğrayarak paslanmasıdır. Bunun sonucu olarak, donatının bulunduğu bölgenin hacim artışı ile donatının çevresindeki betona hasar vermekte ve beton kabuğun dökülmesine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak betonarme yapısal zayıflığa uğrar ve fonksiyonel olarak işlevini yerine getiremez ve uzun ömürlülük konusunda pek çok sorunu meydana getirmektedir (Şekil 1.1.). Daha sonrasında hasar görmüş yapı ve elemanlarının özelliklerini devam ettirebilmesi için ya yeniden üretilmesi ya da onarıma ihtiyaç duyulması zaman ve maliyet kaybına yol açmaktadır Oluşan bu problemlerden ders alan bilim insanları çözüm arayışları içerisine girmişlerdir.



Şekil 1.1. Korozyon sebebiyle özelliğini yitiren bordür [1].

Gelişen teknolojik çalışmalar ile sektördeki bilim insanları böyle hassas konulara yeni bir ufuk kazandırmak amacıyla bu problemlerin üstesinden gelmeye çalışmışlardır. Teknolojik gelişmelerle ve yapılan araştırmalar neticesinde yeni alternatif çözüm ve ürünler sunularak malzemeye yeni bir boyut kazandırmış ve yeni nesil kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır.

Yapı sektöründe ve pek çok alanda tercih edilen kompozit malzeme türlerinden birisi olan Fiber Takviyeli Plastik (FRP, Fiber Reinforced Polymer) kompozitlerdir. FRP kompozitler genelde bir matris malzemenin liflerle birleştirilmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım ve çevresel etkenlere karşı gösterdiği iyi performansın yanında araştırmacıların arzu ettiği birçok özelliğe sahip ve farklı birleşimlerle üretilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Bu yeni nesil kompozit malzemelerin üstün mekanik dayanımlarının yanında hafif olmaları, korozyon karşı dayanımı ve kimyasal etkenlere karşı yüksek direnç sergilemeleri, elektriksel yalıtım, yoğunluklarının düşük olması ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği gibi özellikler araştırmacıların dikkatini çekerek üzerinde durulan konular olmuş ve uygulama örnekleri giderek yaygınlaşmıştır. Ayrıca düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları, uzun yıllar boyunca bakım, onarım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymamaları gibi özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde ilerleyerek yapı sektörünün önemli noktalarına ayak basan FRP kompozitler pek çok ihtiyaca cevap veren bir malzeme türü haline gelmiştir.

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, genel olarak taneciklerin, kısa veya uzun liflerin ya da plakalar gibi yüksek elastik modülüne (E) sahip takviye elemanlarının uygun bir yöntem ile bir matris içerisinde gömülerek oluşturulan karma malzemelerdir.

Genel olarak kompozit malzeme ayrı ayrı iki veya daha çok malzemeyi fiziksel olarak karıştırmak yoluyla elde edilen ve kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip çok bileşenli malzeme olarak tanımlanabilmektedir [2].

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla fiziksel olarak birleştirilen malzemelerdir. Kompozit malzeme yapısını oluşturan bileşenler kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır [3]. Kompozit malzemeye “çok bileşenli malzeme”, “çok fazlı malzeme”, “donatılı malzeme” ve “pekiştirilmiş malzeme” gibi adlarda verilmektedir [2].

Reçine katkı malzemeleri ilave edilmiş termoset reçinelerin veya termoplastların elyaflar ile (cam, karbon, aramid, bazalt vs.) veya dolgu malzemeleri takviye edilmesi ve bu karışımın belirli bir prosese tabi tutulması sonucunda sertleşmesi ile elde edilen ürünlere FRP kompozit malzeme denilmektedir [4].

Yapılan bu tanımlamalar doğrultusunda bir malzemenin kompozit malzeme olabilmesi için aşağıdaki tanımlamaları karşılaması gerekmektedir.

- İnsan üretimi yapısına sahip olmalı
- En az iki malzeme ile birleşmiş olmalı
- Bileşenlerinden farklı olarak başka özellikler sergilemesi

–Kimyasal birbirinden farklı olarak matris elemanıyla sarılmış olmalı

2.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Kompozit malzemeler, su taşıtlarından hava taşıtlarına, su altı yapılarından su üstü yapılarına kadar, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanılan kompozit malzemenin üretimi son yarım yüz yıla mal edilmiş gibi görülse de ilk örnekleri çok eski dönemlere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve bunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir. Çok bileşenli malzemenin ilk örnekleri, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlandığı aşamadır. İlk çağlardan beri insanlar gevrek malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler katarak bu kırılabilirlik özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. Bu konularda en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretim, gerek kullanım sırasındaki dayanımını artırmaktadır. Öte yandan, günümüzde kompozit malzemenin donatılmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamanın da çok yeni olmadığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında bu yüz yılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyester kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bu gün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir. Öte yandan, liflerle donatılı sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmış ve bu malzemenin en tanınmış grubunu “cam lif donatılı polyester reçineli kompozit” oluşturmaktadır. Ülkemizde “fiberglas” diye tanınan bu malzeme 1960'lı yılların başından itibaren Türkiye’de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan “Anadol” araçlarının kaportası bu malzemelerden üretilmiştir. Cam lifleriyle donatılı

sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde “Cam Takviyeli Plastik (CTP)” adı yerleştirilmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyeşterin yanı sıra, günümüzde, diğler termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır.

2.2. Kompozit Malzeme Türleri

Kompozit malzemeler üretim metotlarına göre çeşitli alt dallara ayrılmıştır. Üretim aşamasında pek çok yöntemi ve çeşitliliğı olan kompozit malzemelerin genel kabul görmüş sınıflandırma yapmakta mümkündür. Buna dayanarak kompozit malzemeleri dört gruba ayırabiliriz.

- Taneli Kompozitler
- Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozitler
- Tabakalı Kompozitler
- Lifli Kompozitler

2.2.1. Taneli kompozitler

Taneli kompozitler, matris yapısı içinde milimetre ve üstü boyutlarda olan kompozit çeşididir. Matris elemanı içerisinde bu tanecikler homojen olarak dağılmış durumdadırlar. Taneli kompozit malzemelere, agregaların, suyun ve çimentonun birleşmesiyle oluşan beton ve zift ile agreganın ile oluşturulan asfalt en iyi örneklerdendir. Şekil 2.1.’de taneli kompozite ait örnekler görülebilmektedir.



Şekil 2.1. Tanecikli kompozit olan beton ve asfalt [5, 6].

2.2.2. Taneciklerle güçlendirilmiş kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile oluşan izotrop yapıları kompozitlerdir. Malzemenin mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlı olmakla birlikte en yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal esaslı parçacıklardır. En çok kullanılan parçacıklar metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlamakta, metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların ise sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir.

2.2.3. Tabakalı kompozitler

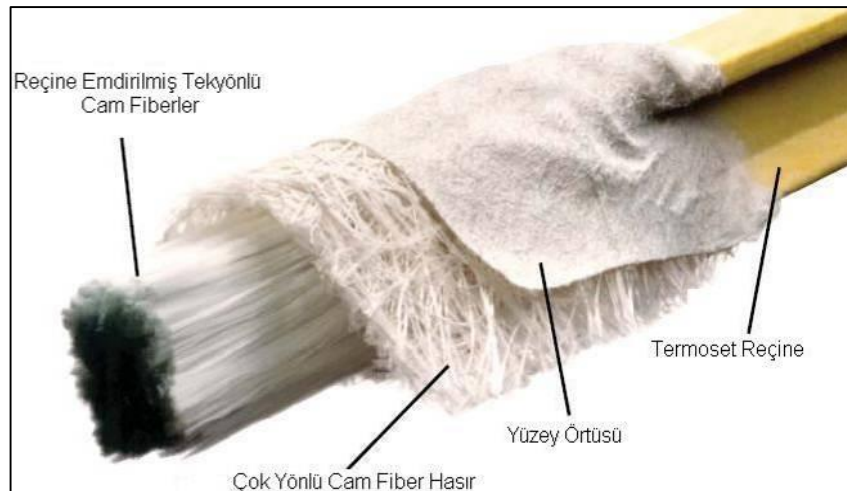
Bu tip kompozitler, farklı mukavemetlere sahip iki veya daha fazla katmandan oluşan levha şeklindeki malzemelerdir. Diğer bir deyişle, aynı cins veya başka cinsten parçaların lehim, tutkal gibi yapıştırıcı kullanarak birbirine eklenmesiyle istenilen şekil veya boyutlarda elde edilen yeni malzemelerdir [7]. Tabakalı kompozitlerin üretiminde kullanılan malzemelerine göre yüksek mukavemetli malzemelerdir ve bu malzemeler genel olarak mekânlar arasını bölme ve ısı ve ses yalıtım amacıyla kullanılan ideal malzemelerdir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Ahşap esaslı tabakalı kompozit [8].

2.2.4. Lifli kompozitler

Genellikle basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin kırılğanlığının giderilmesi gibi amaçlarla matris malzemenin lifler ile donatılması ile üretilen kompozitlerdir [2]. Lifli kompozitlerin içeriğindeki elyaflar birbirlerine paralel doğrultuda dizilmesi sebebiyle lif doğrultusunda yüksek mukavemete sahiptirler. Bu nedenle içeriğindeki elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti ile doğrudan bağlantılıdır. Lifli kompozitler üretim metoduna göre farklı fiziksel şekillerde üretilebilmektedirler (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Lifli kompozit [21].

Kompozit malzemeler kendini oluşturan bileşenlerine ve lif oranlarına farklı mekanik özellikler göstermektedir. Kompozitin özellikleri, aşağıda verilen değişkenlere göre değişebilmektedir.

- Takviye elemanı boyutu ve mekanik özellikleri
- Elyaf hacim oranı
- Elyafın şekli boyutu ve doğrultusu şekli
- Elyaf çapı ve boy/çap oranı
- Matris özellikleri
- Elyaf geometrisi
- Üretim yöntemi
- Mikro yapının etkisi ve boşluk oranı

Sayılan bu faktörler lifli kompozit malzemenin; dayanımını, rijitliğini, aşınmaya karşı direncini, sıcaklık kapasitesini, ağırlığını, termal ısı iletkenliğini ve fiziksel özelliklerini değiştirebilmektedir.

2.2.4.1. Lifli Kompozit malzemelerin özellikleri

- Yüksek mukavemet, lif demetine paralel doğrultuda yüksek çekme mukavemetine sahiptirler.
- Hafif olmaları, metallere göre çok daha hafif olmaları ergonomiklik açısından avantajlıdır (Şekil 2.4.).
- Tasarım esnekliği; kompozitler istenen formda üretilebilir olmaları sebebiyle her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı olarak tasarlanabilir ve üretilebilirler.
- Boyutsal stabilite, çeşitli mekanik, çevresel etkiler altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadırlar.
- Elektrik Direnimi, kompozitlerin elektriksel yalıtım özellikleri ve elektrik alan oluşturmamaları sebebiyle avantajlıdır.
- Korozyon dayanımı, kompozitlerin antikorozyf özelliği, diğer metalik malzemelerden üstün olan özelliklerinden biridir.

- Kalıplama kolaylığı; kompozit ürünler, lif halinde üretildikleri için esnek biçimdedirler bu yüzden çelik gibi geleneksel malzemelerde karşılaşılan birçok parçanın birleştirilmesi ve sonradan birleştirilmesi işlemi yapılmasına gerek duyulmadan bir bütün halinde kalıplama olanağı vardır.
- Yüzey uygulamaları; kompozit ürünlerde kullanılan polyester reçine, özel pigment katkıları ile istenilen yüzeylere rahatça uygulanabilir.
- Şeffaflık özelliği; kompozitler, cam kadar ışık geçirgen olabilir.
- Beton yüzeylere uygulama imkânı; beton yüzeylere, kompozitler kolayca yapışır. Özellikle, betonun gözenekli olması nedeniyle, kompoziti oluşturan ana malzemelerden polyester reçinenin beton gözeneklerinden sızması ve beton kütle içinde sertleşmesinden dolayı mükemmel bir yapışma sağlar.
- Metal yüzeylere uygulama imkânı, korozyona maruz kalabilecek durumlarda demir yüzeyi temizlendikten sonra bu yüzeylere uygulanarak korozyon önlenmiş olur.
- Yanmazlık özelliği, kompozitlerin alev dayanımı, kullanılan lif türüne ve matris elemanın özelliğine bağlıdır. Alev dayanım özelliğinin arandığı yerlerde “Alev dayanımlı” polyester kullanılmalıdır.
- Kompozitler esnek üretim sürecinde oldukları için değişik formlarda içine farklı malzemeler gömülebilir. Böylelikle mekanik özelliklerinde farklılıklar oluşturulabilir.
- Tamir edilebilirlik özelliği; tamir izlerinin görünmemesi için, onarım işleminin bir kalıp üzerinde yapılması, ya da onarımdan sonra zımpara veya boya yapılması gerekir.
- Kompozitler kesilip delinebilir; kompozitler, tahta gibi kolayca kesilir, delinir, zımparalanır. Bu amaçla kullanılan aletlerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuç alınmaktadır [9].



Şekil 2.4. Hafif ve dayanımı yüksek karbon elyafi ile üretilmiş yolcu kabini [10].

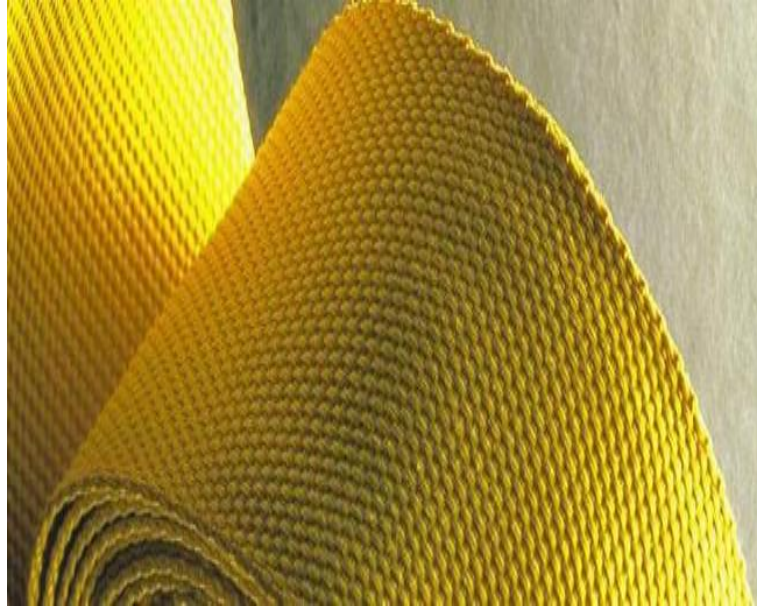
Kompozit malzemelerin dezavantajı şimdilik üretim aşamasını oluşturan malzemelerin maliyetlerin fazla olması ve bu sebeple son ürünün pahalı olmasıdır. Gelişen üretim bant sistemi ile maliyetler her geçen gün biraz daha azaldığı görülmekte ve geleceğe yönelik yatırımının bu problemi görmezlikten gelmesini sağlamaktadır. Bunlara ek olarak maliyeti dışında aşağıda sayabileceğimiz bazı dezavantajları mevcuttur.

- Gevrek kopmadan önce akma olmaması
- Düşük enine dayanım (liflerin yükleme yönü ve işaretiyle değişmektedir)
- Düşük elastisite modülü (takviye lifi tipine göre değişmektedir)
- Ultraviyole radyasyon etkisi altında polimer reçineler ve lifler için hasar hassasiyeti
- Nemli çevre koşullarında cam liflerin düşük durabilitesi
- Alkali çevre koşulunda bazı cam ve aramid liflerin düşük durabilitesi
- Liflere dik yüksek ısı genleşme katsayısı (betona göre)
- Matris tipi ve beton paspayı kalınlığına bağlı olarak yangına hassasiyet [11].
- Standartlarda eksiklikler

2.2.4.2. FRP lif türleri

FRP ürünleri, reçine matrisi içerisine gömülmüş, yüksek dayanımlı liflerden oluşan kompozit malzemelerdir. Bu lifler, oluşturulan kompozit malzemeye dayanım ve rijitlik sağlamak ve genellikle yükün büyük bir kısmını almaktadırlar. Matris, liflerin kenetlenmesinde görev yapmakta ve kesme gerilmeleri boyunca liften life gerilme transferini sağlamaktadır. En yaygın kullanılan lifler; aramid, bazalt, cam, karbon lifler, matrisler ise; epoksi, polyester, vinyl ester veya fenoliklerdir [11].

Aramid lifi termoplastik polimerlerden üretilen bir lif türüdür. Aramid ismini, 1960'ların ilk yarısında ticari olarak üretilen aromatic polyamide liflerinden almaktadır. Ancak, yüksek performanslı olanları para-phenyleneterephthalamide türevleridir. Aramid lifi, sahip olduğu mekanik özelliklerinden dolayı yüksek dayanım istenilen kompozit malzemelerin yapımında kullanılır. En çok bilinenleri Kevlar 29 ve 49'dur. Kevlar 29 günümüzde, örme veya dokuma teknikleri kullanılarak zırh üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 2.5.'te aramid kumaşı verilmiştir.



Şekil 2.5. Aramid lifli kumaş [12].

Bazalt, doğal sert, yoğun, koyu kahverenginden siyaha kadar renk aralığına sahip volkanik magmatik kayaç olarak tanımlanmakta ve yerkabuğunda en sıklıkla bulunan

kayaç tipi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kökleri; yeryüzünün yüzlerce kilometre altındaki derinliklerde bulunmakta ve yüzeye ergimiş magma olarak ulaşmaktadır. Volkanik kayaç genel olarak; dünyanın çeşitli bölgelerinde mevcuttur. Bazalt; aşınma ve kimyasal dayanıklı malzemeler olarak endüstride çok kapsamlı kullanım alanları bulmaktadır. Son yıllarda; FRP kompozit malzemesinin yeni çeşidi; Bazalt Lif Destekli Plastik (BFRP) ismiyle geliştirilmiştir. Bu malzemenin nitelikleri; yüksek dayanım/ağırlık oranı, düşük özgül kütle ve korozyon ve yorulma direnci gibi çeşitli yararlı özellikleri barındırmaktadır. Günümüzde belirtilmiş olan malzeme; inşaat mühendisliği yapılarıyla bağlantılı olarak daha yeni uygulamalara doğru yolunu çizmektedir. Şekil 2.6.'da bazalt lifli kumaş verilmiştir.



Şekil 2.6. Bazalt lifli kumaş [13].

Cam elyafın ana maddesi, silis-kum (SiO_2), oluşturmakla beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, demir gibi elementlerin oksitlerinden üretilmektedir. GFRP kompozit, en çok bilinen ve maliyetinin düşük olması sebebiyle en çok tercih edilen kompozit türüdür. E tipi cam lifini elde etmek için; öncelikle istenen özellikleri life kazandıracak hammaddeler elektrik fırında 1200-1500 °C ergimiş hale gelen hammadde, platin alaşımli binlerce delik bulunan potadan yüksek hızda geçirilir ve soğutma kısmına aktarılır. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak

kompozit hammaddesi olarak piyasaya sürülmektedir. Şekil 2.7.'de cam lifli kumaş gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Cam lifli kumaş [14].

Yüksek teknoloji ürünü olarak kompozit pazarının geniş bir kısmı, karbon veya grafit lif ürünlerinden yararlanmaktadır. İlk ticari amaçlı karbon lifi, piroliz (yanma) ve ısı işleme tabi tutulan sentetik liflerin karbon ve grafit lifine dönüştürülmesi suretiyle üretilmiştir. Sentetik esaslı liflerin çoğunluğu, polikronitril (PAN) kullanılarak elde edilmektedir. Bu liflerin elastik modülleri ve dayanımları, üretim sırasındaki gerilim ve sıcaklık koşullarının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulmaktadır.

Diğer karbon/grafit lifi üretim sürecinde öncelikli olarak zift kullanımını esas almaktadır. Çünkü zift esaslı ürünler çok yüksek elastik modüllere sahip olup, kopmada uzaması düşüktür. Zift, sıvı kristal “mesophase” haline dönüştürülerek piroliz işlemine tabi tutulur ve ısı uygulanarak life dönüştürülür. Bu sayede, yüksek elastik modüllü ve yüksek mukavemet değerlerine sahip ürün elde edilir.

Karbon lifinin diğer takviye liflerine göre daha farklı avantajları da vardır. Nispeten düşük lif yoğunluğu, yüksek mukavemet ve yüksek elastik parça özelliklerini bir araya getirerek üstün bir birleşim özelliği sunmaktadır. Aynı zamanda yüksek ısılarda

özelliğini koruma ve yorulmaya karşı yüksek direnç gösterirler. Fakat bütün bunlarla birlikte karbon lifinin kendi yapısal özelliklerinden kaynaklanan bazı olumsuz yanları da mevcuttur. Liflerin sınırlı uzama özelliğinden dolayı, çarpma ve darbe kuvvetiyle karşılaştığında sorunlara neden olmaktadır. Bu açığı kapatmak amacıyla daha yüksek uzama özelliğine sahip lif ürünleri geliştirilmektedir. Karbon lifinin elektrik iletkenliği de bazı kullanım alanlarında sorun olabilmektedir. Şekil 2.8.'de karbon lifli kumaş verilmiştir.

