

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KARE KESİTLİ GFRP KUTU PROFİLLERİN İÇERİSİNE
POLİMER BETON DOLDURULARAK MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem ĞUMA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ali SARIBIYIK

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KARE KESİTLİ GFRP KUTU PROFİLLERİN İÇERİSİNE
POLİMER BETON DOLDURULARAK MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem ĞUMA

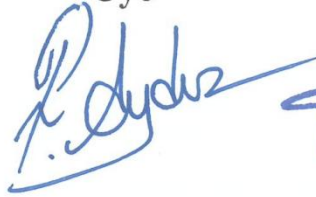
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Kemalettin YILMAZ
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Ferhat AYDIN
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Ali SARIBIYIK
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.

Özlem ĞUMA

27/05/2019

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 titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali SARIBIYIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Metin İPEK'e, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Arş. Gör. Kutalmış Recep AKÇA'ya, İnşaat Teknikeri Sami GÜRSES'e, sevgili Yeşim, Yusuf ve Alperen BERBEROĞLU'na, bu yola çıkmamda payı olan arkadaşım Mümüne ER'e, her zaman desteğini hissettiğim eşim Hakan ÖZTÜRK'e ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, bana kazandırdıkları her şey için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-50-01-071) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1.Amaç ve Kapsam.....	2
1.2.Tezin İçeriği	3
BÖLÜM 2.	
FRP KOMPOZİTLER VE POLİMER BETONLAR.....	4
2.1. FRP Kompozitler	4
2.1.1.Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi.....	4
2.2.Takiveye Edilme Şekillerine Göre Kompozitler.....	5
2.2.1.Elyaf (lif) takviyeli kompozitler	5
2.2.2.Parçacık takviyeli kompozitler.....	6
2.2.3.Lamine (Tabaka) takviyeli kompozitler.....	6
2.2.4.Karma takviyeli kompozitler.....	6
2.3.Matris Elemanlarına Göre Kompozitler	7
2.3.1.Metal matrisli kompozitler	7
2.3.2.Seramik matrisli kompozitler	7
2.3.3.Polimer matrisli kompozitler.....	7
2.3.3.1. Termoset polimerler	8

2.3.3.2. Termoplastik polimerler	10
2.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	10
2.4.1. Pultruzyon (profil çekme) yöntemi.....	11
2.4.1.1. Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş GFRP profil çeşitleri.....	15
2.4.1.2. GFRP profillerin yapıda kullanılması.....	15
2.5. Polimer Beton ..	17
2.5.1. Polimer betonun yaygın olarak kullanım alanları.....	19
2.6. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar	20
BÖLÜM 3.	
MALZEME VE YÖNTEM.....	25
3.1. GFRP Kutu Profiller.....	25
3.2. Polimer Beton.....	26
3.2.1. Polyester reçine	27
3.2.2. Agrega	28
3.2.3. Polimer beton tasarımı	30
3.2.3.1. Polimer beton eğilme deneyi ve sonuçları	31
3.2.3.2. Polimer beton basınç deneyi ve sonuçları.....	33
3.3. Deneysel Çalışma	35
3.3.1. Deney numunesi tasarımı.....	35
3.3.2. Numunelerin üretimi	36
3.3.3. Eğilme deneyi.....	40
3.3.4. Basınç deneyi.....	41
3.3.5. Tokluk Hesabı.....	43
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	45
4.1. Eğilme Deney Sonuçları	45
4.1.1. İçi boş profillerin eğilme deney sonuçları	45
4.1.2. Hibrit numunelerin eğilme deney sonuçları	48
4.1.3. Kumlu hibrit profillerin eğilme deney sonuçları	52
4.1.4. Eğilme deney sonuçlarının karşılaştırılması	56

4.2.Basınç Deney Sonuçları.....	57
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Kesit alanı (mm ²)
b	: Genişlik (mm)
E	: Elastisite modülü
FRP	: Fiber Takviyeli Plastik
GFRP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimer
h	: Yükseklik (mm)
I	: Atalet momenti (mm ⁴)
L	: Mesnet açıklığı (mm)
M	: Moment (Nm)
P	: Maksimum yük (N)
PC	: Polimer beton
PR	: Polimer reçine
TS EN	: Türk Standardı
W	: Mukavemet momenti (mm ³)
y	: Tarafsız eksen uzaklığı (mm)
γ	: Özgül ağırlık
σ	: Gerilme (N/mm ²)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Takviye edilme şekillerine göre kompozitler	5
Şekil 2.2. Pultruzyon makinesinin konfigürasyonu	11
Şekil 2.3. Profil çekme makinesi	11
Şekil 2.4. Fitol sehpaları	12
Şekil 2.5. Profil detayı	13
Şekil 2.6. Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş GFRP profil örnekleri	15
Şekil 2.7. GFRP vapur iskelesi	16
Şekil 2.8. GFRP metro istasyonu	16
Şekil 2.9. Basel gözlem evi	17
Şekil 2.10. Hibrit kirişler	20
Şekil 2.11. Hibrit kirişler	21
Şekil 2.12. Teng tarafından tasarlanmış hibrit elemanlar	21
Şekil 2.13. Fam tarafından tasarlanmış hibrit elemanlar	22
Şekil 2.14. Test edilen numuneler	23
Şekil 3.1. Testlerde kullanılan GFRP profiller	25
Şekil 3.2. GFRP profil kesiti	26
Şekil 3.3. Prizmatik numune kalıpları ve kalıp ayırıcı	27
Şekil 3.4. Polimer beton karışımında kullanılan agrega granülometrisi	29
Şekil 3.5. PR numuneleri ve eğilme deneyi	30
Şekil 3.6. Karışım metodu zaman çizelgesi	31
Şekil 3.7. Polimer beton eğilme dayanımları.....	33
Şekil 3.8. Polimer beton basınç dayanımları.....	34
Şekil 3.9. Deney numune tasarımı	36
Şekil 3.10. Hibrit numune üretimi	37
Şekil 3.11. Polimer beton üretimi ve yerleşimi	37
Şekil 3.12. Deney numuneleri	38
Şekil 3.13. Hibrit numune dört noktalı eğilme deneyi	38