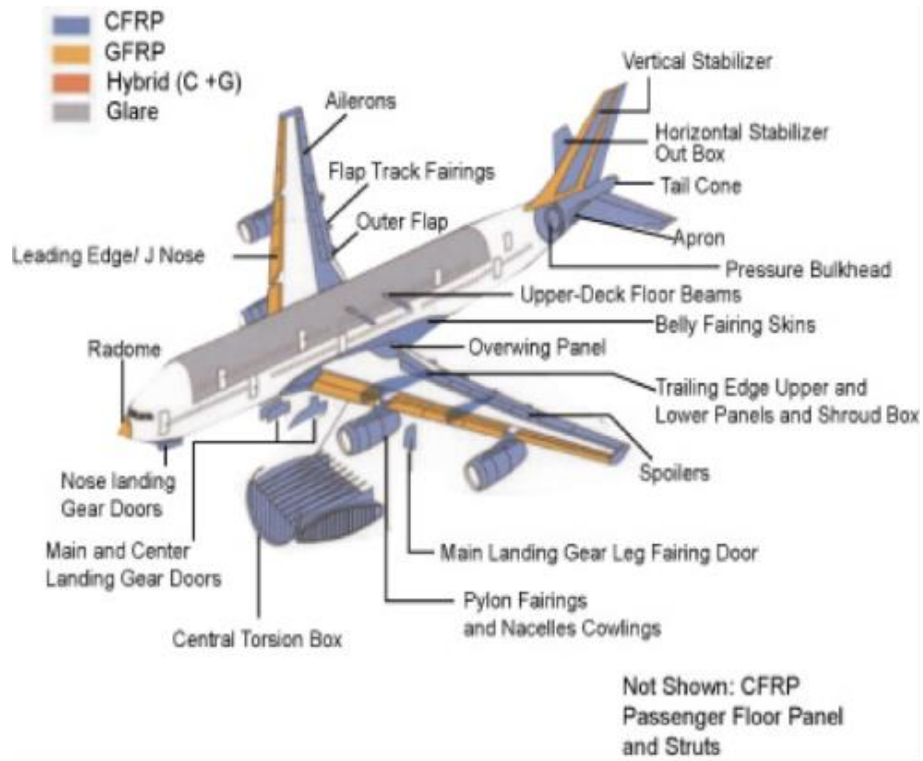


Şekil 2.8. Karbon lifli kumaş [15].

2.2.4.3. Uygulama alanları

Gelişen teknoloji ile pek çok avantajı beraberinde getiren kompozitler içerdiği avantajları sayesinde geniş hammadde temin olanakları ve birleştirme yöntemleriyle son kullanıcıya en iyi avantajı verebilecek hale gelmiştir. Hemen hemen her alanda kullanılmaya başlanmış olan kompozit malzemeler yüksek ve homojen bir kaliteyi garanti etmektedir. Günümüzde su taşıtlarından hava taşıtlarına, spor aletlerinden tıp sektörüne kadar her alanda kullanılan kompozitler mevcuttur. Genel olarak kompozit malzemelerin kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür. Şekil 2.9. ve Şekil 2.10.'da bunlara ait görseller verilmiştir.

- Denizcilik, havacılık ve uzay taşımacılığı
- Savunma sanayi
- Enerji ve elektrik sektörleri
- Depolama tankları, boru ve altyapı
- İnşaat sektörü
- Spor ekipmanları
- Eğlence sektörü
- Mimari iç dekorasyon tasarımı
- Sanatsal uygulamalar
- Medikal cihaz ekipmanları



Şekil 2.9. Yolcu uçağı kısımlarında kullanılan FRP kompozitler [16].



Şekil 2.10. FRP kompozitlerin kullanım alanları [17].

BÖLÜM 3. FRP DONATILAR

FRP kompozitler, kumaş halinde yapı elemanlarını güçlendirme amaçlı kullanılmaya başlamış, sonraları kullanım alanları genişleyerek mevcut yapı malzemelerine alternatif olma yönünde hızla ilerlemiştir. Geçmiş dönemlerde yapı dışındaki diğer alanlarda yoğun şekilde kullanılan bu malzemeler son yıllarda pultruzyon metodu ile üretilerek taşıyıcı yapı elemanı olarak da kullanılmaktadır. Özellikle hafif olmaları sebebiyle hava taşıtları ve uzay endüstrisindeki 50 yıllık serüveni olan FRP'ler dayanım, hafiflik, korozyon direncinin olması sebebiyle inşaat sektörüne güvenilir şekilde girmesini sağlamıştır [18].

Bazı kompozit köprülerde olduğu gibi tamamen FRP malzemelerden üretilmiş yapılar olmasıyla birlikte, özellikle güçlendirme amaçlı geleneksel yapı malzemeleriyle FRP'lerin birlikte kullanıldığı çok sayıda örnek bulunmaktadır. FRP malzemelerin kendi bileşenleri olan matris ve fiberler yapısal iyi bir uyuma sahiptirler ve birçok örnekte olduğu gibi malzemelerdeki üstün özellikler geleneksel yapı malzemeleri ile direk yer değiştirebilmektedir. Ahşap, tuğla, betonarme, çelik ve metal gibi geleneksel yapı malzemeleriyle birlikte kullanılan FRP'ler arasında uyumlu bir birliktelik görülmektedir [19].

3.1. FRP Donatıların Üretimi

Yeni nesil kompozit malzemeler olarak bilinen Fiber Takviyeli Plastik Kompozitlerin yaygınlaşmasının temel sebepleri arasında üstün mekanik performansının yanında son yıllarda bu malzemelerin üretim teknikleri üzerinde artan teknolojik gelişmeler de gösterilebilir. Bu süreçte polyeşter reçineler ile kullanılan tek yöntem, el yatırması metodu iken bugün takviyeli plastiklerin üretimi için işçilik süresini ve karıştırma

hatalarını azaltan, ürün kalitesi ile üretim verimini artıran birçok üretim yöntemi mevcuttur [20].

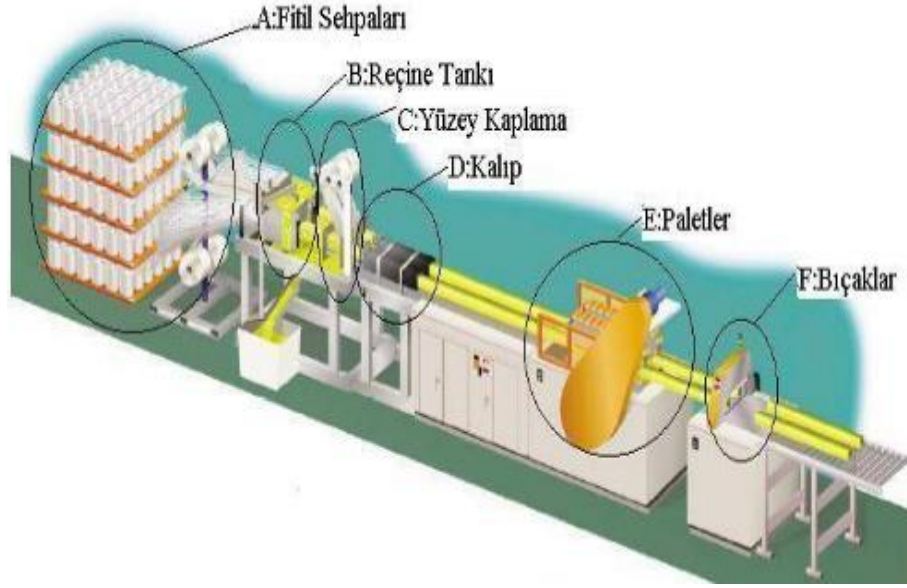
FRP kompozitlerin imal edilmiş yöntemlerini aşağıdaki şekillerde sıralayabiliriz.

- Elle Yatırma (HandLay-Up)
- Püskürtme (Spray-Up)
- Reçine Transfer Kalıplama (Rtm) / Reçine Enjeksiyonu
- Hazır Kalıplama (CompressionMolding)
- Islak Sistem Pres Kalıplama
- Vakum Bonding (Vakum Bagging)
- Otoklav (AutoclaveBonding)
- Preslenebilir Takviyeli Termoplastik(Gmt)
- Lif Sarma (FilamentWinding)
- Profil Çekme (Pultruzyon) Metodu

Bu yöntemler arasında inşaat sektöründe taşıyıcı yapı elamanı olarak kullanılabilen, çelik profil kesitlerine benzer profiller üretilen Pultruzyon metodudur.

3.1.1. Profil çekme (Pultruzyon) metodu

Diğer kompozit üretim yöntemleriyle üretilen kompozitlerin taşıyıcı olarak kullanılan elemanların karşılaması gereken kuvvetlere karşı yetersiz kalması özellikle inşaat sektöründe taşıyıcı eleman olarak kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu sorunu çözebilmek ve malzemeleri ekonomik bir şekilde üretmek için Pultruzyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem 1950 ve 1980'lerin ortalarına kadar dikkat çekici bir süreç geçirmiş ve gelişmiştir [21]. Günümüzdeki modern haline kavuşan Pultruzyon makinesinin çalışma prensibi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Pultruziyon yöntemi şeması [22].

Pultruziyon yönteminde, lif takviyesi olarak kullanılan sürekli liflere ek olarak dokunmuş fitil, keçe ya da bunların karışımının bir veya birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Fitol sehpaları lif, fitil ve keçelerin sarıldığı olduğu makaraların bulunduğu kısım olup, Şekil 3.2.'de de görüldüğü gibi, üretim tezgahında olmayıp makinelerden ayrı bir alanda genellikle en makine sisteminin en arka kısmında bulunmaktadır. Buradaki lif makaralarının sayısı, önceden mekanik özellikleri belirlenen ve üretmek istenilen kompozit malzemenin lif oranı ile değişiklik göstermektedirler.



Şekil 3.2. Fitol makaraları

Pultruziyon makinesi üzerindeki ilk bölüm reçine tankıdır ve matris malzemesi olarak kullanılan reçinenin konulduğu yerdir. Takviye malzemesi olarak kullanılan lifler önce

termoset reçine tankının bulunduğu bu bölümden geçerek reçineye bulanırlar. Reçine emdirilmiş lifler reçine tankından hemen sonra yer alan ön kalıba girerek, içlerindeki hava ve fazla reçinenin süzülmesi sağlanır. Ayrıca, reçinenin takviye malzemesine en yüksek düzeyde teması sağlanmış olur. Ön kalıptan çıkan malzeme, esas kalıba girmeden önce, yüzey kaplama işlemi denilen, atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için yüzeyi karışık yönlü lif lifleri ile kaplanır. Bu yöntemde, lif hacim oranı yaklaşık %55-85'e kadar varan kompozit üretimi gerçekleştirilebilir [19].

FRP malzemesinin pultruzyon işlemi sırasında liflerin reçineyle birleştirilmesiyle çubuk şekline dönüşme aşamalarının birlikte ifade edildiği FRP donatı çubuklar Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. FRP donatı çubukların üretiminde reçine işlemi



Şekil 3.4. FRP donatı çubukları üretim işlemi

Pultruzyon yöntemi ile üretilen malzemeler, önceleri elektrik sektöründe kullanılmaya başlanmasına rağmen korozyon dayanımının dikkate alınmasıyla birlikte inşaat,

otomotiv ve havacılık alanlarında kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. En hızlı gelişim gösteren sektörlerden birisi korozyona dayanıklı malzeme üretimi ve bunların uygulamalarıdır. Bu malzemeler hafif olmaları ve kimyasallara karşı direnci gibi özellikleri nedeniyle arıtma tesislerinde, kimyasal üretim ve diğer bazı endüstriyel tesislerde sıkça kullanılmaktadır.

Pultruzyon yöntemi, diğer yöntemlerden farklı olarak makineler ile yapıldığı için üretim düşük işgücü ile yapılabilir. Üretim esnasında kontrol edilmesi gereken parametreler, kalıbın sıcaklığı, malzemenin çekilme hızı, çekme biçimi (sürekli ya da kesikli), kesilme uzunlukları gibi tüm makine fonksiyonları bir kontrol ünitesi yardımı ile yapılır.

Pultruzyon metodunda, çelikten yapılmış kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp malzemesi olarak kullanılan çeliğin cinsi, kalıp giriş bölgesinde uygulanacak sertleştirme işleminin derecesi, kalıpta kullanılacak ısıtma yöntemi v.b. etmenler kalıbın tasarım kriterlerini oluşturur. Bu metodunda kullanılan kalıplar, yüksek karbonlu çelikten üretilmeli ve krom ile kaplanmalıdır. Şekil 3.5.'te örnek kalıplar verilmiştir.



Şekil 3.5. Örnek kalıplar

Ayrıca, kalıbın boyu birçok faktöre bağlı olmakla beraber, en önemli faktör kesit alanındaki cidar kalınlığıdır. Kalıp uzunluğu genellikle 90 - 110 cm arasında

değişmektedir. Fakat kalıp boyu, küçük çaplı çubuk gibi basit çubuklar için 60 cm; hassas boyutlu karmaşık şekiller için 150 cm ye kadar uzatılabilir. Paletler veya çeneler, üretim sisteminin son kısımlardan biridir ve kalıptan çıkan malzemelerin, bu bölümdeki aparatlar ile çekilmesiyle üretimin sürekliliği sağlanır. Paletlerin çekim hızı genel olarak 0,6-1,2 m/dak olup, çekilen parçanın uygun yapıya sahip olması halinde 3 m/dak hıza kadar artabilir. Pultrüzyon metodu otomatik ve ucuz üretim olarak bilinmektedir. Şekil 3.6.'da üretim sisteminin son aşamalarından biri olan FRP kompozitlerin palet ile sistemden çıkarılması verilmiştir.



Şekil 3.6. Paletlerden FRP donatuların çıkma işlemi [22].

Bıçaklar (Şekil 3.7.), üretim sisteminin en son kısmında yer alan birimdir. İstenilen uzunluğa gelen donatılar, bıçaklar otomatik olarak kesilir ve üretim tamamlanır.



Şekil 3.7. Bıçaklar [22].

Bütün FRP kalıplama metotlarında olduğu gibi pultrüzyonda da temel yapı, lifli bir takviye malzemesi ile taşıyıcı matris olarak reçine üzerine kurulmuştur. Bunlarla

birlikte dolgu, katalizör, iç kalıp ayırıcı ve renklendirici malzemelerden de yararlanılmaktadır.

FRP üretiminde, kullanılan reçinelerde aranan en önemli özellik üretim hızını yüksek düzeyde tutabilecek reaktiviteye ve liflerde iyi ıslanmayı sağlayabilecek düşük viskoziteye sahip olmasıdır. Bu bağlamda, pultruzyon yönteminde kullanılan reçinelerin % 90'ı polyester ve vinil reçinelerdir. Son yıllarda epoksi ve fenolik reçineler, spesifik performans özellikleri aranan ürünlerin kalıplanmasında kullanılmaya başlanmıştır. Fenolik reçineler, "pultruzyon" yöntemiyle üretilen ürünlere yanmazlık ve düşük duman yayma özellikleri kazandırılırken, epoksiler yüksek mukavemet, yüksek ısı dayanımı ve elektriksel özelliklerde yüksek performans sağlamaktadır.

Pultruzyon yönteminin önemli özelliklerinden biri de, kullanılan reçineye farklı dolgu malzemesi katılabilmesidir. Örneğin;

- Maliyeti düşürmek için, 3-6 mikron boyutunda kalsiyum karbonat (kalsit),
- Alev dayanımı istendiğinde alüminyum hidroksit,
- Korozyon dayanımı istendiğinde, kil,
- Elektriksel yalıtım istendiğinde, alüminyum trihidrat v.b. çeşitli dolgu maddeleri eklenebilir.

Bu yöntemde birçok tipte takviye malzemesi kullanılır;

- Tek uçlu veya çok uçlu fitiller
- Bükümlü veya tek stürize fitiller
- Kontinü (sürekli) keçeler
- Yüzey keçeleri ve tüller ve örgülü kumaşlar

Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş çubuklar aksenal yük altındaki performansı ve büyük boyutlu üretilebilmesi nedeniyle köprü gövdelerinde tercih edilmektedir. Yaya üstgeçitlerinde ve taşıt köprü platformlarında sağladığı avantajlar nedeniyle ürün

tasarımlarında bu yöntem kullanılmaktadır. Bunların dışında, altyapı sektöründe pultrüzyon yöntemiyle üretilen çubuklar için, her geçen gün daha çok kullanım alanı keşfedilmektedir.

3.2. FRP'lerin Betonda Donatı Olarak Kullanılması

FRP malzemelerin özellikle, durabilite ve korozyona karşı direncinin iyi olması sebebiyle beton içerisinde kullanılan çeliğe alternatif olarak kullanılması olmuştur. Özellikle deniz yapıları ve su etkisinde kalan diğer yapı elemanlarında beton içerisindeki donatı korozyona uğrayarak net kesit alanı azalarak hem donatı çeliğinin istenen dayanımı kaybetmesine yol açmakta hem de zamanla hacmi artan çelik, betonu patlatarak yapı elemanının işlevsiz hale getirebilmektedir. Günümüzde betonun kullanıldığı uygulamalar artarak; beton gaz tankları, nükleer santrallerin yüksek basınç depoları, açık deniz petrol platformları, iskele ve rıhtım betonları, köprü ayak ve tabliyesi gibi uygulamalar görülebilmektedir. Bu gibi yapıların yeterli servis ömrüne sahip olmaları için yeni tasarımlar ile mümkün olabilmektedir. Çünkü yapılmış bir yapının sonradan oluşacak problemleri ortadan kaldırmak zaman ve maliyet demek olduğunda unutulmamalıdır. Şekil 3.8.'de korozyon sebebiyle gerekli ihtiyaçları karşılayamayan yapı elemanları verilmiştir.



Şekil 3.8. Korozyona uğramış yapı elemanları [1, 23].

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde, zemin suyu etkisinde kalmış betonarme yapılarda, deniz suyuna maruz kalan ve denize yakın yapılarda korozyon nedeni ile beton ve donatıda ciddi hasarlar gözlenmektedir. Zemin suyunun etkili olduğu

bölgelerde su yalıtımı yapılmayan yapıların, deprem sonrası yıkılan ve hasar gören bodrum kat taşıyıcı sistemleri incelendiğinde çelik donatı korozyona uğramış ve betonarmenin niteliğini kaybettiği gözlemlenebilmektedir.

Hafiflik, FRP donatıların başka bir avantajıdır. Betonarme çeliğine göre 3 - 5 kat daha hafif olması hem yapı yükünü azaltmakta hem de saha içi uygulama sevkياتında kolaylık sağlamaktadır. Elektromanyetik alana duyarlı manyetik rezonans istenmeyen hastane gibi ortamlarda çok düşük elektrik iletkenliği ve elektromanyetik alan oluşturmaması sebebiyle ile istenen tesis ve yapılarda kullanımı avantaj sağlamaktadır.

Günümüzde en çok kullanılan FRP donatı türlerine bakıldığında; cam lif takviyeli plastik (GFRP), karbon lifi takviyeli plastik (CFRP), aramid lif takviyeli plastik (AFRP) ve bazalt lifi takviyeli plastik (BFRP) başlıca bilinen FRP donatılardır. Bu donatılar üretim aşamasında farklı yöntemler kullanılarak yüzey özellikleri değiştirilebilmektedir. Şekil 3.9.'da günümüzde yaygın olarak kullanılan farklı yüzey özelliklerine sahip FRP donatılar gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Farklı Yüzey özelliklerine sahip FRP donatılar [24].

3.3. FRP Donatıların Gelişim Süreci

Farklı lifler kullanılarak öncelikle kumaş veya keçe haline getirilerek sonrasında ise profil şeklinde üretilen FRP kompozitler en son olarak dairesel kesitli donatı şeklinde üretilmeye başlanmıştır. Çelik donatıların korozyon problemi (Şekil 3.10.)

araştırmacıları farklı malzemeler bulma çabasına yöneltmiştir. FRP donatı çubukların inşaat sektöründe beton içerisinde birlikte kullanımını artıran bir ilgiye sahiptir. FRP çubukların kullanımını ile ilgili 1970'lere kadar yapılan araştırmalar sınırlı sayıda olup, yapı elemanlarında güçlendirme veya ön gerilmeli betonlar için kullanımını konusunda çok az sayıda örnek mevcuttur. 1980'lerin başında, cam takviyeli lif çubuklar Vega Technologies Inc. tarafından inşaat mühendisliği uygulamaları için üretilmeye başlanmıştır [25]. Bu çubuklar elektromanyetik etkileşim problemi olan fabrikalarda manyetik alan oluşturmaması için kullanılmaya başlanmıştır. O yıllarda FRP çubuklar çelik donatılar ile maliyet açısından rekabet edemezken çelik donatılara tek alternatif olarak ortaya çıkmıştır [26].



Şekil 3.10. Beton yapı elemanlarında çelik donatı korozyonu [1].

FRP malzemelerin donatı olarak kullanımı ile ilgili Amerika Birleşik Devletleri'nde 1990'lı yıllarda, özellikle köprülerdeki korozyon etkilerine karşı plastik kompozitlerin kullanımı başlamış [27], özellikle köprü kiriş ve ızgaralarında korozyona karşı genel bir çözüm olarak düşünülmüştür [28]. Kanadalı inşaat mühendisleri Kanada otoyollarındaki köprülerde FRP kullanımı ile ilgili birçok proje gerçekleştirmiştir. Headingley Köprüsü'nde CFRP ve GFRP kullanılmış [29], bununla birlikte CFRP kirişler negatif moment bölgesinde kullanılmıştır [30]. Joffre Köprüsü'nde GFRP donatılar CFRP kirişler ile birlikte kullanılmış ve 1997 yılında trafiğe açılmıştır [28]. GFRP donatıların köprü döşemesinde kullanımı Şekil 3.11. - 3.13.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Ohio'da köprü döşemesinde GFRP donatılar [1].



Şekil 3.12. Salem Avenue Köprüsünde GFRP kullanımı [1].



Şekil 3.13. Emma Park Köprüsünde GFRP Kullanımı [1].

Amerika’da International Grating Şirketi tarafından üretilen yüzeyi kum kaplı FRP donatılar deneysel açıdan incelenmek üzere birkaç köprü tablasında kullanılmıştır. Birçok şirket 1990’larda yüzey özelliklerini geliştirmek için FRP donatıların yüzeyinde nervürlene işlemleri gerçekleştirmiştir. Bu şirketler Creative Pultrusions, Glasforms, Vega Technologies, International Grating, Hughes Brothers ve Pultralldır. 1990’larda ayrıca Karbon takviyeli plastiklerin yüzey özelliklerini geliştirmek için iplik sarma, kum kaplama gibi deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kapsamlı bilimsel çalışmalar 2000’lerde çeşitli betonarme kiriş ve döşemelerin davranışı incelenerek yapılmıştır. 2001’de Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) FRP çubukların beton içerisinde kullanımı ile ilgili ilk tasarım rehberi ACI 440.1R-01 yayınlamıştır. Bu rehber daha sonra 2003 yılında revize edilerek ACI 440.1R-03 olarak yayınlanmıştır. Günümüzde kullanılan tasarım rehberi ise 2006 yılında yayınlanan ACI 440.1R-06’dır [11]. FRP çubukların korozyon direnci nedeniyle Amerika’da kullanımı araştırılırken, Japonya’da da benzer çalışmalar devam etmiştir. Japonya’daki çalışmalar daha çok Karbon takviyeli plastikler üzerine olmuştur. Çünkü Cam takviyeli plastiklerin beton ile birlikte kullanımında camın alkali ortamda bozulmanın meydana gelmesinden dolayıdır. Japonya’daki çalışmalar FRP malzemeler ile ızgara üretimi üzerine yoğunlaşmışlardır [26].

Günümüzde Cam takviyeli ve Karbon takviyeli FRP çubuklar Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa'daki birçok şirket tarafından üretilmektedir. FRP çubukların donatı olarak kullanımı yaygınlaşmasıyla birlikte her geçen gün yeni gelişmelere açık bir sektör haline gelmiştir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. FRP donatıların köprü döşemelerinde kullanımı [1].

Günümüzde FRP donatıları farklı yüzey özelliklerinde üreten ülkemizin de içinde olduğu birçok firma mevcuttur. Korozyon problemlerinin sık yaşandığı, elektro manyetik alan istenmeyen yapılar, kimyasal çözeltilerin etkisine maruz yapılar, su ve nem etkisindeki kıyı yapıları gibi alanlarda FRP donatıların kullanımı artarak devam etmektedir (Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.). Son yıllarda FRP malzemelerde kullanılan lif

türlerinin çeşitliliği de artarak, mevcut çalışmalarda başta GFRP, CFRP olmak üzere AFRP ve BFRP donatıların performansları araştırılmaktadır.



Şekil 3.15. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı [1].



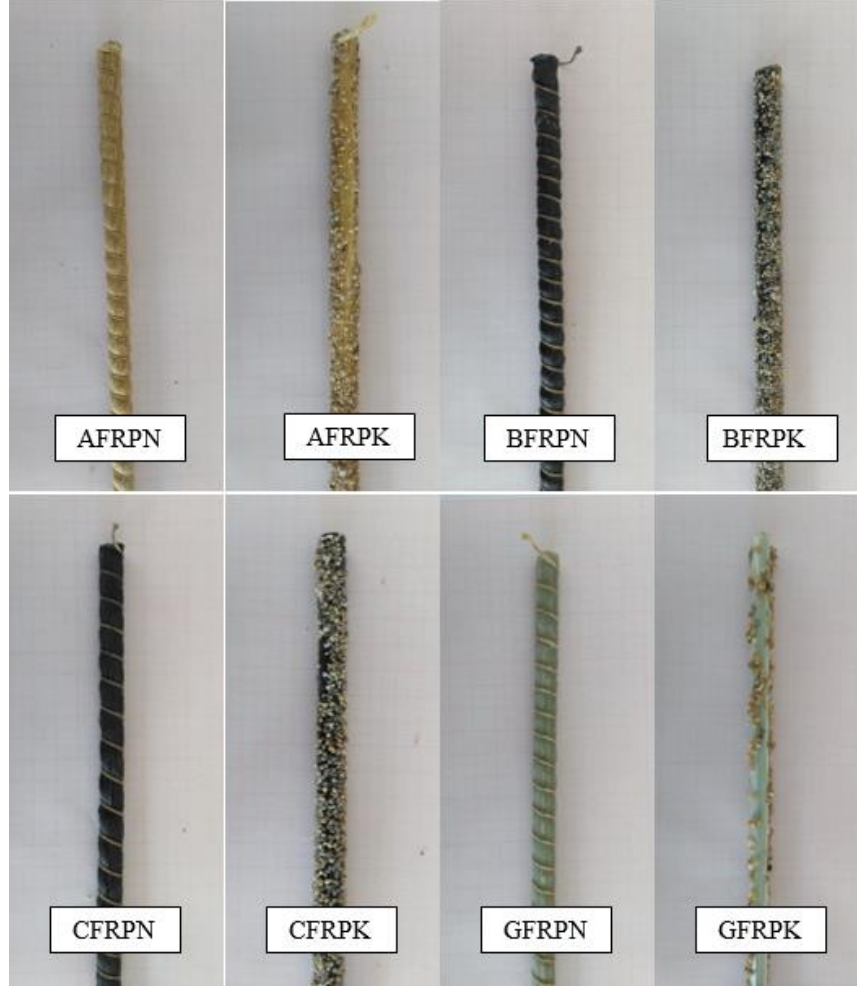
Şekil 3.17. FRP donatıların kıyı yapılarında kullanımı [1].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım materyal ve metodun belirlenmesi, ikinci kısım ise deneysel çalışma sonuçlarını içermektedir. Birinci kısımda deneysel çalışmalar için öncelikle FRP donatıların hazırlanması lif oranları, özgül ağırlıkları, mekanik özellikleri bulunmuş sonrasında döşemelere ait, CAD tasarımları, kalıp sistemi ve döşeme deney sistemi verilmiştir. İkinci kısımda ise yapılan deneysel çalışma sonuçları grafikler, tablolar halinde verilmiştir.

4.1. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalar için proje kapsamında FRP donatılar ESA KİMYA A.Ş.'den temin edilmiş diğer çelik donatılar, plywood ahşap kalıplar, plastik kelepçeler, kalıp vidaları ise yapı malzemeleri satışı yapan firmalarından temin edilmiştir. Deneysel çalışmaların tamamı Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılacak deneysel çalışma için Şekil 4.1.'de kullanılmış FRP donatıları ve Tablo 4.1.'de döşemelerin kodları, açılımları ve adetleriyle verilmiştir. Burada FRP donatı türü ile döşeme kodları aynı olacak şekilde devam edilmiştir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışma için kullanılacak FRP donatılar

Tablo 4.1. Döşeme kodları ve açıklımları

Döşeme Kodu	Döşeme Özellikleri	Döşeme Adedi
Çelik Donatılı	S420 Çelik donatılı döşeme	3
AFRPN	Yüzeyi nervürlü AFRP donatılı döşeme	3
AFRPK	Yüzeyi kumlu AFRP donatılı döşeme	3
CFRPN	Yüzeyi nervürlü CFRP donatılı döşeme	3
CFRPK	Yüzeyi kumlu CFRP donatılı döşeme	3
BFRPN	Yüzeyi nervürlü BFRP donatılı döşeme	3
BFRPK	Yüzeyi kumlu BFRP donatılı döşeme	3
GFRPN	Yüzeyi Nervürlü GFRP donatılı döşeme	3
GFRPK	Yüzeyi Kumlu GFRP donatılı döşeme	3

4.1.1. FRP donatuların fiziksel ve mekanik özellikleri

Bu kısımda deneysel çalışma için kullanılacak olan FRP donatuların lif oranları, çelik ve FRP donatuların özgül ağırlıkları ve çekme gerilmesi deneyleri yapılmış ve başlıklar halinde verilmiştir.

4.1.1.1. Donatuların özgül ağırlıklarının belirlenmesi

Özgül ağırlığı hesaplanacak olan her tür FRP donatı için 4 adet 25 cm boyutlarındaki donatılar Arşimet Terazisi ile özgül ağırlık tayini yapılmıştır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Donatuların özgül ağırlıklarının belirlenmesi

4.1.1.2. FRP donatuların lif oranlarının belirlenmesi

FRP donatuların üretilmesi aşamasında kendini oluşturan matris ve lif miktarına göre mekanik davranışları değişebilmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan FRP donatuların lif miktarları her donatı türü için belirlenmiştir. Kum yüzeyli donatuların lif oranlarını belirlenmesinde, yüzeye yapışmış olan kum tanecikleri basit el aletleri ile temizlenmiştir. Nervür yüzeyli donatularla ilgili lif oranı için herhangi bir işlem

yapılmamıştır. Lif oranı tayini için her bir FRP donatı (Ø10) çeşidinden uygun boyutlarda hazırlanmıştır. FRP donatılar, lif oranları belirlenmeden önce tartılmış ve ardından 400 °C fırında iki saat süre ile içeriğindeki epoksi yakılmıştır. Yakma işleminin ardından FRP donatılar tekrar tartılarak ağırlıkça lif oranları belirlenmiştir. Aşağıda FRP donatıların lif oranlarının belirlenmesinde kullanılacak FRP donatıların görselleri verilmiştir (Şekil 4.3. - Şekil 4.6.).



Şekil 4.3. Deney sisteminde kullanılan FRP donatılar



Şekil 4.5. FRP matris elemanlarının yakılması

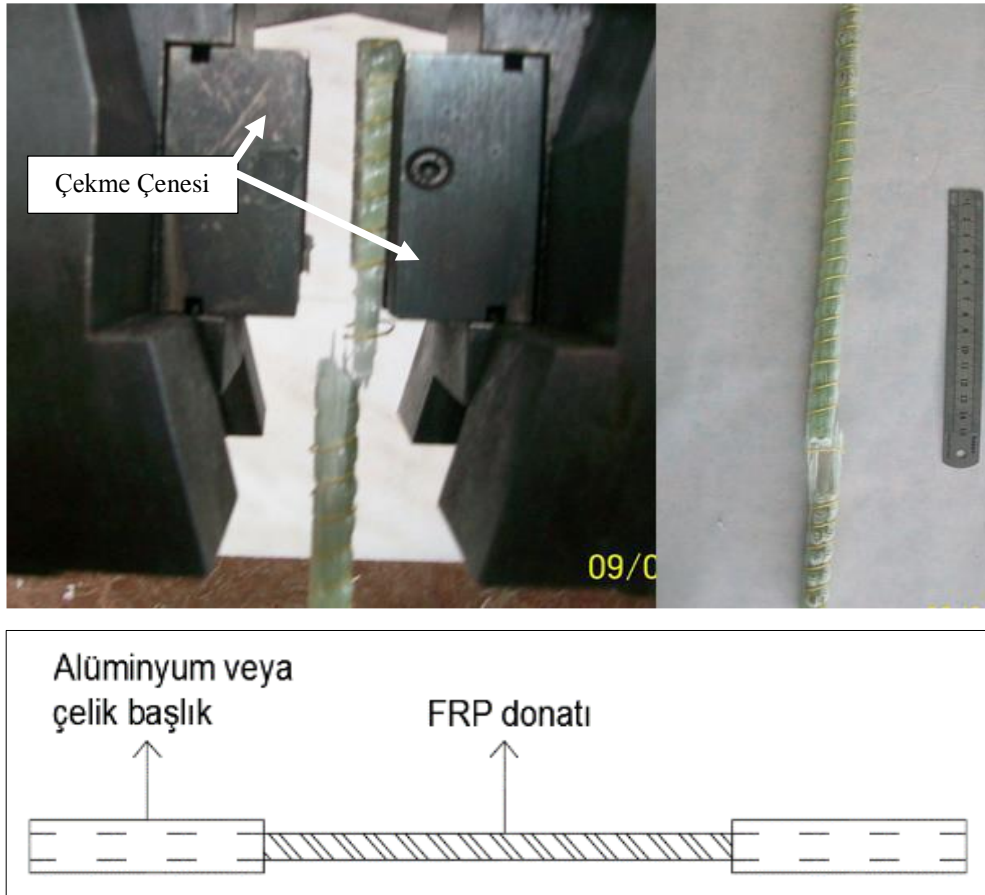


Şekil 4.6. Matris malzemesinin yakılma sonrası FRP lifler

4.1.1.3. Çekme özelliklerinin belirlenmesi

Çekme deneylerinde 40 ton çekme kapasitesine sahip, hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlı çekme makinesi kullanılmıştır. AFRP, BFRP, CFRP, GFRP ve çelik donatılara çekme testleri yapılmış, malzeme davranışları incelenmiştir. Tüm donatı türlerinden dörder adet 25 cm boyutlarında deney numuneleri hazırlanmıştır. FRP donatıların uç kısımları çekme makinesinin çeneleri tarafından ezilmeye maruz kalarak donatılın orta bölgesi yerine kesiti daralan çene kısmından kopma meydana

gelmektedir. Bu durum deneysel başarısızlığa yol açmaktadır. Bu nedenle donatıyı kavrayan çene boyunca donatılara alüminyum başlıklar yapılmıştır. Donatıların uç kısımlarına 7,5 cm'lik yapılan alüminyum başlıklar çift bileşenli epoksi malzeme ile yapıştırılmıştır. Şekil 4.7.'de başlıksız donatının çekme anındaki durumu ve CAD ortamında tasarlanmış başlık kesiti verilmiştir. Şekil 4.8.'de başlıklama işlemi yapılmış FRP donatılar verilmiştir.

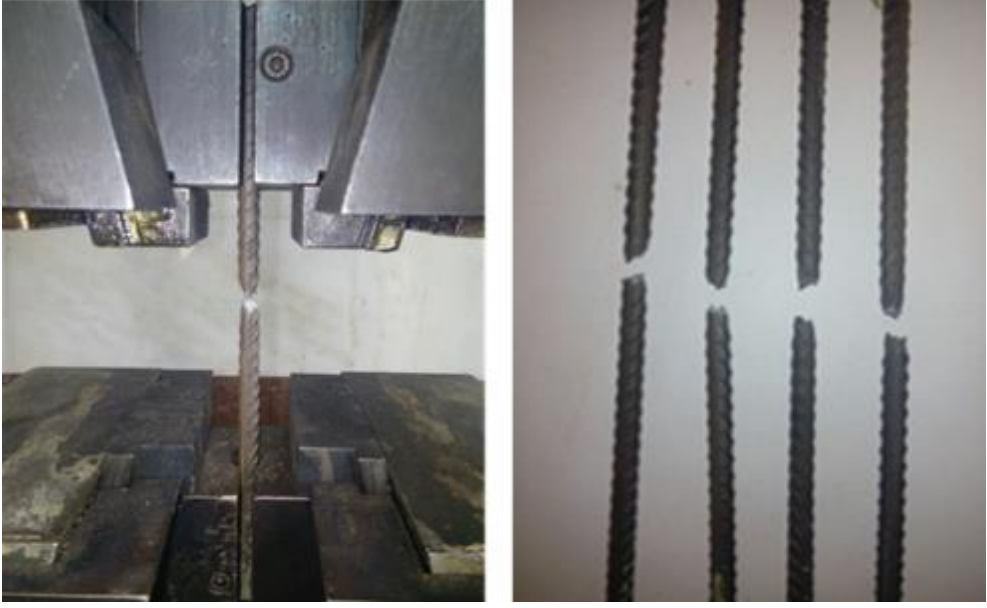


Şekil 4.7. Cad ortamında başlıklama yapılmış FRP donatı

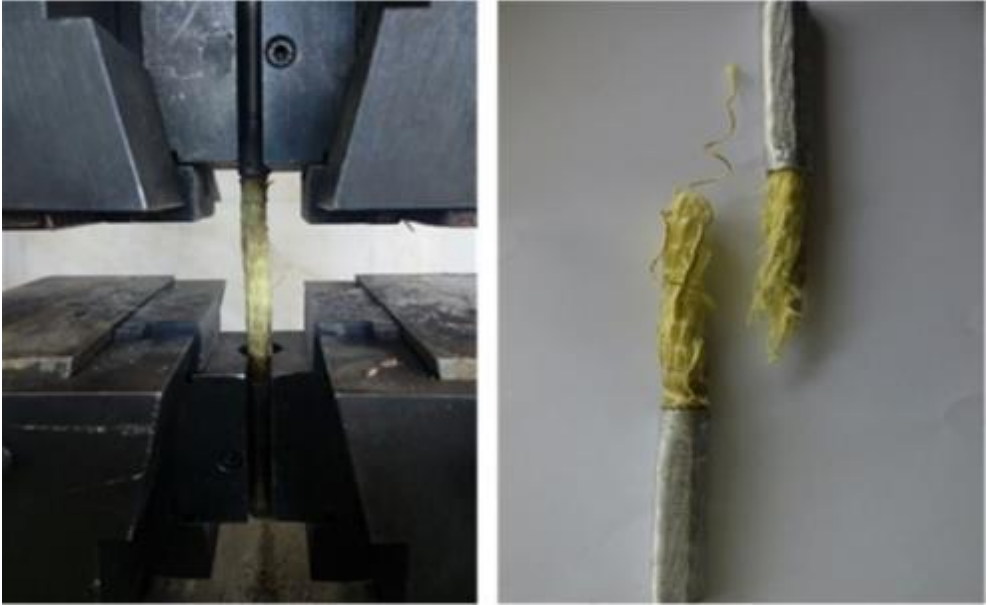


Şekil 4.8. Başlıklı FRP donatılar

Çekme deneyleri sonunda donatılara ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri çizilmiş, çekme davranışları incelenmiştir. Aşağıda yapılan deneysel çalışmalara ait görseller verilmiştir (Şekil 4.9. - Şekil 4.13.).



Şekil 4.9. Çelik donatıların çekme testleri



Şekil 4.10. AFRP donatıların çekme testleri



Şekil 4.11. BFRP donatuların çekme testleri



Şekil 4.12. CRFP donatuların çekme testleri



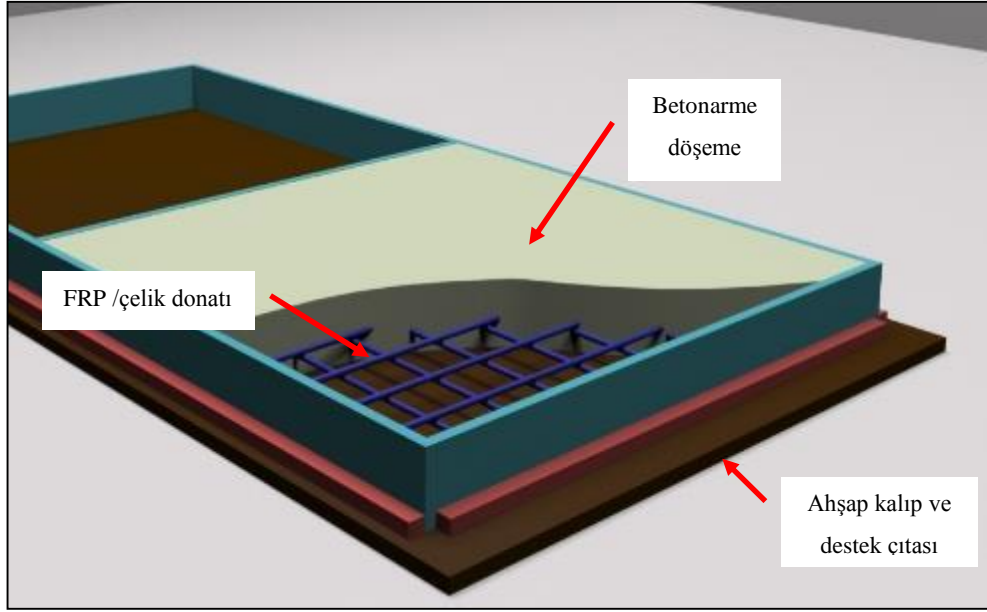
Şekil 4.13. GFRP donatıların çekme testleri

4.1.2. Betonarme döşeme sisteminin hazırlanması

Bu bölümde imal edilen döşeme sistemi, yükleme durumları, deney sistemi ve ekipmanları, beton döküm işlemleri verilmiştir.