Şekil 3.14. Epoksi bileşenleri ve hazırlanışı	39
Şekil 3.15. İç yüzeyi kumlu numune	39
Şekil 3.16. Eğilme deney düzeneği	40
Şekil 3.17. Eğilme testleri	41
Şekil 3.18. Basınç deneyinde kullanılan numuneler	41
Şekil 3.19. Basınç deneyi	42
Şekil 3.20. Basınç deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonları	43
Şekil 3.21. Tokluk hesabının şematik olarak gösterimi.....	44
Şekil 4.1. G45-3 eğilme grafiği	46
Şekil 4.2. G45-5 eğilme grafiği.....	46
Şekil 4.3. G74-4 eğilme grafiği	47
Şekil 4.4. G45-3, G45-5 ve G74-4 numunelerin moment taşıma kapasiteleri	47
Şekil 4.5. G45-3, G45-5 ve G74-4 numuneleri üzerinde oluşan kesme kuvvetleri..	48
Şekil 4.6. Boş profillerin eğilme deneyi	48
Şekil 4.7. G45-3PC eğilme grafiği	50
Şekil 4.8. G45-5PC eğilme grafiği	50
Şekil 4.9. G74-4PC eğilme grafiği	50
Şekil 4.10. G45-3PC, G45-5PC, G74-4PC numuneleri moment taşıma kapasitesi.	51
Şekil 4.11. G45-3PC, G45-5PC ve G74-4PC numuneleri üzerinde oluşan kesme kuvveti	51
Şekil 4.12. Hibrit numune eğilme deneyi	52
Şekil 4.13. Eğilme deneyi sonrası deformasyonlar	52
Şekil 4.14. G45-5PCS eğilme grafiği	53
Şekil 4.15. G74-4PCS eğilme grafiği	54
Şekil 4.16. G45-5PCS ve G74-4PCS numunelerin moment taşıma kapasiteleri ...	54
Şekil 4.17. G45-5PCS ve G74-4PCS numuneleri üzerinde oluşan kesme kuvvetleri	55
Şekil 4.18. G74-4PCS içinde meydana gelen kesme çatlakları	55
Şekil 4.19. G45-3, G45-5, G45-3PC, G45-5PC, G45-5PCS profillerin eğilme grafiği	56
Şekil 4.20. Hibrit numunelerin eğilme grafiği	57
Şekil 4.21. G45-3, G45-5 ve G74-4 numunelerinin ortalama basınç deneyi kırılma yükü sonuçları	58

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. En çok tercih edilen termoset matrislerin mekanik ve fiziksel özellikler	9
Tablo 2.2. Termoset ve termoplastik matris malzemelerin avantaj ve dezavantajları.....	10
Tablo 2.3. GFRP profillerin diğer malzemeler ile karşılaştırılması	14
Tablo 3.1. Testlerde kullanılan GFRP profil boyutları	26
Tablo 3.2. GFRP profillerin mekanik özellikleri	26
Tablo 3.3. Dewester 196 reçinesine ait özellikler	27
Tablo 3.4. Mekk ve kobalt özellikleri	28
Tablo 3.5. Agrega elek analiz değerleri	29
Tablo 3.6. 1 m ³ Polimer beton için gerekli karışım oranları (Hacimce %)	31
Tablo 3.7. Polimer betonların eğilme dayanım sonuçları	33
Tablo 3.8. Polimer betonların basınç dayanım sonuçları	34
Tablo 3.9. Basınç testlerinde kullanılan numune boyutları	42
Tablo 4.1. Boş profillerin ortalama sonuçları	45
Tablo 4.2. Hibrit numunelerin ortalama sonuçları	49
Tablo 4.3. Kumlu hibrit numunelerin ortalama sonuçları	53
Tablo 4.4. Numunelerin basınç deneyi kırılma yük sonuçları	57