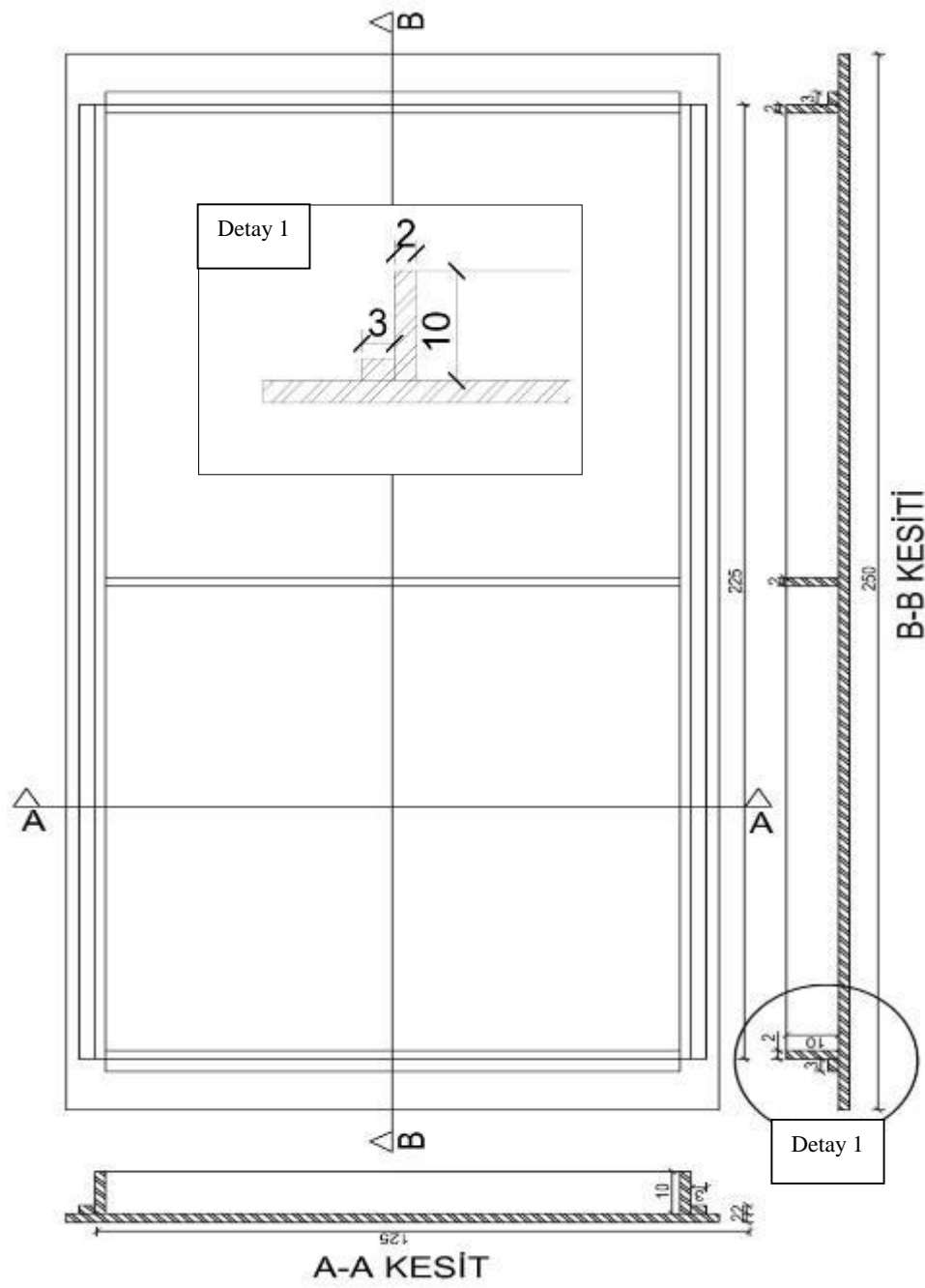
4.1.2.1. Döşeme sisteminin tasarlanması

Döşeme kalıpları piyasadan temin edilen plywood kalıp plakaları ile yapılmış olup tasarıma uygun hale getirilmesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarlarında bulunan makine ve el aletleri ile yapılmıştır. Bu çalışmada döşeme boyutları 110-110-10 cm olduğundan dolayı kalıp ölçüleri bu verilere göre tasarlanmıştır. Çalışma için temin edilen plywood gerekli kalıp sistemi için kullanılmıştır. Şekil 4.14.'de CAD ortamında hazırlanan kalıp sistemi verilmektedir.



Şekil 4.14. Betonarme döşeme ve kalıp sistemi

Kalıpların yapılması aşmasında 125 - 250 cm ölçülerinde plywood kalıplar taban kalıbı için kullanılmıştır. Her bir plywood plakası için iki adet betonarme döşeme yapılacağı düşünülmüştür. Burada kısa kenar kalıp yan yüzeyleri 110-10 cm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Uzun kenar kalıp elemanları ise 226-10 cm ölçülerinde hazırlanmıştır. Kalıp yan yüzeylerini desteklemek amacıyla 3 cm genişlikte destek çıtaları montajı yapılmıştır. Montaj aşamasında kalıp sistemlerin ileri dönem için sıyırılmasını engellemek ve kolaylıkla sökülebilmesi için vida kullanılmıştır. Şekil 4.15.'te kalıp sisteminin plan - kesit ve ölçüleri, Şekil 4.16.'de ise yapımı tamamlanmış kalıp verilmiştir.



Şekil 4.15. Döşeme kalıp sistemi detayları



Şekil 4.16. Kalıp sisteminin hazırlanması

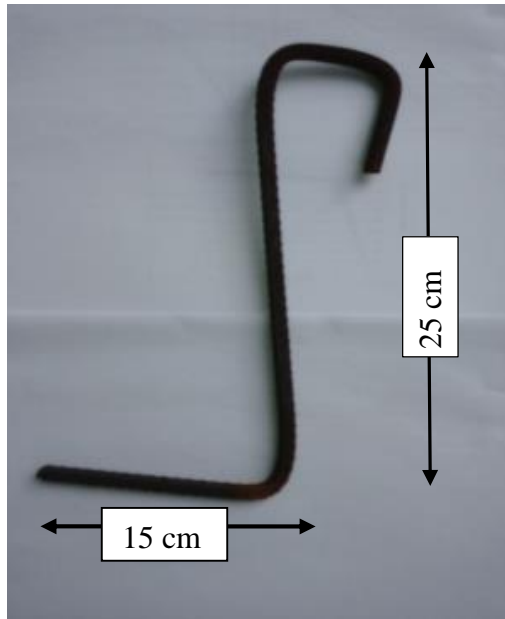
4.1.2.2. FRP donatıların hazırlanması

Yapılan çalışmada betonarme donatı çeliği ile birlikte aramid, bazalt, cam ve karbon FRP donatıların nervürlü ve kumlu yüzeyli yüzey özelliklerine sahip donatılar kullanılmıştır. Fabrikada üretilmiş olarak gelen donatılar laboratuvarında 100 cm boyutunda olacak şekilde kesilmiştir. Kullanılan donatı kesit alanı döşeme kesit alanının % 0,86'sı olacak şekilde hesap edilmiştir. Her bir donatı çeşidine ait üçer döşeme deneyi yapılmıştır. Donatılar çift doğrultulu olarak donatı arası 10 cm olacak şekilde dizilmiştir. FRP donatılar plastik kelepçe ile çelik donatılar ise standart bağ teli ile bağlanmıştır. Donatı montajı esnasında fazlalık olan plastik kelepçe kısımları ve bağ teli el aletleri ile kesilmiştir. Donatı montajının tamamlanmasının ardından 2,5 cm'lik pas payları kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 4.17.'de hazırlanmış donatı sistemi verilmiştir.

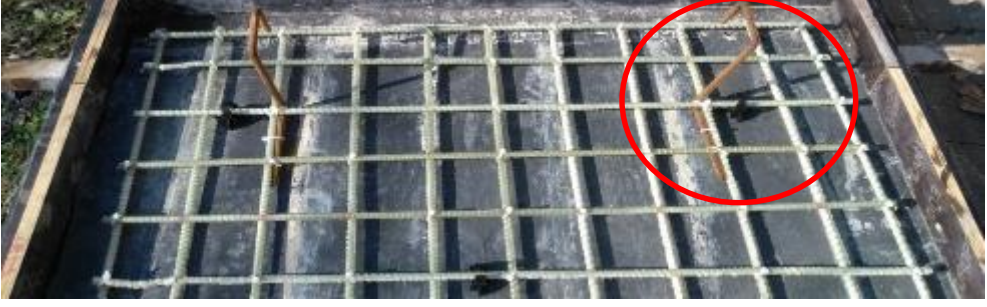


Şekil 4.17. FRP Donatı çubuklarının hazırlanması ve montaj aşaması

Her bir plywood kalıp sistemine iki adet döşeme gelecek şekilde hazırlanmıştır. Betonarme döşemeleri kalıplarından ayırmak ve deney sistemine yerleştirmek için her döşemeye dört adet demir kanca yapılmıştır. Şekil 4.18.'de yapılan bu kancalar verilmiştir. Kancalar donatılara plastik kelepçe ve bağ teli ile birbirlerine sabitlenmişlerdir (Şekil 4.19.). Şekil 4.20.'de donatıların kalıplara yerleştirilmesi, Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de pas paylarının detayları görülmektedir.



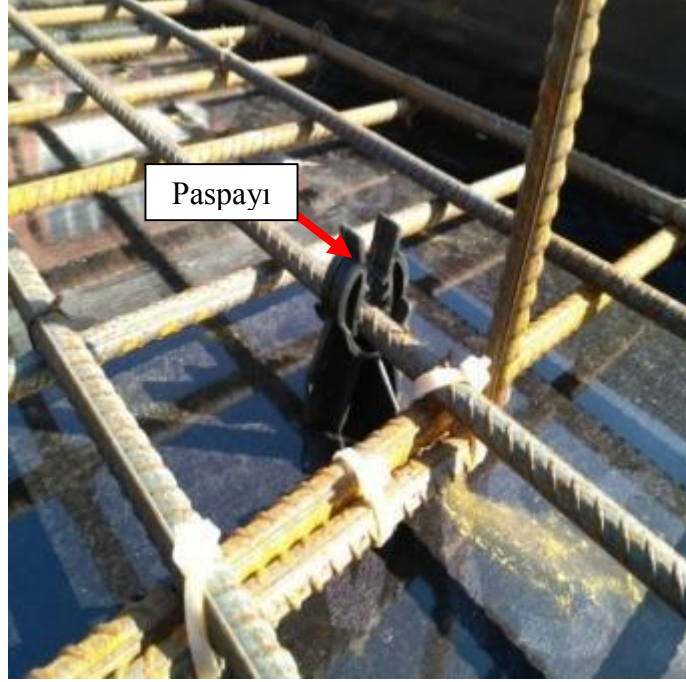
Şekil 4.18. Döşeme için kullanılan kanca



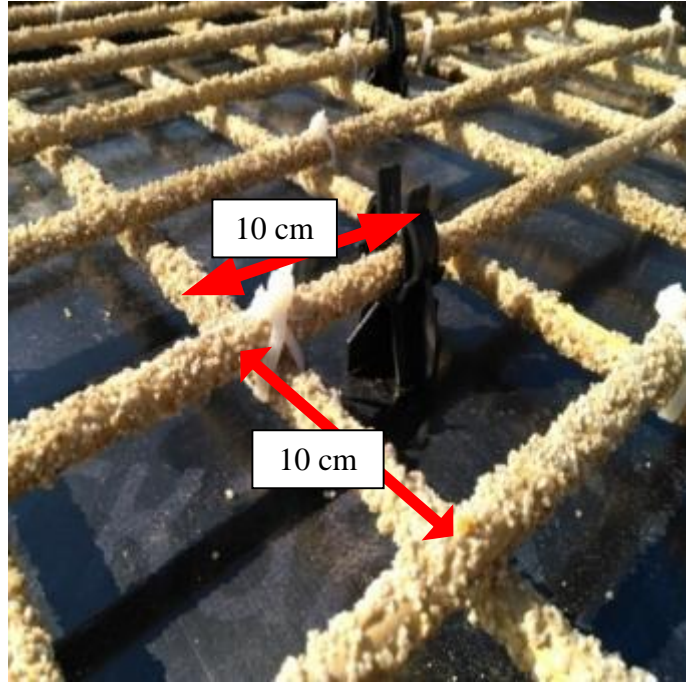
Şekil 4.19. Kancaların donatılara sabitlenmesi



Şekil 4.20. FRP donatıların kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 4.21. Paypayının yerleştirilmesi



Şekil 4.22. Donatılar arası mesafeler

4.1.2.3. Beton döküm, numune ve kür işlemleri

Yapılan çalışma için, hazır beton tesisinden temin edilen beton kullanılmıştır. Bu çalışmada, aramid, bazalt, cam ve karbon donatıların kum ve nervür yüzeylerine sahip

çeşitlerinden üçer adet ve üç adette çelik donatılı döşeme üretilmiştir. Her bir döşemenin kenar uzunlukları 110 cm ve döşeme yüksekliği 10 cm olacak şekilde hesaplanarak ve buna ek standart numune betonu için toplamda 3,5 m³ lük beton kullanılmıştır. Beton sınıfı tasarım aşamasında C20/25 olarak kararlaştırılmıştır. Her bir kalıba beton döküm sonrasında vibrasyon tekniği uygulayarak betonun kalıp içinde yerleşmesi ve boşlukların azaltılmasına dikkat edilmiştir. Döküm işlemi sonrasında beton yüzeyini düzeltme amaçlı master aleti ile düzeltilmiştir. Şekil 4.23.'te beton döküm işlemi verilmiştir.



Şekil 4.23. Beton döküm işlemi

Üretilen C20/25 betonun istenilen dayanıma sahip olup olmadığının kontrolü için numune alımı yapılmıştır. Bu doğrultuda uygun şekilde küp numuneler alınmıştır (Şekil 4.24.). Beton döküm işleminin tamamlanması ve döşeme kodlarının isimlendirilmesi Şekil 4.25.' te verilmiştir.



Şekil 4.24. Taze beton numune alma işlemi



Şekil 4.25. Beton dökme işleminin tamamlanması ve isimlendirilmesi

Betonda arzu edilen özelliklerin gelişebilmesi için betonun, yerleştirilmesi ve yüzeyinin perdahlanması işlemlerinden sonra, yeterli süre boyunca gerekli nem içeriğinin ve belirli ortam koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle deney

numuneleri 28 günlük süreç boyunca kr havuzunda bekletilmiş döşemeler ise her günde iki kez ıslatılmıştır (şekil 4.26. ve şekil 4.27.).



şekil 4.26. Beton numunelerin kür havuzunda bekletilmesi



şekil 4.27. Betonarme döşemelerin kr edilmesi

4.1.2.3. Döşeme deneyleri uygulama sistem ve ekipmanları

Deneysel çalışma Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan 200 kN kapasiteli HI-TECH MAGNUS marka yükleme çerçevesi ile yapılmıştır. Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.'da yükleme çerçevesi verilmiştir.

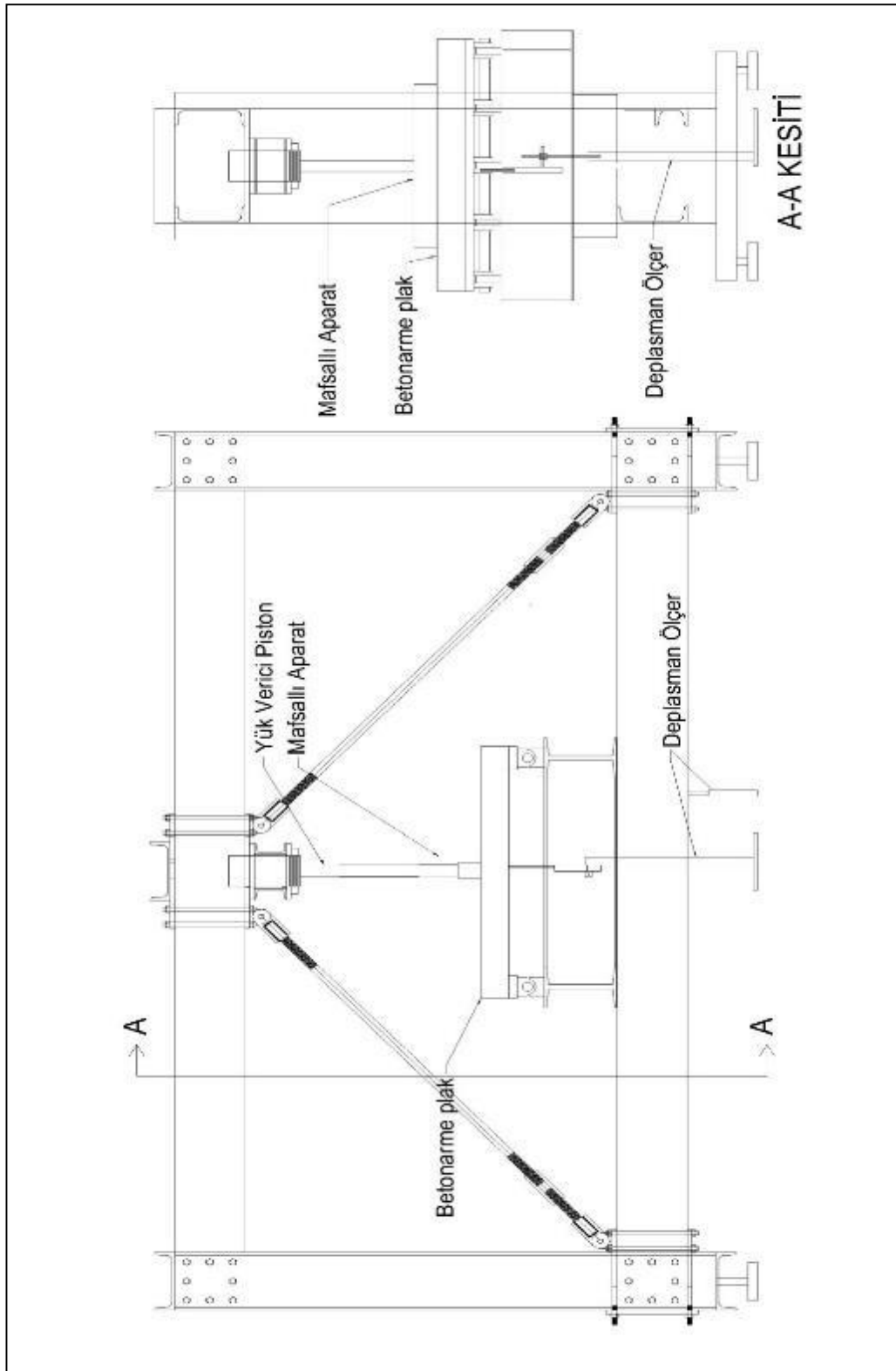


Şekil 4.28. Eğilme çerçevesi

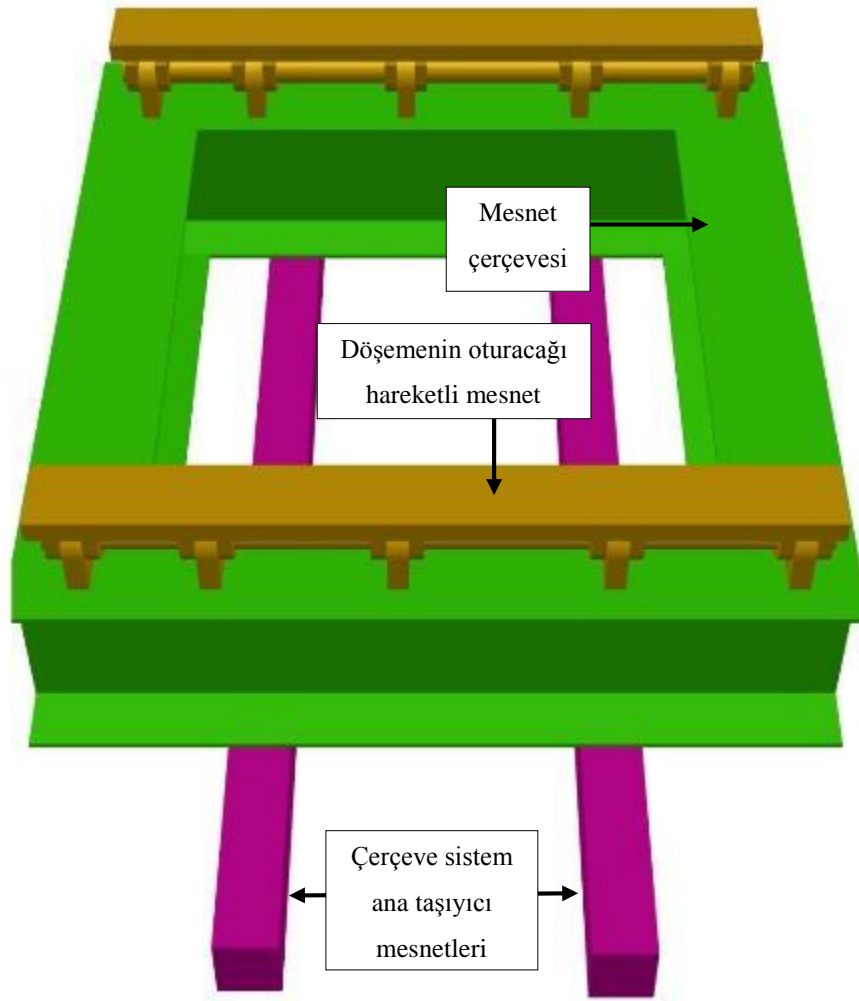


Şekil 4.29. Deney çerçevesi yük uygulama kısımları

Betonarme döşeme deneyleri için yükleme platformuna mesnet sistemi tasarlanmış olup aşağıdaki şekil CAD ortamında çizilen mesnet sistemi verilmiştir (Şekil 4.30. ve Şekil 4.31.).



Şekil 4.30. Eğilme çerçeve sistemi



Şekil 4.31. Döşeme deneyi için hazırlanmış mesnet düzeneği

Yük altında kalan döşeme, yük uygulayıcı hidrolik loadcell 200 kN kapasiteli ve bilgisayar veri işlemeli özelliğe sahiptir (Şekil 4.32.). Sehim miktarını ölçen potansiyometre (Şekil 4.33.) cihazı bilgisayara veri aktarabilen özellikte olup iki adet kullanılmıştır. Bunlardan biri yük altında çerçeve sistemde oluşabilecek bir miktar çökme olacağı varsayılarak zemin ile çerçeve sistemin altına (Şekil 4.34.) ve diğeri zemin ile plağın alt kısmının ortasına yerleştirilmiştir. Şekil 4.35.'de tamamlanmış deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 4.32. Loadcell



Şekil 4.33. Potansiyometre



Şekil 4.34. Çerçeve sisteme yerleştirilmiş potansiyometre



Şekil 4.35. Deneş yükleme sistemi

4.1.3. Beton basınç dayanımları ve döşeme deneyleri

Taze betondan alınan küp numuneler 28 günlük kür bakımından sonra havuzundan alınmış ve 24 saat boyunca açık havada bekletilmiştir. Beton kalitesinin yeterli dayanımda olup olmadığını belirlemek amacıyla beton basınç dayanım testi uygulanmıştır. Şekil 4.36.'da basınç testleri verilmiştir.



Şekil 4.36. Beton basınç testleri

Her bir döşemeden üçer adet üretilmiş olup görselleri verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda öncelikle çelik donatılı döşeme ve ardından sırasıyla AFRPK, AFRPN, BFRPK, BFRPN, CFRPN, GFRPK ve GFRPN donatılı döşemelerin eğilme deneyleri verilmiştir. Her döşeme türü için yük-sehim grafikleri çizilmiş, döşemelerin kırılma şekilleri değerlendirilmiştir. Şekil 4.37.'de çelik donatılı döşemenin deney anındaki hali verilmiştir.



Şekil 4.37. Çelik donatılı döşeme kırılma öncesi

Kum yüzey donatılı döşemelerin deney öncesine ait görseller aşağıda verilmiştir. (Şekil 4.38. - 4.41.).



Şekil 4.38. AFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi



Şekil 4.39. BFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi



Şekil 4.40. CFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi



Şekil 4.41. GFRPK donatılı döşeme kırılma öncesi

Nervürlü yüzeye sahip donatılı döşemelerin deney öncesine ait görselleri (Şekil 4.42. - Şekil 4.45.) verilmiştir.



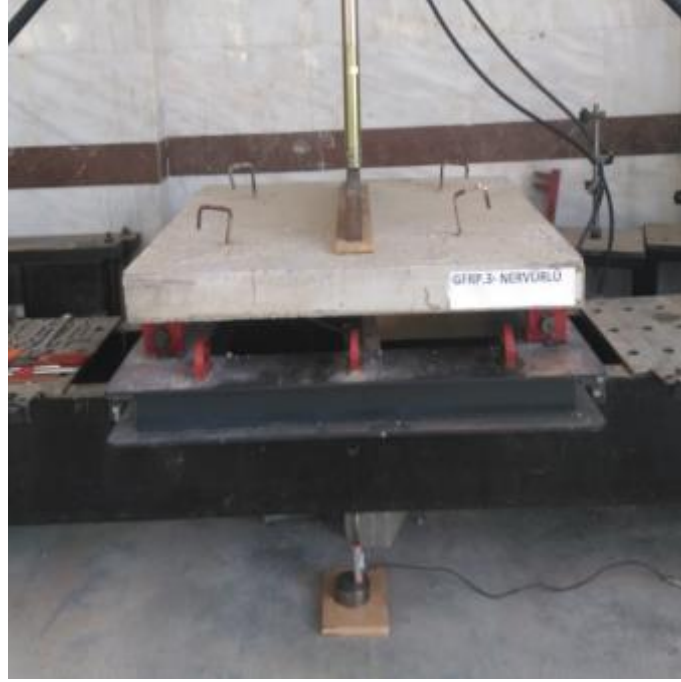
Şekil 4.42. AFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi



Şekil 4.43. BFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi



Şekil 4.44. CFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi



Şekil 4.45. GFRPN donatılı döşeme kırılma öncesi

4.2. Deneysel Çalışma Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıda ilk olarak donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra döşemelerde kullanılan betonun basınç dayanımı sonuçları tespit edilmiştir. Döşeme testlerinde her bir donatı türü için kum ve nervür yüzeyli FRP donatılı döşemeler ile çelik donatılı döşemelerin eğilme davranış sonuçları, bu sonuçlara göre eğilme yükleri, oluşan sehim miktarları, ortalama moment taşıma kapasiteleri ve tokluk enerjisi ve birim kNm başına maliyet tablo ve grafikler şeklinde sunulmuştur. Deneysel çalışma sonuçları, donatı sınıfına göre alfabetik olarak sıralanmıştır.

4.2.1. Donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri

Bu kısımda betonarme döşemelerin üretiminde kullanılan FRP ve çelik donatıların özgül ağırlıkları, FRP donatıların lif oranları ve bu donatıların mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler başlıklar halinde verilmiştir. FRP donatıların çekme dayanımı-birim şekil değiştirme sonuçları birbirine yakın olması sebebiyle ortak derlenmiştir.

4.2.1.1. Lif oranları ve özgül ağırlıkları

FRP donatıların mekanik özelliklerine etki eden faktörlerden biriside liflerdir. Bu sebeple yapılan çalışmada donatı içeriğindeki lif oranları da belirlenmiştir. Tablo 4.2.'de lif oranları ağırlıkça yüzde değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Donatıların ağırlıkça lif oranı sonuçları

Donatı Adı	Ortalama (%)
AFRPK	61,88
AFRPN	62,66
BFRPK	83,17
BFRPN	83,46
CFRPK	74,97
CFRPN	80,60
GFRPK	78,90
GFRPN	80,37

Donatıların lif oranları incelendiğinde, BFRPN donatıların ağırlıkça % 83,46 ile en fazla lif içeriğine sahip olduğu, AFRPN donatıların ise ağırlıkça % 61,88 ile en az lif içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aynı donatı türü için FRP donatıların lif oranları birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Arşimet Terazisi yöntemiyle FRP ve çelik donatıların özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Tablo 4.3.'te kullanılan donatılara ait özgül ağırlıkları verilmiştir.

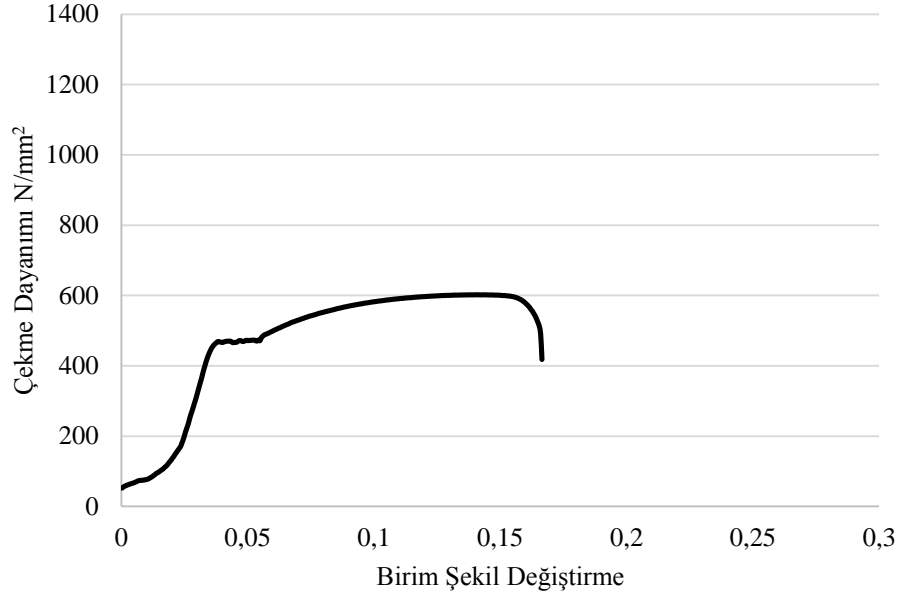
Tablo 4.3. Donatıların özgül ağırlıkları

Donatı Adı	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Çelik Donatı	7,82
AFRPK	1,34
AFRPN	1,22
BFRPK	1,93
BFRPN	2,02
CFRPK	1,59
CFRPN	1,49
GFRPK	2,00
GFRPN	1,79

Yapılan özgül ağırlık belirleme çalışmasında çelik donatının 7,82 gr/cm³ ile özgül ağırlığının en fazla olduğu, FRP donatılara bakıldığında ise; BFRPN donatıların 2,02 gr/cm³ ile özgül ağırlığının en fazla, 1,22 gr/cm³ ile AFRPN donatıların özgül ağırlığı en düşük çıkmıştır. Çelik donatı ile özgül ağırlık değerleri kıyaslandığında çelik donatının FRP donatılara göre yaklaşık 3,5 - 6 kat daha ağır olduğu gözlemlenmiştir. Aynı türe sahip FRP donatıların ise özgül ağırlıkları birbirine yakın çıkmıştır.

4.2.1.2. Çelik donatıların mekanik özellikleri

Betonarme döşeme deneylerinde kullanılacak S420 çeliğini donatıların çekme deneyleri yapılmış ve Şekil 4.46.'da çelik donatının dayanım-şekil değiştirme diyagramı ve Tablo 4.4.'de çelik numunelere ait gerilme değerleri verilmiştir.



Şekil 4.46. Çelik donatı çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği

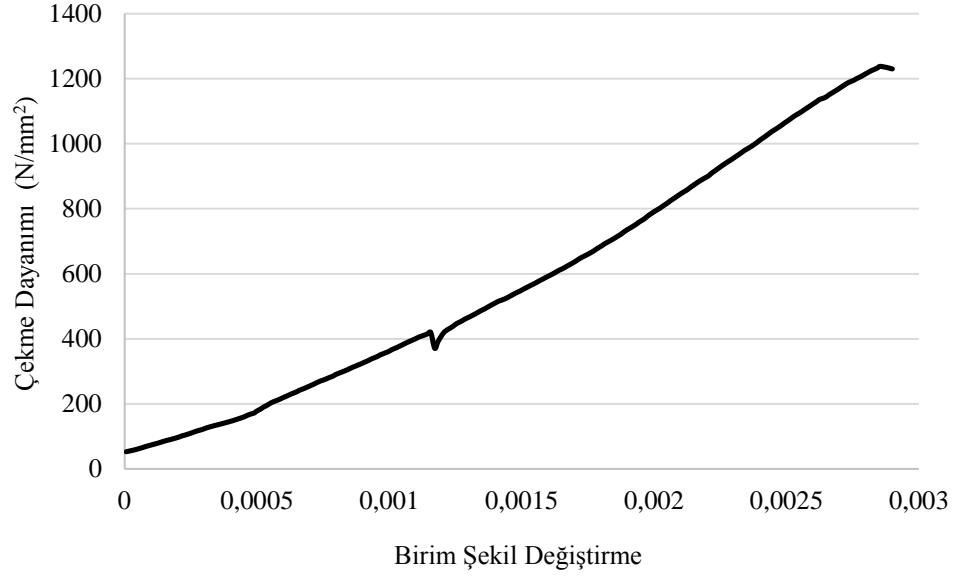
Tablo 4.4. Çelik donatı çekme dayanımı değerleri

ÇELİK	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
1	601,5
2	592,8
3	604,4
4	600,0
Ortalama	599,5

Çelik çekme deneyleri sonucunda ortalama 599,5 MPa'lık çekme dayanımı olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.1.3. AFRP donatıların mekanik özellikleri

AFRP donatıların çekme deneyleri yapılmış olup yüzey özelliğine göre ayırmaksızın Şekil 4.47.'da AFRP donatısına ait gerilme-şekil değiştirme grafiği, Tablo 4.5.'te çekme dayanım değerleri ve ortalaması verilmiştir.



Şekil 4.47. AFRP donatı çekme dayanımı-birim şekil değıştirme grafiği

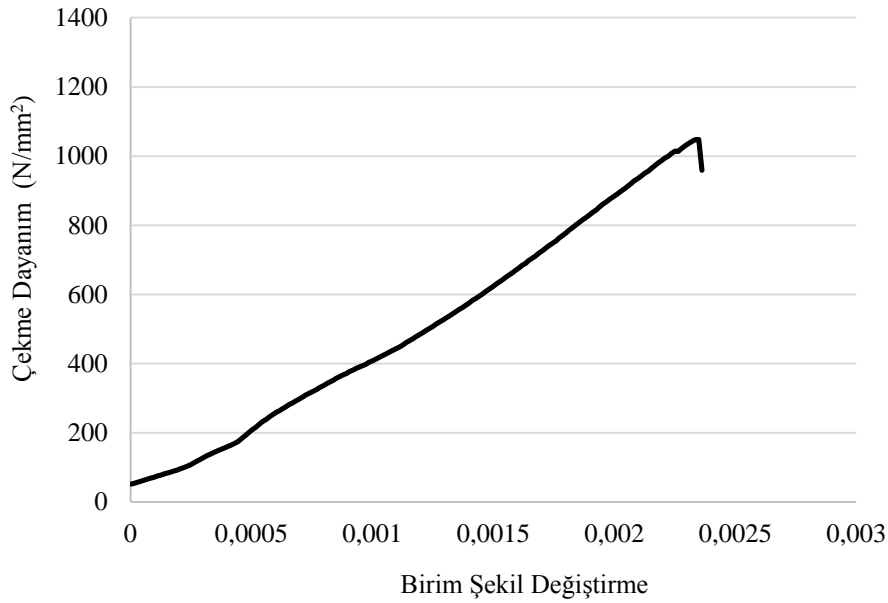
Tablo 4.5. AFRP donatı çekme dayanım değeri

AFRP	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
1	1237,90
2	1317,53
3	1108,23
4	1230,70
Ortalama	1223,59

AFRP nervürlü donatıların çekme deneyleri sonucunda ortalama 1223 MPa'lık çekme dayanım değeri ulaşıdır.

4.2.1.4. BFRP donatıların mekanik özellikleri

Bazalt elyafının donatı haline getirilerek üretilen BFRP donatıların çekme deneyleri yapılmış ve Şekil 4.48.'de BFRP donatısına ait dayanım-şekil değıştirme grafiği verilmiştir. Tablo 4.6.'da ise BFRP donatılarına ait dayanım değeri verilmiştir.



Şekil 4.48. BFRP donatı çekme dayanımı-birim şekil değişirme grafiği

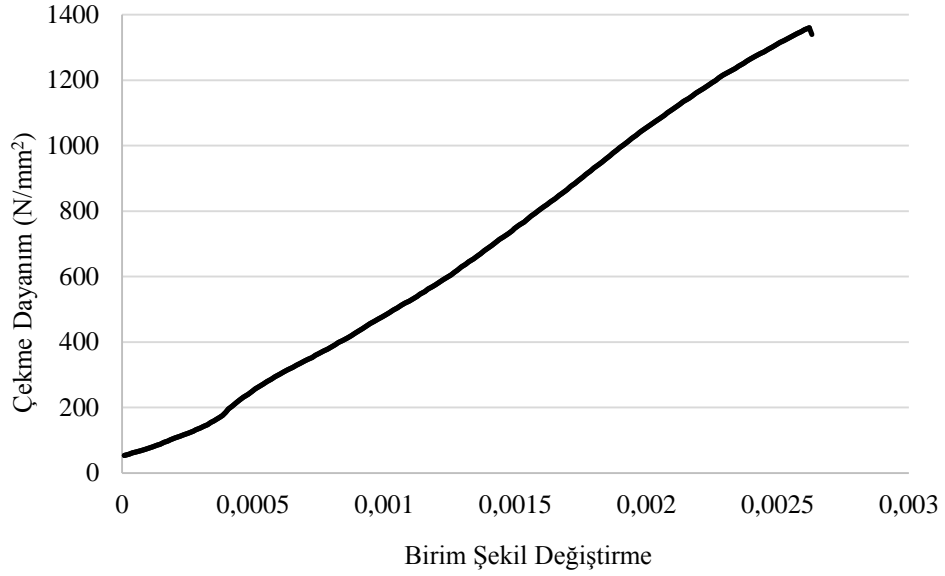
Tablo 4.6. BFRP donatı çekme dayanımı değerleri

BFRP	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
1	963,33
2	1036,0
3	1047,0
4	1037,0
Ortalama	1020,83

BFRP donatıların ortalama çekme dayanımı 1020,83 MPa'dır.

4.2.1.5. CFRP donatıların mekanik özellikleri

Kullanım alanı her gün artan karbon elyafı sahip olduğu yüksek mukavemet ve hafifliği sebebiyle yapı sektöründe kendine yer edinmiştir. Döşeme deneylerinde kullanılacak olan CFRP donatılarına ait yapılan çekme deneylerini temsil eden Şekil 4.49.'da ve Tablo 4.7.'de karbon donatıların dayanım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.49. CFRP donatı çekme dayanımı-birim şekil değıştirme grafiği

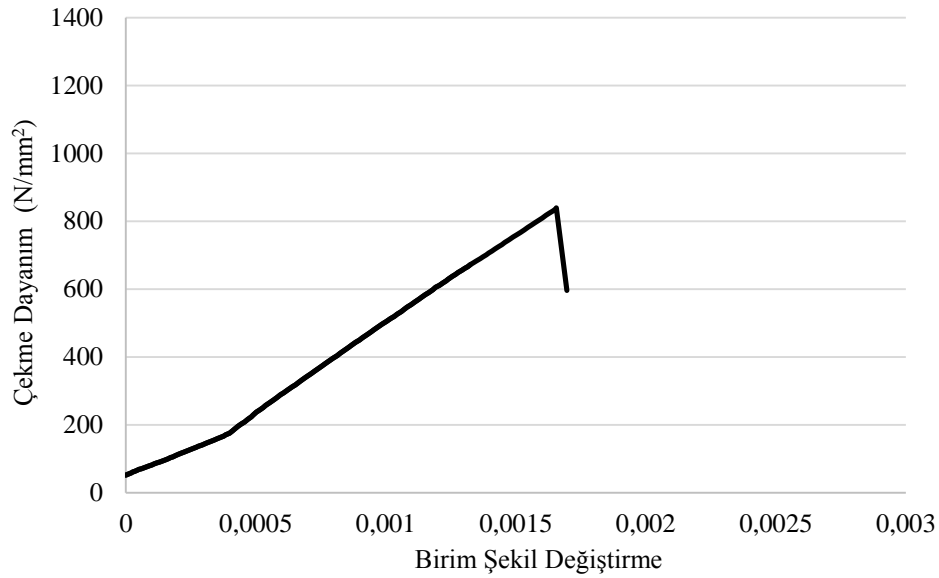
Tablo 4.7. CFRP donatı çekme dayanım değeri

CFRP	Çekme Dayanım (N/mm ²)
1	1231
2	1450
3	1175
4	1360
Ortalama	1304

CFRP donatıların çekme deneylerinde ortalama 1304 MPa'lık dayanım değeri ulaşığı gözlemlenmiştir. CFRP donatıların çekme gerilme değeri diğer donatı türleri arasında en fazla dayanım değeri sahiptir.

4.2.1.6. GFRP donatıların mekanik özellikleri

Günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip olan cam takviyeli donatıların çekme deneyleri yapılmış ve Şekil 4.50.'de GFRP donatıların dayanım-birim şekil değıştirme grafiği verilmiştir. Tablo 4.8.'de ise bu donatılara ait çekme dayanımları ve ortalaması verilmiştir.



Şekil 4.50. GFRP donatılarının çekme dayanımı-birim şekil değişirme grafiği

Tablo 4.8. GFRP donatı çekme dayanım değerleri

GFRP	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
1	960
2	875
3	843
4	855
Ortalama	883,25

GFRP donatılarının ortalama çekme dayanımı 883,25 MPa olduğu gözlemlenmiştir. GFRP donatılar, yapılan çalışmadaki FRP türleri arasında en düşük çekme dayanım değerine sahip oldukları gözlemlenmiştir.

4.2.2. Beton basınç dayanımları

Döşemelerde kullanılan betonun basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla beton döküm esnasında üç adet standart küp numune alınmış 28 günlük kürün ardından basınç deneyine tabi tutulmuştur. Tablo 4.9.'da beton basınç dayanımı sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.9. Beton basınç dayanımı değerleri

Numune	Kırılma Yüğü (N)	Yüzey Alanı (mm ²)	Dayanım (MPa)
1	623300	22500	27,70
2	610200	22500	27,12
3	622500	22500	27,67
Ortalama			27,50

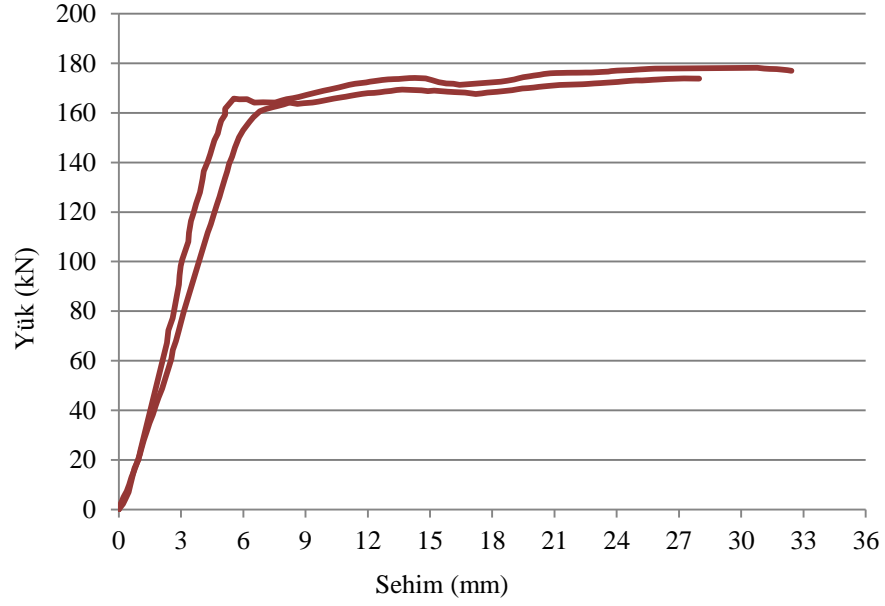
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ortalama 27,5 MPa'lık basınç dayanımı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile bu çalışmanın tasarım aşamasında belirlenen beton sınıfının örtüştüğü görülmüştür.

4.2.3. Donatılı döşemelerin mekanik özellikleri

Bu aşamada hazırlanan betonarme döşemeler üç noktalı eğilme deneylerine tabi tutulmuştur. Eğilme çerçevesi ekipmanları ile döşemelerin kırılma yükleri ve yaptıkları sehim miktarları tespit edilmiştir. Her donatı çeşidine ait üçer döşeme üretilmesine rağmen bazı döşemelerden veri alınamaması sebebiyle grafiklere dökülmemiş ve hesaplamaları yapılamamıştır (birer adet; çelik donatılı, AFRPN, BFRPK, BFRPN, GFRPK, GFRPN). Buna ek olarak üç adet CFRPK donatılı döşeme deney sistemin maksimum yük kapasitesini aşmış ve döşemelerde herhangi bir deformasyon gözlemlenememiştir. Moment taşıma kapasiteleri için kırılma yüklerinin ortalama değerleri alınmış ve bir malzemenin kırılma anına kadar olan enerji yutması olarak bilinen tokluk enerjisi için döşemenin maksimum kırılma yüküne kadar olan grafiğin altındaki alan hesaplanmıştır. Her bir donatı çeşidine göre döşeme deneyleri ayrı ayrı başlık altında verilmiştir.