KARE KESİTLİ GFRP KUTU PROFİLLERİN İÇERİSİNE POLİMER BETON DOLDURULARAK MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Elyaf takviyeli polimer malzemenin üstün mekanik dayanımı, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, uzun yıllar bakım ve boyaya ihtiyaç duymaması, kolay işlenebilir olması gibi avantajlarından dolayı inşaat sektöründe kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. İnşaat sektöründe hem taşıyıcı hem de ara malzeme olarak çeşitli alanlarda kullanılmakta olan pultrüzyon metodu kullanılarak üretilen Cam Elyaf Takviyeli Polimer (GFRP) kompozitler bu yapı malzemelerinden bir tanesidir. İnşaat sektörüne sağlayacağı fayda düşünüldüğünde GFRP profillerin özelliklerinin bilinmesi, geliştirilmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.

GFRP profiller üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda GFRP kutu profilleri eğilme ve basınç altında taşıma gücüne erişmeden profil köşelerinden deformasyona uğradığı bilinmektedir. Bu çalışmada pultrüzyon metodu ile üretilen GFRP kutu profillerin içerisine polimer beton doldurularak mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla laboratuvar ortamında üretilen polimer betonun ve GFRP kutu profiller ile birlikte hibrit kullanımı incelenmiştir. Polyster reçinesi doğal kum ve mıcır ile üretilen polimer beton, farklı kesit ve boyutlardaki GFRP kutu profiller içerisine doldurularak basınç ve eğilme hibrit numuneleri üretilmiştir. Üretilen hibrit elemanın eğilme ve basınç testleri altında davranışları incelenmiştir. İçi boş haldeki GFRP profiller, içi polimer beton doldurulmuş hibrit elemanlar ve yalın haldeki polimer beton numuneleri test edilmiştir. Numunelerin basınç ve eğilme testleri altındaki davranışları, yük taşıma kapasiteleri, deformasyonları ve toklularındaki değişim analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; çalışmalar neticesinde hibrit tasarım oluşumundan kaynaklı birçok avantaja sahip olmasının yanında, bileşen malzemelerine göre daha üstün fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit, Cam Elyaf Takviyeli Plastik (GFRP), Polimer Beton, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF SQUARE SECTIONAL GFRP BOX PROFILES FILLED WITH POLYMER CONCRETE

SUMMARY

The usage of fiber-reinforced polymer materials increases in the construction sector due to their advantages in terms of high mechanical strength, lightness, corrosion resistance, low density and high strength/density ratio, low maintenance and painting needs, and high workability. One of these building materials is Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) composites which are produced by a pultrusion method and used in various fields for a bearing and intermediate material in construction sector. Therefore, it is important to know and develop the characteristics of GFRP profiles, and to spread their area of utilization. It has been determined in the existing experimental studies on GFRP profiles that GFRP box profiles deform generally from their corners without reaching their ultimate load bearing capacity under bending and compression. In the study, it is aimed to improve mechanical properties of GFRP box profiles, produced by pultrusion method, by filling the polymer concrete into them.

Within the scope of study, hybrid use of polymer concrete produced with GFRP box profiles was investigated. Hybrid pressure and bending specimens were produced by filling polymer concrete (polyester resin manufactured with natural sand and stone chips) into GFRP box profiles having different cross-sections and dimensions. Behavior of the produced hybrid members was investigated under bending and compression tests. Hollow GFRP_{xx} profiles, polymer-filled hybrid members, and nominative polymeric concrete specimens were tested as well. The behavior of the specimens under pressure and bending tests, and their load bearing capacities, deformations and changes in toughness were observed.

According to the test results; It was deduced that hybrid design has many advantages over its component materials as well as superior physical and mechanical properties.

Keywords: Hybrid, Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP), Polymer Concrete, Compressive Strength, Bending Strength

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde araştırmacılar diğer teknik alanlarda olduğu gibi malzeme teknolojisinde de meydana gelen problemleri gidermek amacıyla, yeni uygulamalar ve tasarımlar ortaya koymaktadırlar. Bu çalışmaların büyük kısmı Kompozit malzemeler ve hibrit tasarımlar üzerine olmaktadır (Hollaway, 2010).

1950'li yılların ortalarında lifler ile donatılmış sentetik reçineler endüstriyel olarak kullanılmaya başlanmıştır (Bechtold, Wiedmer, ve Friedrich, 2002). Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) malzemenin üstün mekanik dayanımı, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, uzun yıllar bakım ve boyaya ihtiyaç duymaması, kolay işlenebilir olması, manyetik alan oluşturmaması gibi avantajlarından dolayı inşaat sektöründe kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. İnşaat sektöründe hem taşıyıcı hem de ara malzeme olarak çeşitli alanlarda kullanılmakta olan pultruzyon metodu kullanılarak üretilen Cam Elyaf Takviyeli Polimer (GFRP) kompozitler bu yapı malzemelerinden bir tanesidir (Mazumdar, 2001). Çeşitli avantajlarından dolayı inşaat sektörüne sağlayacağı fayda düşünüldüğünde GFRP profillerin özelliklerinin bilinmesi, geliştirilmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması önem arz etmektedir. GFRP profiller üzerine yapılan deneysel çalışmalarda GFRP kutu profillerin eğilme ve basınç altında taşıma gücüne erişmeden profil köşelerinden deformasyona uğradığı bilinmektedir (Mazumdar, 2001).