4.2.3.1. Çelik donatılı döşeme

Çelik donatılı döşemelerin eğilme deneyleri yapılmış, Şekil 4.51.'de ve döşemeye ait yük-sehim grafiği verilmiştir. Tablo 4.10.'da ise bu deneylere ait detaylar verilmiştir



Şekil 4.51. Çelik donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği

Tablo 4.10. Çelik donatılı döşemelerin eğilme test sonuçları

Döşeme Adı	Seri	Maks. Yük (kN)	Sehim (mm)	Tokluk (kNmm)	Ort. Yük (kN)	Ort. Sehim (mm)	M. Taş. Kapatitesi (kNm)	Ort. Tokluk (kNmm)
Çelik	1	173,80	27,251	4036,88				
	2	177,21	32,41	5104,99	175,51	29,83	43,88	4570,94
	3	-	-	-				

Çelik donatılı döşemelerin eğilme davranışları incelendiğinde, ortalama eğilme yükünün 175,51 kN, moment kapasitesi 43,88 kNm ve kırılma tokluğu 4570,94 kNmm olarak hesap edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, döşemenin yük taşımaya devam ettiği görülmektedir. Ancak eğilme çerçevesinin mesafe yetersizliği sebebiyle deney el ile sonlandırılmıştır. Burada tokluk enerjisi için en yüksek yüke kadar olan noktanın altındaki grafik alanı hesap edilmiştir. Şekil 4.52. ve 4.53.'de döşemelerin kırılma sonrasına ait detaylar verilmiştir.



Şekil 4.52. Çelik donatılı döşeme kırılma sonrası

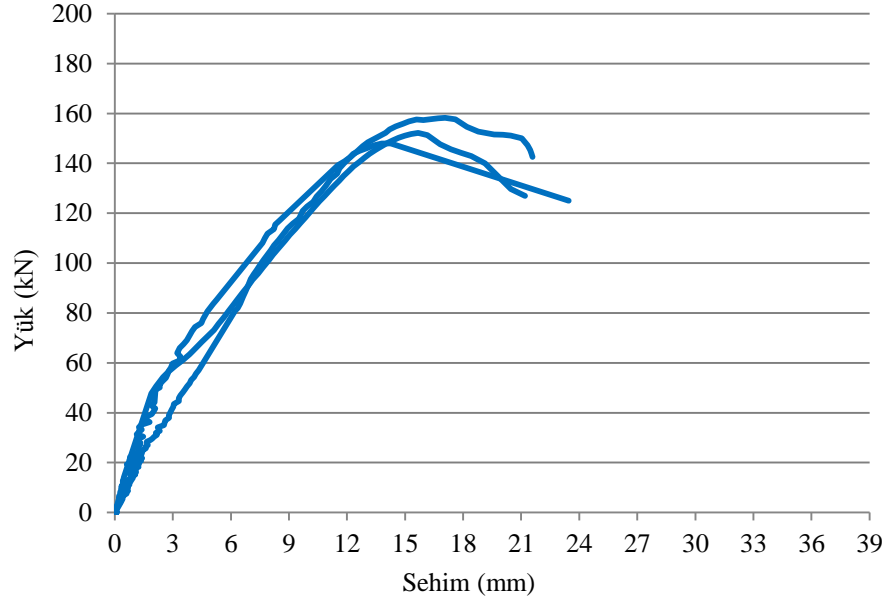


Şekil 4.53. Çelik donatılı döşeme kırılma detayı

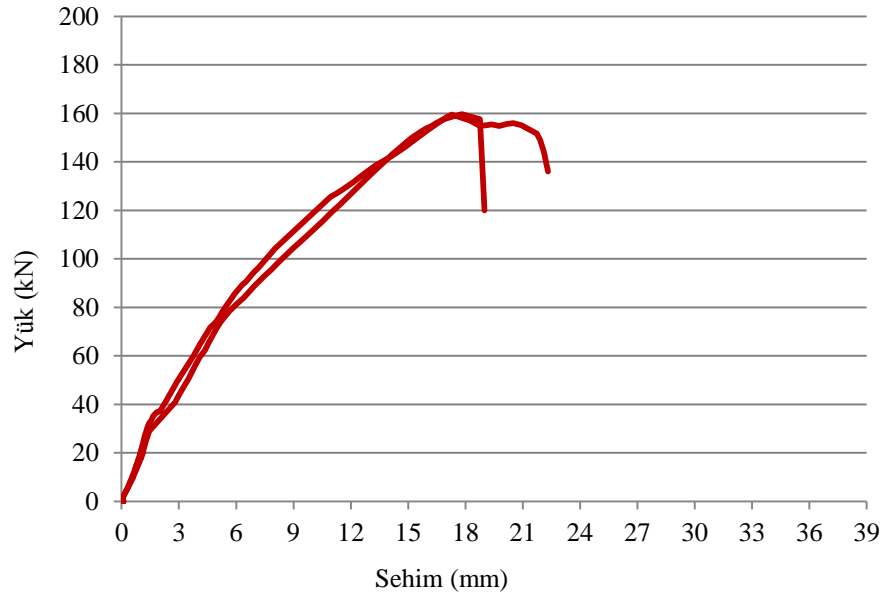
Çelik donatılı döşemelerin eğilme deneylerinde betonda eğilme çatlakları meydana geldiği görülmektedir.

4.2.3.2. AFRP donatılı döşeme

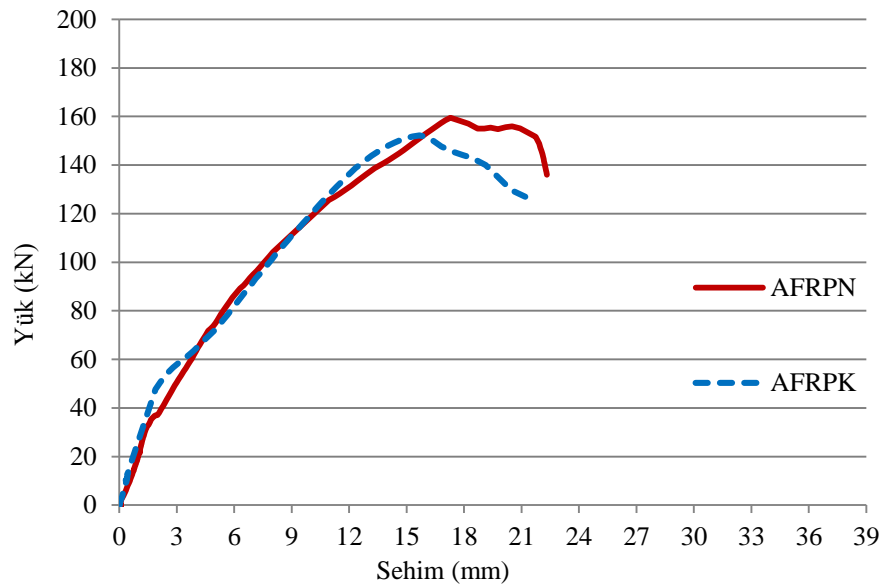
AFRP donatılı döşemelerin eğilme deneyleri yapılmış ve yük-sehim grafikleri çizilmiştir. AFRPK donatılı döşemeleri temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.54.'de, AFRPN donatıları temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.55.'de verilmiştir. Şekil 4.56.'de ise AFRP kumlu ve nervürlü yüzey donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği verilmiştir. Tablo 4.11.'de bu döşemelere ait veriler sunulmuştur.



Şekil 4.54. AFRPK donatılı döşeme yük-sehim grafiği



Şekil 4.55. AFRPN donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği



Şekil 4.56. AFRP donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği

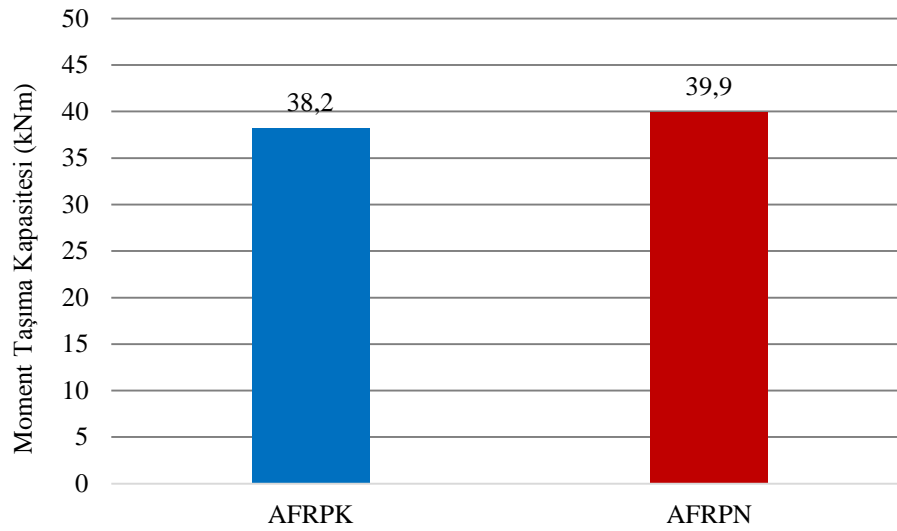
Tablo 4.11. AFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri

Döşeme Adı	Seri	Maks. Yük (kN)	Sehim (mm)	Tokluk (kNmm)	Ort. Yük (kN)	Ort. Sehim (mm)	M. Taş. Kapasitesi (kNm)	Ort. Tokluk (kNmm)
AFRPK	1	147,97	14,25	1557,26	152,793	15,66	38,20	1600,44
	2	158,23	17,07	1730,42				
	3	152,18	15,67	1513,65				
AFRPN	1	159,49	17,28	2227,41	159,575	17,55	39,90	1985,60
	2	159,66	17,81	1743,78				
	3	-	-	-				

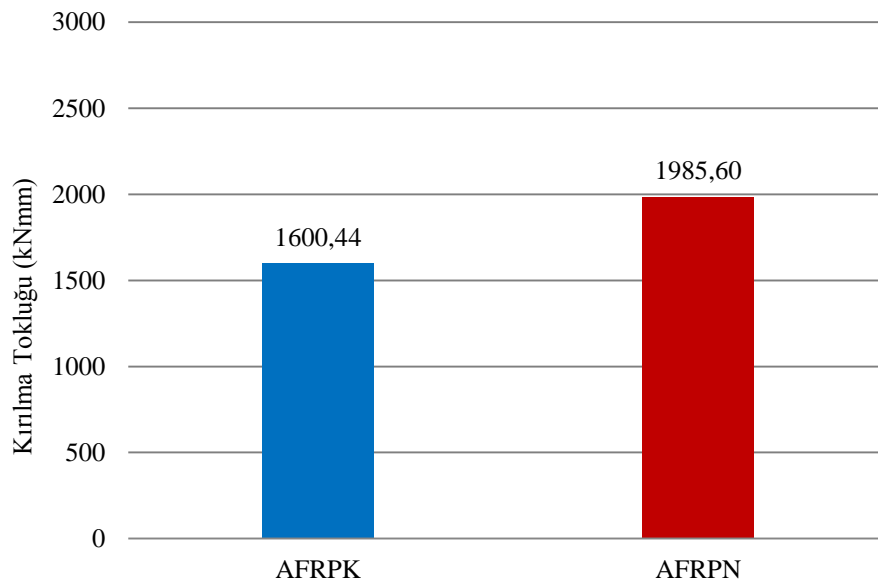
AFRPK donatılı döşemelerin ortalama eğilme yükünün 152,793 kN, moment kapasitesi 38,2 kNm ve kırılma tokluğu 1600,14 kNmm bulunmuştur. AFRPN donatılı döşemelerin ise kırılma yükü 159,57 kN, moment kapasitesi 39,9 kNm ve kırılma tokluğu 1985,6 kNmm bulunmuştur.

Deney sonuçlar bakıldığında, AFRPN donatılı döşemelerin moment kapasite değeri AFRPK donatılı döşemeye göre % 4,45 fazla, çelik donatılı döşemeye göre ise % 9,07 daha az moment taşıma kapasite değeri göstermiştir. Kırılma tokluğu bakımından AFRPN donatılı döşemelerin AFRPK donatılı döşemelere göre % 24,06 daha fazla,

çelik donatılı döşemeye göre ise % 56,56 daha az enerji yutma kapasitesi vardır. Şekil 4.57.'de moment taşıma kapasiteleri, Şekil 4.58.'de kırılma toklukları karşılaştırmalı grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.57. AFRP donatılı döşemelerin moment taşıma kapasitesi grafiği



Şekil 4.58. AFRP donatılı döşemelerin kırılma tokluğu karşılaştırma grafiği

AFRPK ve AFRPN donatılı döşemelerin kırılma davranışları incelendiğine bu döşemelerin eğilme çatlakları ile birlikte kesme çatlaklarının da oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.59. - Şekil 4.62.'de AFRPK ve AFRPN donatılı döşemelerin kırılma sonrası şekilleri verilmiştir.



Şekil 4.59. AFRPK donatılı döşeme kırılma sonrası



Şekil 4.60. AFRPK donatılı döşeme kırılma detayı



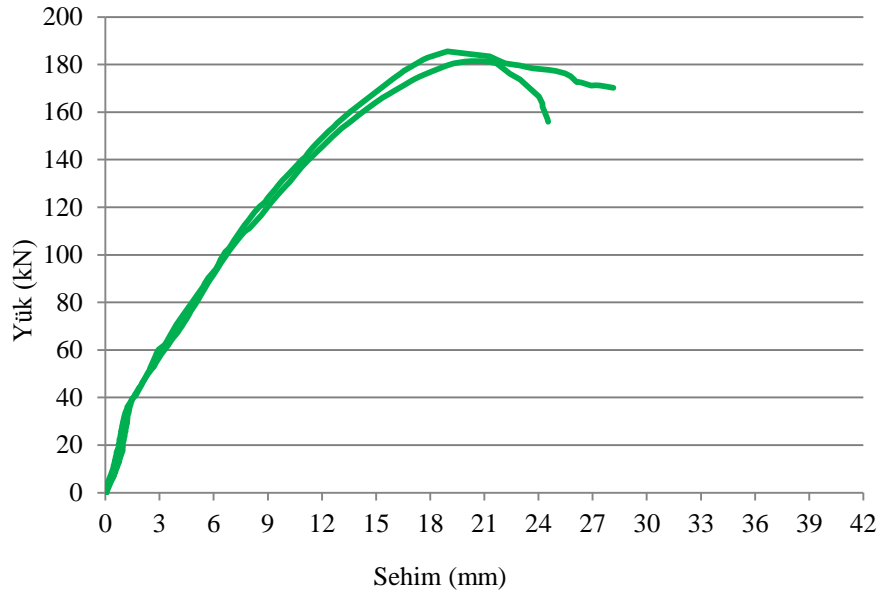
Şekil 4.61. AFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası



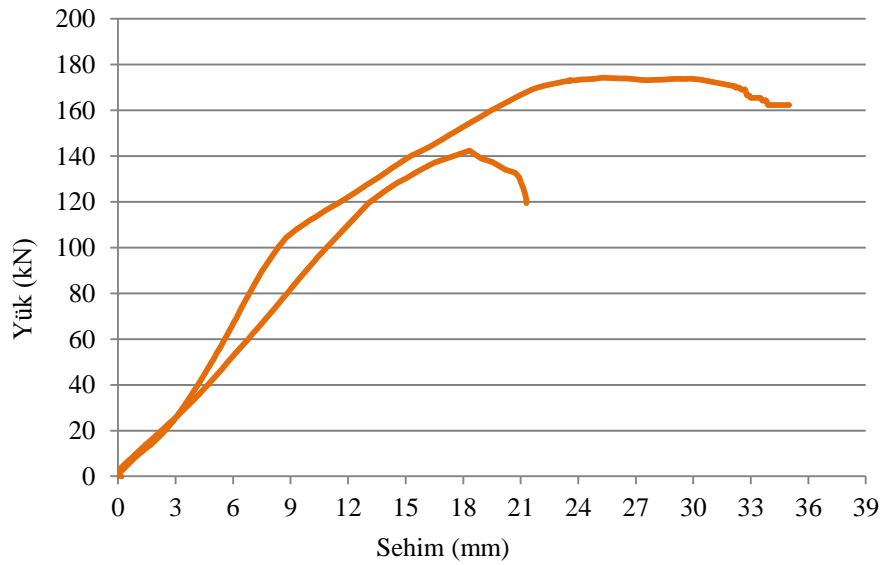
Şekil 4.62. AFRPN donatılı döşeme kırılma detayı

4.2.3.3. BFRP donatılı döşeme

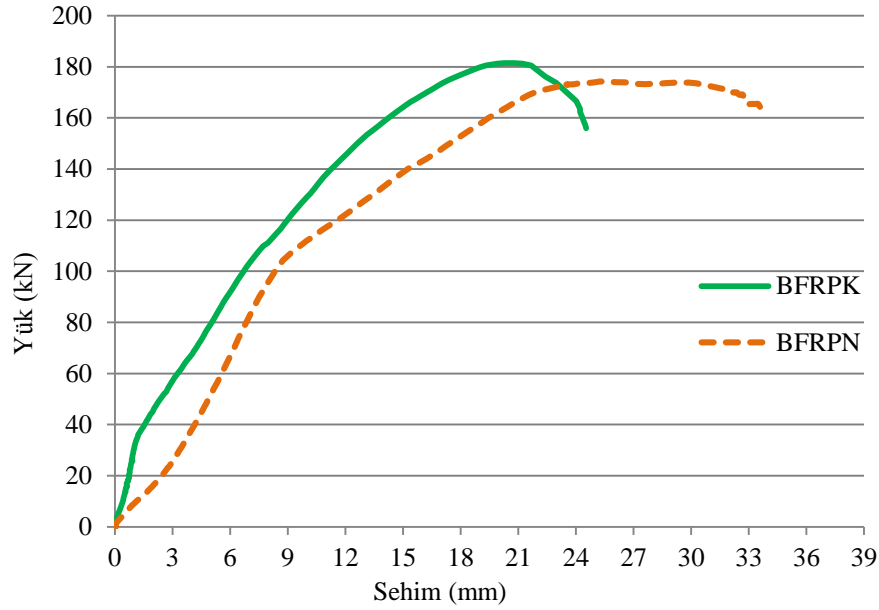
BFRP donatılı döşemelerin eğilme deneyleri yapılmış ve yük-sehim grafikleri çizilmiştir. BFRPK donatılı döşemeleri temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.63.'de, BFRPN donatılı döşemeleri temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.64.'de verilmiştir. Şekil 4.65.'te bu döşemelere ait karşılaştırmalı yük-sehim grafiği, Tablo 4.12.'de bu döşemelere ait test sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.63. BFRPK donatılı döşeme yük-sehim grafiği



Şekil 4.64. BFRPN donatılı döşeme yük-sehim grafiği



Şekil 4.65. BFRP donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği

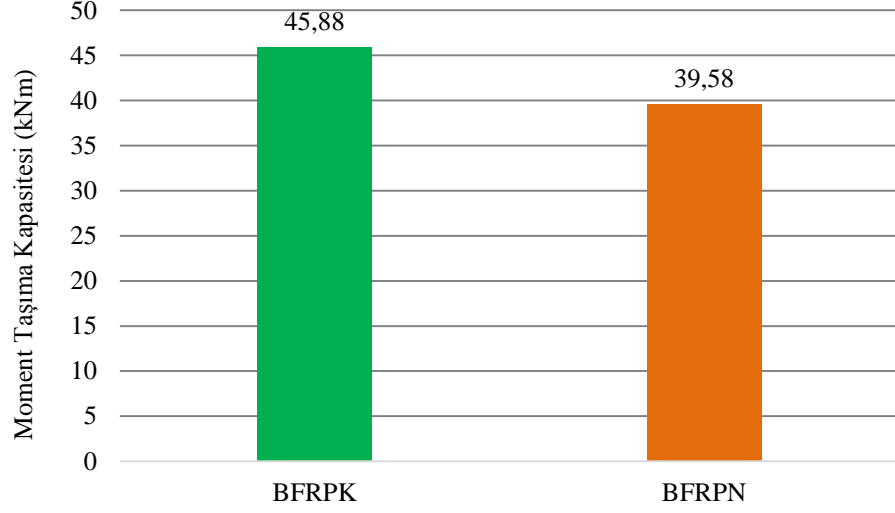
Tablo 4.12. BFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri

Döşeme Adı	Seri	Maks. Yük (kN)	Sehim (mm)	Tokluk (kNm)	Ort. Yük (kN)	Ort. Sehim (mm)	M. Taş. Kapasitesi (kNm)	Ort. Tokluk (kNm)
BFRPK	1	181,44	20,81	2532,9	179,24	19,87	45,88	2391,47
	2	185,552	18,948	2250,05				
	3	-	-	-				
BFRPN	1	174,25	25,261	2821	158,32	21,79	39,58	2145,08
	2	142,39	18,32	1469,16				
	3	-	-	-				

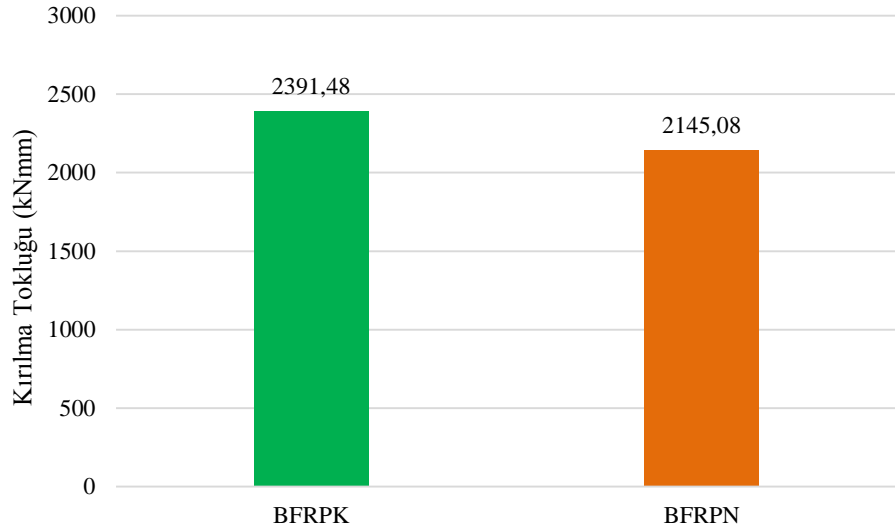
BFRPK donatılı döşemelerin ortalama eğilme yükü 179,24 kN, moment kapasitesi 45,88 kNm ve kırılma tokluğu 2391,47 kNm olarak hesaplanmıştır. BFRPN donatılı döşemelerin ise kırılma yükü 158,32 kN, moment kapasitesi 39,58 kNm ve kırılma tokluğu 2145,08 kNm olarak bulunmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada, BFRPN donatılı döşemelerin ortalama moment kapasite değeri BFRPK donatılı döşemeye göre % 13,73 daha az çelik donatılı döşemeden ise % 9,79 daha az kapasite değeri göstermiştir. Kırılma tokluğu bakımından BFRPN donatılı döşemeler, BFRPK donatılı döşemelere göre % 10,30 daha az çelik donatılı

döşemelere göre ise % 53,07 daha az tokluk enerjisine sahiptir. Şekil 4.66.'da moment kapasitesi ve Şekil 4.67.'de kırılma toklukları karşılaştırmalı grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.66. BFRP donatılı döşemelerin moment taşıma kapasitesi grafiği



Şekil 4.67. BFRP donatılı döşemelerin kırılma tokluğu karşılaştırma grafiği

BFRPK donatılı döşemelerin kırılma şekilleri incelendiğinde eğilme çatlakları ile kesme çatlaklarının da olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.68. ve Şekil 4.69.'da bu döşemelere ait kırılma detayları verilmiştir. BFRPN donatılı döşemelerin kırılma şekilleri incelendiğinde eğilme çatlaklarının olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.70. ve 4.71.'de BFRPN donatılı döşemelere ait kırılma detayları verilmiştir.