Araştırmacılar bu problemi azaltmak veya ortadan kaldırmak için profillerin içersine normal beton ve polimer beton kullanarak farklı kombinasyonlarda elemanlar üretmişlerdir. Yapılan çalışmalarda GFRP profillerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir (Riberio, 2002, Teng, 2004, Fam, 2005).

Bu yüksek lisans tezinde, pultruzyon metodu ile üretilen GFRP kutu profillerin içerisine polimer beton doldurularak mekanik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Farklı kesit ve boyutlardaki GFRP kutu profillerden, polimer beton kullanılarak basınç ve eğilme hibrit numuneleri üretilmiştir. İçi boş GFRP profillerin, yalın polimer beton numunelerin ve içerisi polimer beton ile doldurulmuş aynı kesitteki hibrit numunelerin basınç ve eğilme testleri altındaki davranışları incelenerek numuneler test edildikten sonra sonuçlar analiz edilmiştir.

1.1. Amaç ve Kapsam

GFRP kutu profillerin eğilme ve basınç yükleri altında beklenen dayanıma erişmeden köşe noktalarından çatlayarak/lokal olarak kırılarak dayanımını kaybettiği bilinmektedir. Bu çalışmada polimer betonu taze halde, farklı kesit ve boyutlarda üretilen GFRP kutu profiller içerisine yerleştirilerek kutu profillerde oluşan deformasyonları minimum düzeye indirmek amaçlanmaktadır. Bu amaçla farklı kesit ve boyutlardaki GFRP kutu profillerden, polimer beton kullanılarak hibrit basınç ve eğilme numuneleri üretilmiştir. Polimer beton ve kutu profil arasındaki aderansı iyileştirmek için kutu profil iç yüzeylerine kumlama yöntemi uygulanmıştır. İçi boş haldeki GFRP profiller, içi polimer beton doldurulmuş hibrit elemanlar ve yalın haldeki polimer beton numuneleri basınç ve eğilme testleri altında test edilmiş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında pultruzyon yöntemi ile elde edilen 45x45x3 mm, 45x45x5 mm ve 74x74x4 mm kesitli GFRP kutu profiller kullanılarak eğilme ve basınç deneyi altındaki davranış biçimleri belirlenmiştir. Ayrıca seçilen profiller ile farklı kesit özelliklerinin yanısıra, profil et kalınlığının da davranışa etkisi incelenmiştir. Profil içerisine konulan polimer beton ekonomiklik düşünülerek geleneksel betonda kullanılan doğal kum ve mıcır kullanılarak üretilmiştir.

Profiller dört noktalı eğilme deneyinde kullanılmak üzere 500 mm boyutuna getirilirken, basınç deneyi için kesit özelliklerine göre 45 mm ve 74 mm boyutunda küp numuneler üretilmiştir.

1.2. Tezin İçeriği

Araştırma konusu ile ilgili genel bilgi verilen Bölüm 1 ‘den sonra Bölüm 2 ‘de Polimer beton, diğer sektörlerde kullanılmakta olan Kompozit ve Hibrit malzemeler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Fiber takviyeli plastiklerin üretim yöntemleri ve FRP eşitleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca hibrit malzemelerin kullanım alanları ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılmış ve bu çalışmanın mevcut çalışmalardan farklılıkları bu bölümde belirtilmiştir.

Bölüm 3’te, deneylerde kullanılacak olan malzemeler ve yöntemler hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Bölüm 4’te farklı dayanımlara sahip basınç ve eğilme numuneleri üretilmiştir. Üretilen hibrit elemanların basınç ve eğilme testleri altındaki davranışları deneysel olarak belirlenmiştir.

Bölüm 5’te ise deney sonuçları değerlendirilmiştir. İçi boş haldeki GFRP profiller, içi polimer beton doldurulmuş hibrit elemanlar ve yalın haldeki polimer beton numuneleri test edilerek sonuçlar analiz edilmiştir. Deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve GFRP profil ile polimer betonun birlikte kullanımıyla ortaya çıkan Hibrit malzemenin getirdiği avantajlar sunulmuştur.

BÖLÜM 2. FRP KOMPOZİTLER VE POLİMER BETONLAR

2.1. FRP Kompozitler

Fiber Takviyeli Plastikler (FRP) genelde bir matris malzemenin liflerle birleştirilmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım ve çevresel etmenlere karşı gösterdiği iyi performansın yanında araştırmacıların arzu ettiği birçok özelliğe sahip ve farklı kombinasyonlarda üretilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir.

2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi

Kompozit malzemelerin kullanımı eski çağlara dayanmaktadır. İnsanların duvar örmekte kullandıkları en ilkel tuğla türü olan saman ve balçık karışımından oluşturdukları kerpiç kompozit malzemeye örnek olarak verilebilir.

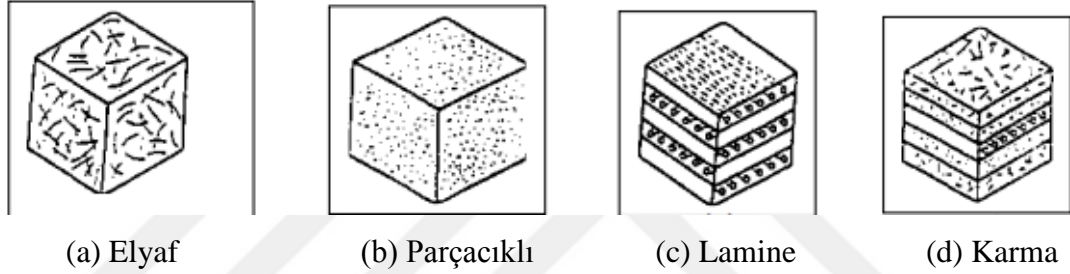
Kompozit malzemeler, 1930 yılında icat edilen Kondenzasyon Reaksiyonu sayesinde hızlı bir gelişme kaydetmiştir. Uçakların burun bölgesinde GFRP kompozitin kullanımı 1942 yılına dayanmaktadır. Tek motorlu Vultee BT-15 uçaklarının gövdesinde birincil yapı olarak ilk defa kullanılmıştır. Alüminyum yapıya göre ağırlıkları %50 düşüş göstermiştir. Kompozit malzemeler, meydana gelen bu hızlı gelişim sayesinde çağdaş bir malzeme olma niteliği kazanmış olup geleceğin malzemesi niteliğine ulaşmıştır (Demircioğlu, 2006).

Kompozit malzemelerin en fazla gelişim gösterdiği ülkelerin başında Çin gelmektedir. Bunun yanı sıra Amerika, Almanya, Japonya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerde büyük bir pazar potansiyeli mevcuttur.

Havacılık ve uzay sektöründe, rüzgar enerji üretim ekipmanlarında, inşaat sektöründe, otomotiv sektöründe kullanımı giderek artmakta ve bu durum kompozit üzerinde hızlı gelişmelere yol açmaktadır (Fink ve Bank, 2006).

Kompozitler takviye edilme şekillerine ve matris elemanlarına göre 2 gruba ayrılır.

- 1) Takviye edilme şekillerine göre;
 - a) Elyaf (lif) takviyeli kompozitler,
 - b) Parçacıklı kompozitler,
 - c) Lamine (levha) takviyeli kompozitler,
 - d) Karma takviyeli kompozitler.



Şekil 2.1. Takviye edilme şekillerine göre kompozitler

- 2) Matris elemanlarına göre;
 - a) Metal matrisli kompozitler,
 - b) Seramik matrisli kompozitler,
 - c) Polimer matrisli kompozitler.

2.2. Takiveye Edilme Şekillerine Göre Kompozitler

2.2.1. Elyaf (lif) takviyeli kompozitler

Malzemenin tokluk ve sünekliğinin arttırılması amacı ile matris malzemenin lifler ile doldurulması sonucu üretilen kompozitlerdir. Ayrıca çarpma, eğilme, çekme dayanımları düşük olan kırılğan matris malzemelerin zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla üretilmektedir. Elyafların dağılımı kompozit malzemenin mukavemetini belirleyen en belirgin özellik olup içerisinde katılan elyafların çap ve uzunluğu da

mukavemeti belirleyen parametrelerdir. Elyaf kalınlığının da kompozitlerin özelliklerini direkt olarak etkilediği görülmektedir (Karlı, 2016).

Uzun elyafların birbirine paralel şekilde yerleştirilmesi elyaf doğrultusunda etkiyen kuvvetlere karşı yüksek çekme dayanımı sağlarken elyaf doğrultusuna dik etkiyen kuvvetlere karşı dayanımı yetersiz olduğu görülmektedir. İki boyutlu elyaf yerleştirilmesi sonucu iki yönde de eşit dayanım sağlanır (Karlı, 2016). Lif takviyeli kompozitler, kullanılan lifin cinsine göre karbon, cam, aramid, bazalt vb. sınıflara ayrılmaktadırlar.

2.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin milimetre ve üzerindeki boyutlarda parçacıklarının bulunduğu kompozit malzeme türüdür. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. Polimerler bünyesinde takviye amacı dışında parçacık bulundurulur. Buradaki parçalar takviye amaçlı olmayıp, maliyeti düşürmek için kullanılmaktadır. Parçacık takviyeli kompozitlerin üretimi elyaf takviyeli kompozitlere göre daha ekonomiktir (Eren, 2007).