Şekil 4.68. BFRPK donatılı döşeme kırılma sonrası



Şekil 4.69. BFRPK donatılı döşeme kırılma detayı



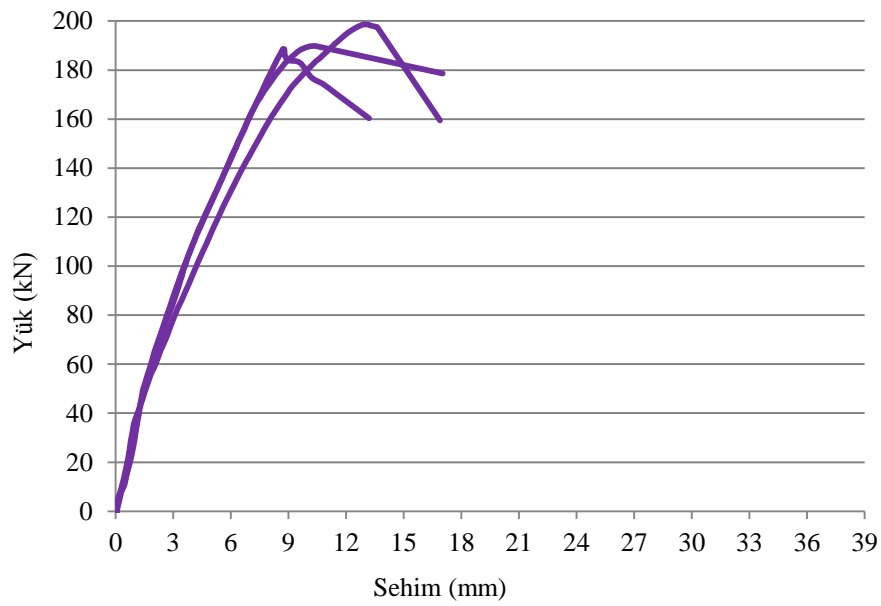
Şekil 4.70. BFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası



Şekil 4.71. BFRPN donatılı döşeme kırılma detayı

4.2.3.4. CFRP donatılı döşeme

CFRPK donatılı döşemeler, çerçeve yükleme çerçevesinin maksimum yük kapasitesini aşması sebebiyle (200 kN) veriler elde edilememiştir. Bu durum diğer FRP donatılı döşemelere göre daha fazla dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. CFRPN donatılı döşemeleri temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.72.'de verilmiş ve Tablo 4.13.'de döşemelere ait mekanik değerler verilmiştir.



Şekil 4.72. CFRPN donatılı döşeme yük-sehim grafiği

Tablo 4.13. CFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri

Döşeme Adı	Seri	Maks. Yük (kN)	Sehim (mm)	Tokluk (kNm)	Ort. Yük (kN)	Ort. Sehim (mm)	M. Taş. Kapasitesi (kNm)	Ort. Tokluk (kNm)
CFRPK	1	-	-	-				
	2	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-				
CFRPN	1	188,621	8,71	954,31				
	2	189,86	10,386	794,66	192,36	10,74	48,09	1141,31
	3	198,61	13,11	1674,97				

CFRPN donatılı döşemelerin ortalama kırılma yükü 192,36 kN, moment taşıma kapasite değeri 48,09 kNm ve kırılma tokluğu 1141,31 kNmm olarak bulunmuştur.

CFRPN donatılı döşemelerin, çelik donatılı döşemeye göre ise % 9,60 daha fazla moment taşıma kapasite değeri göstermiştir. Kırılma tokluğu bakımından CFRPN donatılı döşemeler çelik donatılı döşemeye göre % 75,03 daha az tokluk enerjisine sahiptir. Şekil 4.73. ve Şekil 4.74.'te CFRPN donatılı döşemelerin eğilme çatlaklarının yanında kesme çatlaklarının da oluştuğu gözlemlenmiştir.



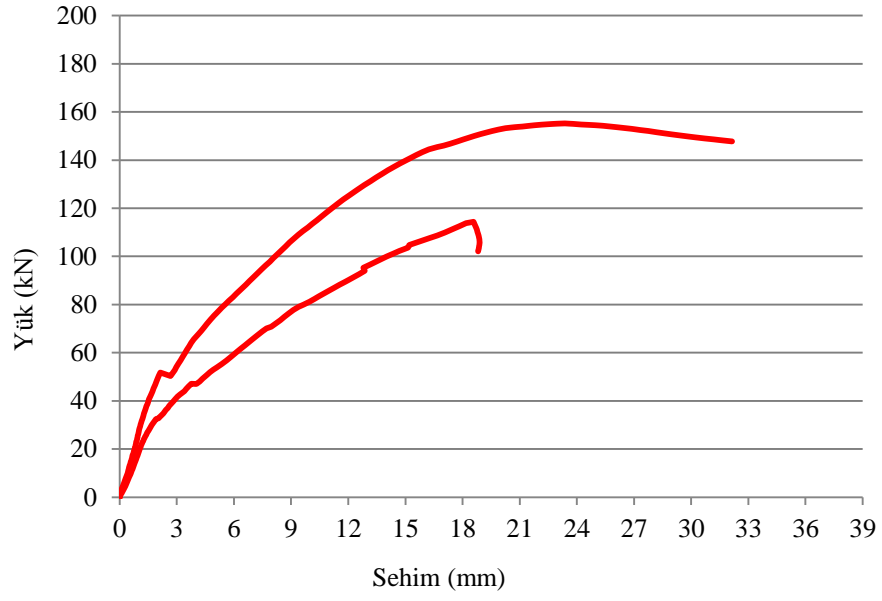
Şekil 4.73. CFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası



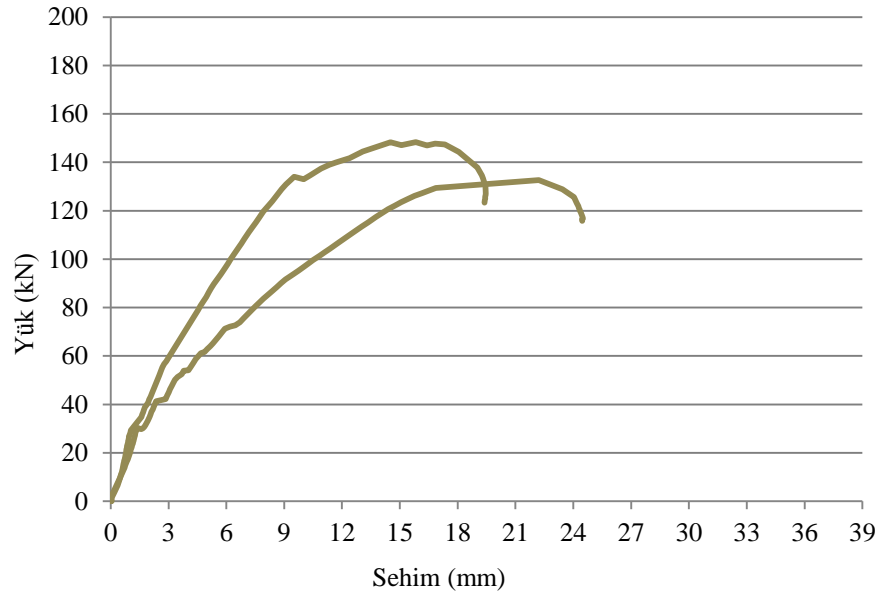
Şekil 4.74. CFRPN donatılı döşeme kırılma detayı

4.2.3.5. GFRP donatılı döşeme

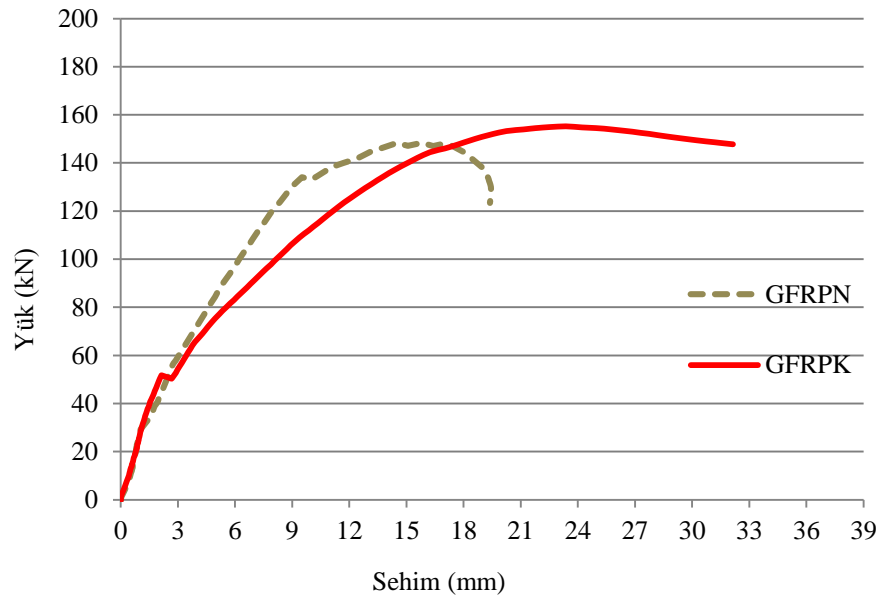
GFRP donatılı döşemelerin eğilme davranışı incelendiğinde, GFRPK donatılı döşemeleri temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.75.'te, GFRPN donatılı döşemeleri temsil eden yük-sehim grafiği Şekil 4.76.'da ve Şekil 4.77.'de döşemelere ait karşılaştırmalı yük-sehim grafiği verilmiştir. Tablo 4.14.'te döşemelere ait eğilme değerleri verilmiştir.



Şekil 4.75. GFRPK donatılı döşeme yük-sehim grafiği



Şekil 4.76. GFRPN donatılı döşeme yük-sehim grafiği



Şekil 4.77. GFRP donatılı döşemelerin yük-sehim karşılaştırma grafiği

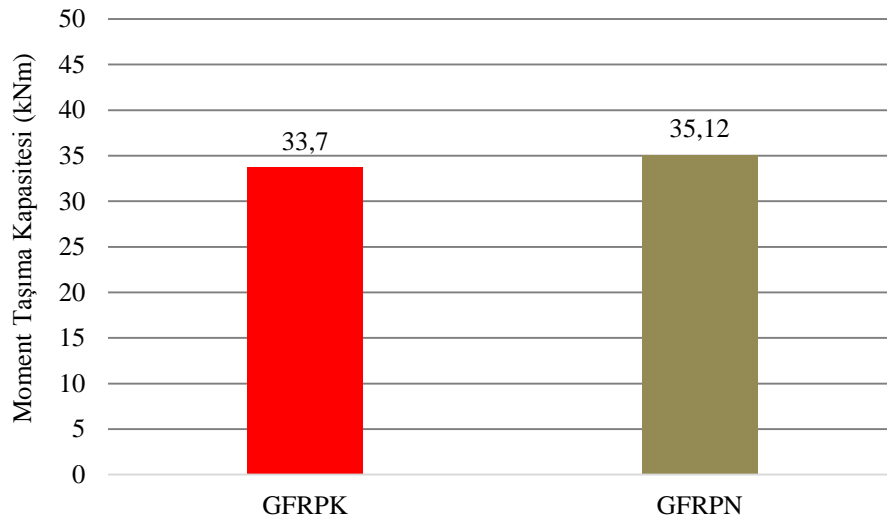
Tablo 4.14. GFRP donatılı döşemelerin mekanik özellikleri

Döşeme Adı	Seri	Maks. Yük (kN)	Sehim (mm)	Tokluk (kNmm)	Ort. Yük (kN)	Ort. Sehim (mm)	M. Taş. Kapasitesi (kNm)	Ort. Tokluk (kNm)
GFRPK	1	155,22	23,36	2667,37	134,79	20,97	33,70	2020,06
	2	114,36	18,57	1372,74				
	3	-	-	-				
GFRPN	1	148,32	15,82	1641,72	140,48	19,01	35,12	1591,21
	2	132,64	22,2	1540,7				
	3	-	-	-				

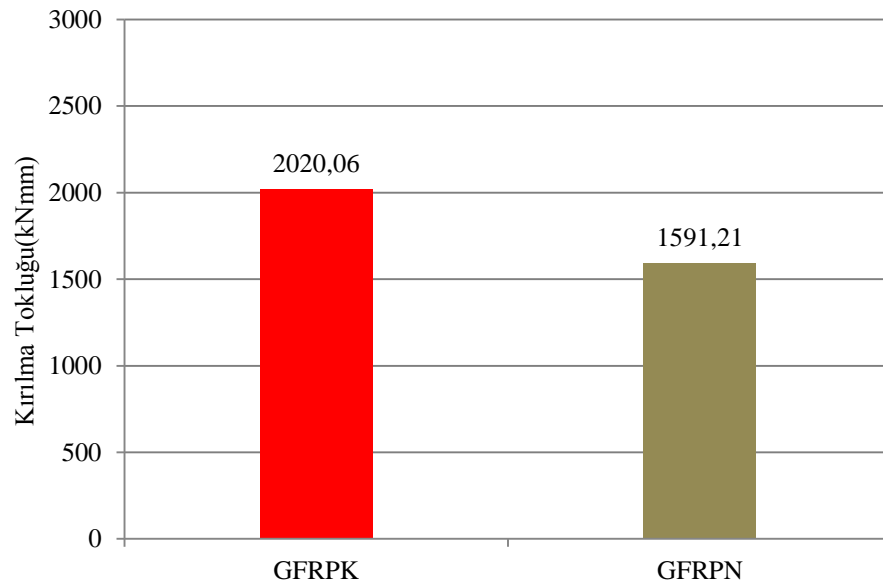
GFRPK donatılı döşemelerin ortalama eğilme yükü 134,79 kN, moment kapasitesi 33,70 kNm ve kırılma tokluğu 2020,06 kNmm'dir. GFRPN donatılı döşemelerin kırılma yükü 140,48 kN, moment kapasitesi 35,12 kNm ve kırılma tokluğu 1591,21 kNmm bulunmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada, GFRPN donatılı döşemelerin ortalama moment kapasite değeri GFRPK donatılı döşemeye göre % 4,21 daha fazla çıkmıştır. Çelik donatılı döşemeye göre ise % 19,96 daha az moment taşıma değeri göstermiştir. Kırılma toklukları bakımından GFRPN donatılı döşemeler, GFRPK donatılı döşemelere göre

% 21,22 daha az çelik donatılı döşemeye göre % 65,18 daha az tokluk enerjisine sahiptir. Şekil 4.78.'de moment taşıma kapasiteleri ve Şekil 4.79.'da kırılma toklukları karşılaştırmalı grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.78. GFRP Donatılı döşemelerin moment taşıma kapasitesi grafiği



Şekil 4.79. GFRP donatılı döşeme kırılma tokluğu karşılaştırma grafiği

GFRP donatılı döşemelerin eğilme davranışları incelendiğinde her iki donatı türüne ait döşemelerin eğilme çatlakları meydana geldiği gözlemlenmiştir. GFRP donatılı döşemelerin kırılma sonrası Şekil 4.80. - Şekil 4.83.'te verilmiştir.



Şekil 4.80. GFRP donatılı döşeme kırılma sonrası



Şekil 4.81. GFRPK donatılı döşeme kırılma detayı



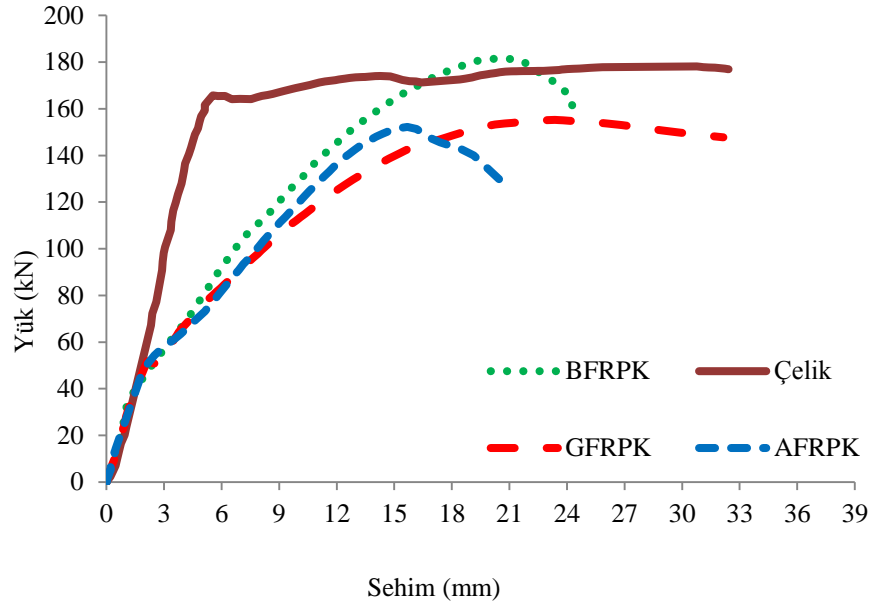
Şekil 4.82. GFRPN donatılı döşeme kırılma sonrası



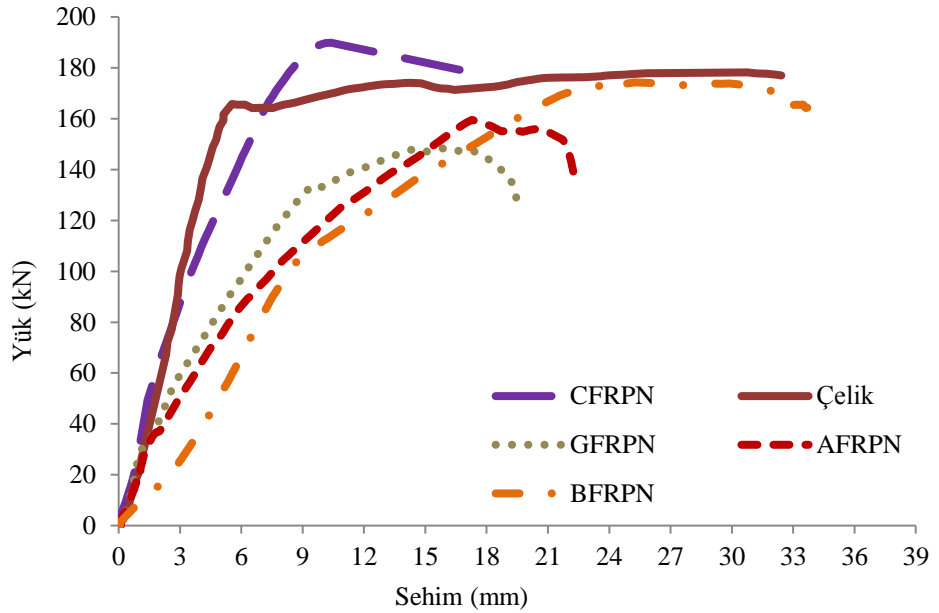
Şekil 4.83. GFRPN donatılı döşeme kırılma detayı