2.2.3. Lamine (Tabaka) takviyeli kompozitler

Yaygın olarak kullanılan tabakalı kompozitler, kendisinden daha mukavim fiber malzemelerden oluşan matrislerin birleşiminden elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı ayrıca mukavemetli ve hafif olmaları yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Uçak yapılarında yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır (Yıldırım, 2011).

2.2.4. Karma takviyeli kompozitler

İki ya da daha fazla elyaf çeşidinin birleşerek oluşturduğu kompozit türüdür. Örnek olarak Cam/Karbon, Cam/Aramid, Kevlar/Grafit verilebilir. Elyafların kötü özelliklerini giderebilen bir diğer elyaf ile birleşiminden oluşan bu sisteme hibrit kompozit denilmektedir (Karlı, 2016).

2.3. Matris Elemanlarına Göre Kompozitler

2.3.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrislerin kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Yeterli mukavemet ve sünekliğe sahip metaller ve alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Örneğin Al, Mg, Fe, Ni gibi metallere takviye olarak kolay bağ oluşturan karbon veya silikon karbürler takviye malzemesi olarak kullanılır. Uzay, havacılık ve otomotiv gibi hafifliğin, ısı iletkenliğin ve yüksek dayanımın istendiği yerlerde tercih edilmektedir. Ancak yüksek maliyetlerinden dolayı inşaat alanında kullanım alanları azdır (Asi, 2018).

2.3.2. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisler kompozit malzemeye; sertlik, basma dayanımının yüksek olması, ergime sıcaklığı ve yalıtım özelliklerinin yüksek olması, aşındırıcı özelliğe sahip olması gibi özellikler kazandırır (Akıncı 2004).

Üç çeşit seramik matrisli kompozit malzeme vardır:

- Sürekli fiberli kompozitler (Zırhlar, separetörler, fren diskleri vb.)
- Süreksiz fiberli kompozitler (Korozyona dayanıklı parçalar)
- Partiküllü kompozitler (uzay roketi motorları, sandaviç zırhar vb.)

2.3.3. Polimer matrisli kompozitler

En yaygın ve çeşitli uygulama alanına sahip kompozit çeşididir. Havacılık alanında (uçanın gövde ve kanat panelleri, burun bölümü, zemin plakası), denizcilik sanayisinde (yelkenli gövdesi, yat ve tekne arkası platformu, basamaklar, yelken direği), spor araçlarında (su kayağı, kano küreği, bisiklet, tenis raketi vb.), korozyona dayanıklı ürünlerde (su tankı, mazgal olukları, ilan panoları vb.) sağlık sektöründe ve otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Hammaddelerinin ucuz olması üretim yönteminin kolaylığı ve üretim maliyetinin düşük olması bu durumunun temel sebepleridir. Polimer malzemeler termosetler ve termoplastikler olarak ikiye ayrılır (Kovan, 2002).

2.3.3.1. Termoset polimerler

Termosetler uzun molekül zincirlerinin çapraz bağlar ile bağlanmaları sonucu oluşurlar. Bir defa ısıtılarak şekillendirilirler. Tekrar ısı verildiğinde birbirlerinin üzerinde kayma yeteneklerini kaybederler. Termoplastiklere göre yüksek dayanım özelliklerine sahiptirler. Ancak çapraz bağların oluşması zaman aldığı, ısıtma işleminin ek maliyet oluşturduğu ve tekrar kullanılmıyor olmasından dolayı dezavantajlı durumda kalmasına neden olmaktadır.

Termosetler kendi içlerinde, farklı özelliklerinden dolayı çeşitlilik gösterirler. En çok tercih edilen termosetler; epoksiler, polyesterler ve fenoliklerdir. Bunların dışında, polimide, silikon, bismaleimide ve aminolar kullanılmaktadır .

Epoksi reçineler: Kopma mukavemetleri, aşınma ve kimyasal dirençleri yüksek, uçucu olmayan, düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahip, GFRP kompozitlerinde sıkça tercih edilen bir matristir. Epoksiler laminant, döküm ve cam takviyeli uygulamalarda, yer döşemelerinde kullanıldığı gibi otomotiv, denizcilik, havacılık gibi performansın maliyet faktöründen daha önemli olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. İnşaat sektöründe ise çatlak ve boşlukların doldurulması ve tamiratında, taze betonu eski betona bağlamak için yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Ancak polyesterler ile karşılaştırıldığında maliyeti fazladır. UV ışınlar epoksinin yapısını bozarak epoksinin zayıflamasına neden olur. Ciltle uzun süreli temaslarında alerjik etkisi bulunmaktadır. Epoksinin tozu ve buharı göz ve solunum sistemini olumsuz etkiler (Giordano & Nicolais, 1997).

Polyesterler: Teraftalik asit ve etilen glikolün polimerleşmesi ile oluşan malzemeye denir. Polyester reçineler, beklenen özelliğe göre formüle edilebildikleri için kompozit endüstrisinin hemen hemen tüm alanlarında kullanımı mevcuttur. Yapı sektöründe cephe giydirme, prefabrik yapılar, tavan, kubbe yapımı, denizcilik sektöründe yat, tekne gövdeleri, otomotiv gövdesi ve parçalarının imalatında kullanılır. Maliyet olarak kıyaslandığında epoksilere göre daha ucuz polimerlerdir. Ancak sertleşirken çekme gerilmesi meydana gelmektedir. Bazı ortam şartlarında korozyon dayanımının düşük

olması, zehirli sitiren gazı yayması ve kısa raf ömrü polyesterlerin dezavantajlarıdır (Giordano ve Nicolais, 1997).

Fenolikler: Piyasada bakalit ismi ile tanınan polimerlerdir. Sert ve gevrek yapıda olup kimyasal direnci yüksektir. Mükemmel yakın alev dayanımı ve zehirsiz duman özellikleri bulunmaktadır. Işık ve oksijene maruz kaldıklarında renklerini kayb ettikleri için siyah, kırmızı ve kahverengi gibi birkaç renkle sınırlıdır. Fren ve debriyaj balatalarında, elektrikli ev aletlerinde, koruyucu kaplama izolasyon amaçlı kullanılırlar (Giordano ve Nicolais, 1997).

En çok tercih edilen epoksi, polyester ve fenolik termoset reçinelerine ait bazı özellikler Tablo 2.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. En çok tercih edilen termoset matrislerin mekanik ve fiziksel özellikleri (Karslı, 2016).

Malzeme Cinsi	Epoksi	Polyester	Fenolik
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Elastik Modül (kN/cm ²)	700	340	480
Çekme Dayanımı (kN/cm ²)	7	4,1-9	3,4-6,2
Kopma uzaması (%)	3-6	42	1,5-2,0
Isıl İletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl Genleşme Katsayısı (1/oC)	45-65	55-100	68

Silikonlar: Oksijen ve hidrokarbonlardan oluşan kısmen organik ve kısmen de inorganik olan sentetik bir polimerdir. İsteğe göre akışkan, jelatin, elastomerimsi ya da rijit olabilirler. Yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanıklıdır. Ayrıca su iticilik özelliğine sahiptir. Ancak buhar ve kuvvetli alkalilerden etkilenirler (Karslı, 2016).

Amino reçineler: Çok katı ve parçacıklı yapıya sahip plakalarda yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fenoliklerden daha pahalı bir reçinedir (Karslı, 2016).

2.3.3.2. Termoplastik polimerler

Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunan, ısıtıldığında viskozitesini kaybeden ve ergiyen, kaynak yapılabilen ve tekrar tekrar ısıtılıp soğutulularak yeniden proses edilebilen geri dönüşümü olan polimerlerdir. Yarı kristal ya da amorf yapıdadırlar. Raf ömrü uzun olan termoplastiklerin dezavantajı ise ateşe karşı dayanımı bulunmamasıdır (Asi, 2018).

Termoplastik tüketimi tüm plastik malzeme tüketimi içinde yaklaşık %80 oranında bir paya sahiptir. Başlıca termoplastikler; asetal (POM), arkilik (PMMA), akronitril-butadiene-streyn (ABS), polietra flourethylene (PTFE), poliamids (PA), polyesterler (PET), poletilen (PE), polipropilene (PP), polivinilklorür (PVC) dir (Asi, 2018).

Sonuç olarak termoset ve termoplastiklerin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması Tabla 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Termoset ve termoplastik matris malzemelerin avantaj ve dezavantajları (Sönmez, 2016).

Özellik	Termoset Matris	Termoplastik Matris
Formulasyon	Karışık	Daha Basit
Eriyik Akışkanlığı	Düşük	Daha Yüksek
Maliyet	Orta	Yüksek
Raf Ömrü	Oldukça Düşük	Yüksek
Proses Çevrimi	Oldukça Uzun	Oldukça Kısa
Ürün Boyutlatı	Çok Büyük Olabilir	Küçük-Orta
Çözücülere Karşı Dayanım	İyi	Zayıf-İyi
Hasar Toleransı	Mükemmel	İyi
Üretim Kolaylığı	Emek Yoğun	Daha Az Emek Yoğunluğu

2.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

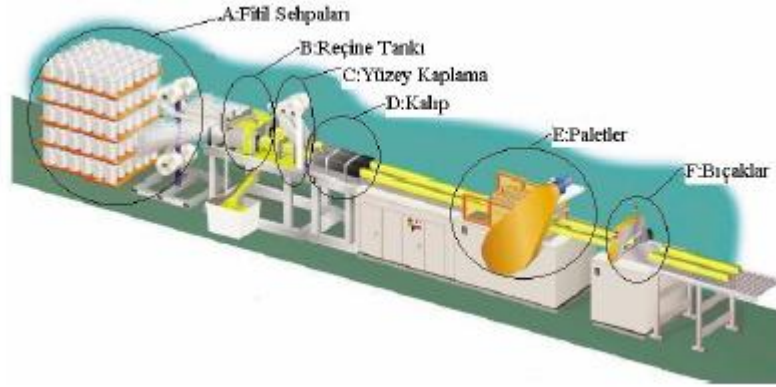
Kompozit malzeme tasarımında istenilen özellik ve maliyet göz önünde bulundurularak en uygun üretim yöntemi seçilmelidir. Kompozit malzemelerin üretiminde el yatırması, kapalı kalıpta soğuk/sıcak press, vakum infüzyonu, profil çekme, püskürtme, filaman sarma, otoklav ve reçine transfer gibi yöntemler kullanılmaktadır (Yalçın, 2012).