4.2.4. Döşemelerin eğilme davranışlarının karşılaştırılması

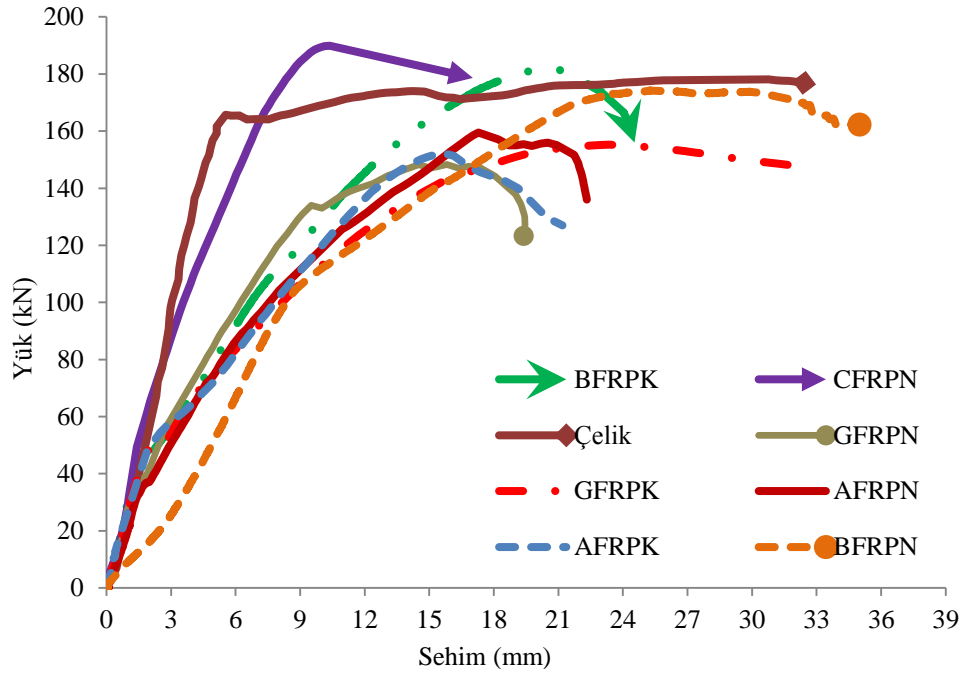
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda çelik donatı ile kum yüzeyli donatılı döşemeler (Şekil 4.84.) ve nervürlü donatılı döşemeler (Şekil 4.85.) karşılaştırma grafikleri verilmiştir. Şekil 4.86.'da ise çelik donatı döşemeler ile FRP donatılı döşemelerin yük-sehim grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.84. Çelik ve kumlu yüzey donatılı döşemelerin yük-sehim grafikleri

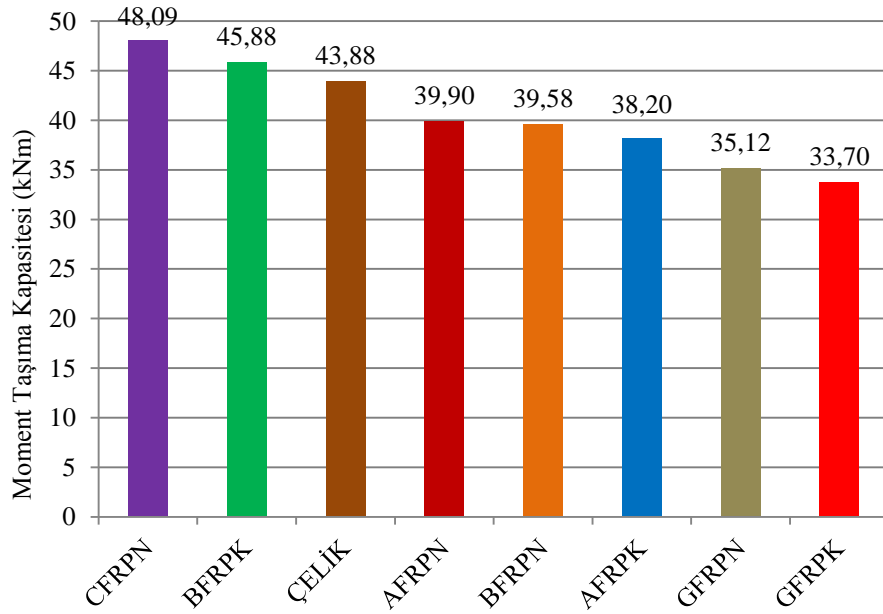


Şekil 4.85. Çelik ve nervürlü donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği



Şekil 4.86. Çelik ve FRP donatılı döşemelerin yük-sehim grafiği

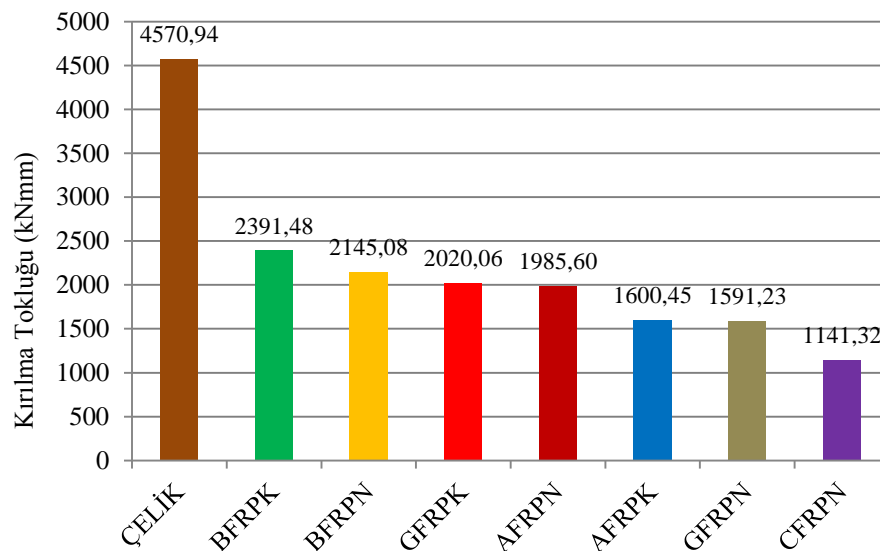
Şekil 4.87.'de moment taşıma kapasiteleri karşılaştırmalı sütun grafik halinde verilmiştir. Burada en yüksek moment taşıma kapasitesine sahip CFRPN donatılı döşemeler, en düşük dayanıma sahip GFRPK donatılı döşemelerin olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.87. Döşemelerin moment taşıma kapasiteleri

Döşemelerin moment taşıma kapasiteleri incelendiğinde, CFRPN donatılı döşemeler çelik donatılı döşemelere göre % 9,6 oranında artış göstererek 48,09 kNm ile en yüksek değere ve ardından % 4,55 oranında fazla çıkan BFRPK donatılı döşemeler çelik donatılı döşemeden fazla taşıma kapasitesi değeri göstermişlerdir. Kapasite değeri en düşük çıkan döşeme türe ise çelik donatılı döşemeye göre % 23,2 ile GFRPK donatılı döşemeler ve sırasıyla % 19,96 ile GFRPN donatılı döşemeler, % 12,94 ile AFRPK donatılı döşemeler, % 9,79 ile BFRPN donatılı döşemeler ve % 9,07 ile AFRPN donatılı döşemeler çelik donatılı döşeme moment taşıma kapasitesinin altında kalmıştır.

Döşemelerin tokluk enerjisine bakıldığında, çelik donatılı döşemelerin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Burada, çelik donatılı döşemelerin yük altında içerisindeki donatının akmaya başlamasına rağmen yük taşımaya devam etmiş olmasıdır. FRP donatılı döşemelerde, FRP donatının gevrek malzeme özelliğinde olmasından dolayı döşemede ani kırılmalar meydana gelerek taşıma kapasitesi sonlanmaktadır. Şekil 4.88.'de kırılma toklukları tüm döşeme türleri için karşılaştırmalı olarak bir arada verilmiştir.



Şekil 4.88. Çelik ve FRP donatılı döşemelerin tokluk değerleri

Yapılan deneysel çalışmalarda, tokluk enerjisinin en fazla olduğu çelik donatılı döşemeler olduğu hesaplanmıştır. Çelik donatılı döşemelere göre % 75,03 ile en düşük

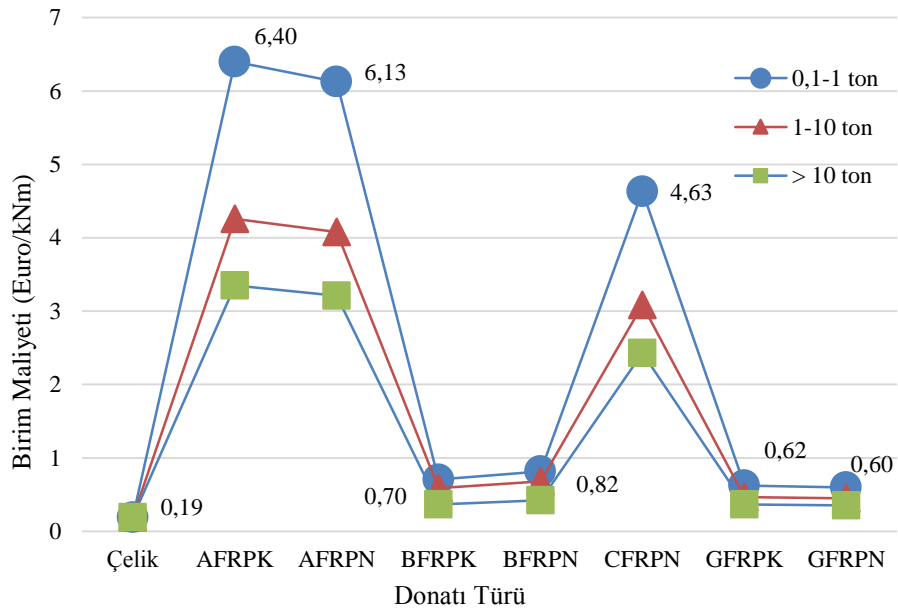
tokluğu CFRPN donatılı döşemeler vermiştir. Ardından % 65,18 ile GFRPN donatılı döşemeler ve sırasıyla % 64,98 ile AFRPK donatılı döşemeler, % 56,56 ile AFRPN, %55,80 ile GFRPK, %53,07 ile BFRPN ve son olarak FRP donatılı döşemeler içinde en yüksek tokluk enerjisine sahip BFRPK donatılı döşemeler çelik donatılı döşemeye göre % 47,68 oranında daha az tokluk enerjisinde olduğu hesaplanmıştır.

4.3. Maliyet Analizi

Birim maliyet açısından; FRP donatıların birim maliyetinin fazla olması sebebiyle çelik donatıların üzerinde seyretmiştir. FRP donatıların kum ve nervür yüzey donatıların maliyeti birbirine eşittir. Tablo 4.15.'te donatı döşeme türleri için maliyet analizi verilmiştir. Şekil 4.89.'da döşemelerin 1 kNm'lik moment taşıma kapasitesi başına düşen Euro cinsinden maliyet hesaplanmıştır.

Tablo 4.15. Donatılı döşeme birim fiyatları

Ağırlık	Donatı Türü	Euro/metre	Döşeme Maliyeti
0,1-1 ton	Çelik	0,381	8,38
	AFRP	8,032	176,70
	BFRP	1,47	32,34
	CFRP	10,125	222,75
	GFRP	0,955	21,01
1-10 ton	Çelik	0,381	8,382
	AFRP	7,395	162,69
	BFRP	1,225	26,95
	CFRP	6,745	148,39
	GFRP	0,715	15,73
>10 ton	Çelik	0,381	8,382
	AFRP	5,82	128,04
	BFRP	0,76	16,72
	CFRP	5,31	116,82
	GFRP	0,56	12,32



Şekil 4.89. MPa başına donatılı döşemelerin birim maliyeti

FRP donatıların maliyeti günümüz koşulları için çelik donatıdan fazladır. Donatılı döşemelerin 1 kNm'lik taşıma kapasiteleri için (0,1 - 1 ton), çelik donatılı döşemeler 0,19 Euro/kNm, 6,40 Euro/kNm ile AFRPK, 6,13 Euro/kNm ile AFRPN, 0,70 Euro/kNm ile BFRPK, 0,82 Euro/ kNm ile BFRPN, 4,63 Euro/kNm ile CFRPN, 0,62 Euro/kNm ile GFRPK ve 0,60 Euro/kNm ile GFRPN donatılı döşemelerin birim maliyeti bulunmaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada donatıların özgül ağırlıkları ve lif oranları belirlenmiş daha sonrasında beton içerisinde donatı olarak kullanılmıştır. Daha sonrasında donatılı döşemelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Donatıların özgül ağırlık değerleri; çelik donatı $7,82 \text{ gr/cm}^3$, AFRPK donatılar $1,34 \text{ gr/cm}^3$, AFRPN donatılar $1,22 \text{ gr/cm}^3$, BFRPK donatılar $1,93 \text{ gr/cm}^3$, BFRPN donatılar $2,02 \text{ gr/cm}^3$, CFRPK donatılar $1,59 \text{ gr/cm}^3$, CFRPN donatılar $1,49 \text{ gr/cm}^3$, GFRPK donatılar $2,00$ ve GFRPN donatıların ise $1,79 \text{ gr/cm}^3$ ortalama özgül ağırlığa sahiptirler.

Donatıların ağırlıkça lif oranları incelendiğinde; AFRPK donatıların % 61,88, AFRPN donatıların % 62,66, BFRPK donatıların % 83,17, BFRPN donatıların % 83,46, CFRPK donatıların % 74,97, CFRPN donatıların % 80,6, GRPK donatıların % 78,90 ve GFRPN donatıların % 80,37 oranına sahiptir.

Donatıların ortalama çekme gerilmeleri; çelik donatı $599,5 \text{ N/mm}^2$, AFRP donatı $1223,59 \text{ N/mm}^2$, BFRP $1020,83 \text{ N/mm}^2$, CFRP donatı 1304 N/mm^2 , GFRP donatı için ise $883,25 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

Döşemelerin moment kapasiteleri, çelik donatılı döşemeler $43,88 \text{ kNm}$, AFRPK donatılı döşemeler $38,20 \text{ kNm}$, AFRPN donatılı döşemeler $39,90 \text{ kNm}$, BFRPK donatılı döşemeler $45,88 \text{ kNm}$, BFRPN donatılı döşemeler $38,58 \text{ kNm}$, CFRPN donatılı döşemeler $48,09 \text{ kNm}$, GFRPK donatılı döşemeler $33,70 \text{ kNm}$, GFRPN donatılı döşemeler $35,12 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur. CFRPK donatılı döşemelere ait veriler yük kapasitesinin aşılması sebebiyle elde edilememiştir.

Döşemelerin moment taşıma kapasiteleri oran bakımından, CFRPN donatılı döşemeler % 9,6 ve % 4,55 ile BFRPK donatılı döşemeler çelik donatılı döşemeye göre fazla dayanıma sahiptir. Çelik donatılı döşemeye göre en düşük moment taşıma kapasitesine sahip % 23,2 ile GFRPK donatılı döşemeler ve sırasıyla % 19,97 ile GFRPN donatılı döşemeler, % 12,94 ile AFRPK donatılı döşemeler, % 9,79 ile BFRPN donatılı döşemeler ve % 9,07 ile AFRPN donatılı döşemelerdir.

Döşemelerin kırılma toklukları; çelik donatılı döşemeler 4570,94 kNmm, BFRPK donatılı döşemeler 2391,48 kNmm, BFRPN donatılı döşemeler 2145,08 kNmm, CFRPN donatılı döşemeler 1141,31 kNmm, GFRPK donatılı döşemeler 2020,06 kNmm, GFRPN donatılı döşemelerin ise 1591,21 kNmm ortalama tokluk enerjisine sahiptirler.

Tokluk değerleri oran bakımından, çelik donatılı döşemelere göre % 75,03 ile en düşük tokluğu CFRPN donatılı döşemeler vermiştir. Ardından % 65,18 ile GFRPN donatılı döşemeler ve sırasıyla % 64,98 ile AFRPK donatılı döşemeler, % 56,56 ile AFRPN, % 55,80 ile GFRPK, % 53,07 ile BFRPN ve FRP donatılı döşemeler içinde en yüksek tokluk enerjisine sahip BFRPK donatılı döşemeler çelik donatılı döşemeye göre % 47,68 daha az tokluğa sahiptirler.

Döşemelerin kırılma davranışları incelendiğinde; çelik donatılı döşemelerde eğilme çatlaklarının oluştuğu, ARFP donatılı döşemelerde kesme ve eğilme çatlaklarının meydana geldiği, BFRPK donatılı döşemelerde kesme ve eğilme çatlaklarının beraber olduğu, BFRPN donatılı döşemelerde sadece eğilme çatlaklarının meydana geldiği, CFRPN donatılı döşemelerde eğilme ve kesme çatlakları meydana gelmiş, GFRP donatılı döşemelerde eğilme çatlaklarının olduğu gözlemlenmiştir. CFRPK donatılı döşemelerde ise yük kapasitenin aşılması sebebiyle döşemelerde herhangi bir gözle görülebilir deformasyon gözlemlenememiştir.

Birim maliyet değerlendirmesinde; çelik donatılı döşemeler 0,19 Euro/kNm, 6,40 Euro/kNm ile AFRPK, 6,13 Euro/kNm ile AFRPN, 0,70 Euro/kNm ile BFRP, 0,82

Euro/kNm ile BFRPN, 4,63 Euro/kNm ile CFRPN, 0,62Euro/kNm ile GFRPK ve 0,60 Euro/kNm ile GFRPN donatılı döşemelerin maliyeti bulunmaktadır.

Sonuçlardan yola çıkılarak, su ile birebir temas halinde olan kıyı yapıları, açık saha betonları, yürüyüş yolları, yaya geçitleri, gibi alanlarda, korozyon oluşabilecek durumlarda, elektromanyetik alan oluşmaması istenen tesislerde FRP donatıların kullanımı uygun olacaktır.

Birim maliyet açısından bu şartların önemsenmediği durumlarda çelik donatı önerilirken, bu şartların önemli olması durumunda GFRP donatıların kullanımı uygun olacaktır. Şayet FRP donatıların kullanılması istenir ve yüksek dayanım gerekli ise CFRP donatıların kullanılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://aslanfrp.com/fiberglassrebar.html>, Erişim Tarihi: 31.01.2018.
- [2] Ersoy, H.Y., Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2010.
- [3] Callister, W.D., Materials Science and Engineering, Second Edition, John Wileyand Sons Inc.,Singapore, 1990.
- [4] http://www.pultechfrp.com/about.aspx?id=333&art_id=1, Erişim Tarihi: 23.11.2017.
- [5] <http://teknoloji-tasarim.com/beton-nedir/>, Erişim Tarihi: 14.01.2017.
- [6] <https://www.1milyarbilgi.com/haber/asfalt-nedir-asfalt-nasil-yapilir-haberi-538.html>, Erişim Tarihi: 29.01.2018.
- [7] Yücel, M., Plastik ve Plastik Esaslı Kompozitlerin İnşaat Sektöründe Kullanımı. Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Lisans Tezi, 2004.
- [8] <http://hurfordwholesale.com.au/hw/panel-plywood-range/>, Erişim Tarihi: 20.11.2017.
- [9] <https://www.polerfiber.com/neden-kompozit.aspx>, Erişim Tarihi: 22.02.2018.
- [10] <https://www.extremetech.com/extreme/209812-how-bmw-weaves-bakes-and-builds-the-carbon-fiber-7-series>, Erişim Tarihi: 05.02.2018.
- [11] ACI 440.1R, American Concrete Institute Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars, 2006.
- [12] <http://www.craftechind.com/a-special-highlight-on-basalt-and-aramid-fiber-reinforced-plastic/>, Erişim Tarihi:21.11.2017.
- [13] <https://www.besoglu.com/blog/bazalt-elyaf/>, Erişim Tarihi: 21.11.2017.
- [14] <http://afzir.com/en/product/retrofitting-products-en/glass-wrap-gfrp/> Erişim Tarihi: 21.10.2017.

- [15] <http://www.mpnc.net.au/fibre-reinforced-polymer/>, Erişim Tarihi: 21.11.2017.
- [16] <https://essaywritingserviceuk.co.uk/advice-and-guidance/free-essays/the-potential-of-frp-materials-in-a-passenger-aircraft-structure/>, Erişim Tarihi: 04.01.2018.
- [17] <http://basalt.today/topics/solutions-en/>, Erişim Tarihi: 01.02.2018.
- [18] Ayman, M., Composites: Construction Materials For The New Era, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), 45-58, 2004.
- [19] Halliwell, S.M., Polymer Composites in Construction, BRE Centre for Composites in Construction, London, 2000.
- [20] Ctp Teknolojisi, Cam Elyafı Takviyeli Reçine Sistemleri, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul, 2011.
- [21] Composites Manufacturing, An Official Magazine of The American Composites Manufacturers Association, (<http://www.acmanet.org>), Mart 2008.
- [22] www.strongwell.com, Erişim Tarihi: 06.02.2018.
- [23] http://www.gulfconstructiononline.com/news/162429_Waterproofing-holds-key-to-durability.html, Erişim Tarihi: 31.01.2018.
- [24] <http://mguadagnini.staff.shef.ac.uk/frp/frp.php>, Erişim Tarihi: 22.11.2017.
- [25] Pleiman, L.G., Strength, modulus of elasticity, and bond of deformed FRP rods, In Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures: Proceedings of the Specialty Conference, Las Vegas, Nev. Edited by S.L. Iyer and R. Sen. American Society of Civil Engineers (ASCE), New York. pp. 99-110, 1991.
- [26] Lawrence, C., Bank, Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials, John Wiley & Sons Inc, 2006.
- [27] Boyle, H.C. ve Karbhari, V.M., Investigation of Bond Behavior Between Glass Fiber Composite Reinforcements and Concrete, Journal of Polymer-Plastic Technology Engineering, Vol. 33-6: 733-753, 1994.
- [28] Benmokrane, B., Chaaallal, O., ve Masmoudi, R., Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with FRP Reinforcing Bars, Structural Journal, V. 93, No. 1, pp. 46-55, 1996.

- [29] Rizkalla, S.H., A New Generation of Civil Engineering Structures and Bridges, Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3), Sapporo, Japan, Vol. 1, 113-128, 1997.
- [30] Tadros, G., Tromposch, E. ve Mufti, A., University Drive/Crowchild Trail Bridge Superstructure Replacement, Second International Conference on Composites in Infrastructure (ICCI-98), Tucson, Arizona, Vol. 1, 693-704, 1998.

ÖZGEÇMİŞ

Numan DURMAZ, 24.01.1989 yılında Sakarya'da doğdu. İlköğretimi ve lise öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 2008 yılında Karasu Şehit Üsteğmen İbrahim Abanoz Lisesi'nde Yabancı Dil Ağırlıklı olarak tamamladı. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği bölümünden 2013 mezun olarak aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016'da Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksek Okulu'nu kazanmış ve 2017 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl Dikey Geçiş Sınavı ile Sakarya Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanmış ve öğrenimine devam etmektedir.