Bu yöntemler arasında inşaat sektöründe taşıyıcı yapı elemanını oluşturan yöntemlerden en yaygın olanı profil çekme yöntemidir.

2.4.1. Pultruzyon (profil çekme) yöntemi

Pultruzyon yöntemi ile 1940 yılının sonundan itibaren rijit çubuk, lamalar ve boru, kiriş gibi endüstriyel profil ürünleri elde edilmektedir (Aydın, 2011). Ayrıca inşaat sektöründe hem ana hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profillerin üretiminde de kullanılmaktadır.

Pultruzyon makinesinin konfigürasyonu Şekil 2.2.'de ve örnek makine Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Pultruzyon makinesinin konfigürasyonu (www.stronwell.com)



Şekil 2.3. Profil çekme makinesi (www.pultrusiondynamics.com)

Pultruzyon yönteminde, istenilen mekanik özellikte malzemeyi üretebilmek için devamlı elyaflara ek olarak dokunmuş fitil, keçe ya da bunların kombinasyonları birlikte

kullanılır. Fital sehpaları elyaf, fitil ve keçelerin sarılı olduğu bobinlerin bulunduğu yerdir. Şekil 2.4.'te de görüldüğü gibi bu sehpalardan ayrı bir bölümdür.

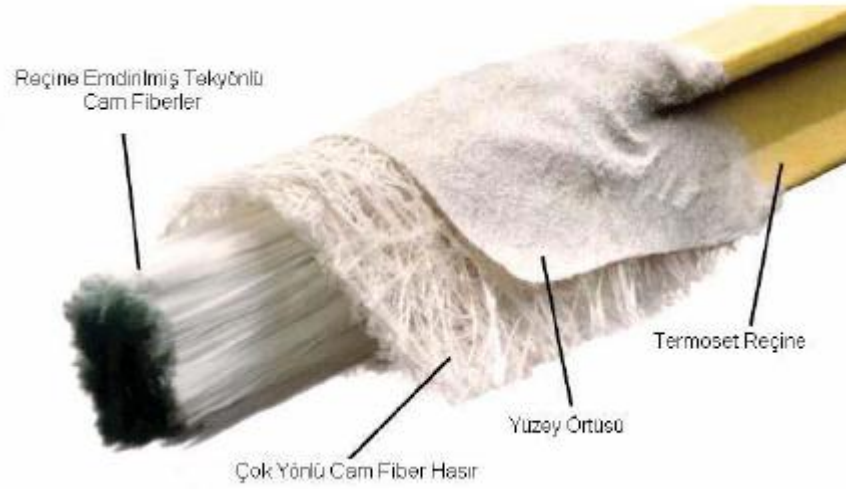


Şekil 2.4. Fital sehpaları (www.stronwell.com)

Makine üzerindeki ilk bölüm, Reçine Tankıdır. Bu bölüm bağlayıcı malzeme olan reçinenin konulduğu yerdir. Dokunmuş fitil, keçe gibi takviye malzemeleri bu kısımda reçineye bulanır (Rahatekar, 2003).

Reçine emdirilmiş olan cam elyaf lifleri Ön Kalıba girerler. Reçine tankında işlem görmüş malzemelerin içlerindeki hava ve fazla reçinenin süzülmesini sağlayarak reçinenin cam takviye malzemesine en yüksek düzeyde penetrasyonunu sağlamış olur (Rahatekar, 2003).

Ön kalıptan çıkan malzeme, kullanım yerinde atmosfer ve diğer etmenlerden korunması için yüzeyi karışık yönlü elyaflar ile kaplanır. Yüzey örtüsü ve diğer malzemeler Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Profil detayı (Cumhur, 2007)

Pultruzyon yöntemi makineler ile yapıldığı için üretim düşük iş gücü kullanılarak yapılmaktadır. Kalıbı ısısı, profilin çekme hızı, kesilme uzunlukları gibi tüm detaylar makinenin Kontrol Ünitesi yardımıyla yapılır.

Pultruzyon makinesinin konfigürasyonunda görüldüğü gibi yüzey kaplama işleminden sonra esas kalıp kısmına geçilir. Kalıp malzemesi çelikten yapılmıştır.

Makine üzerindeki son bölümlerden biri olan paletler, kalıptan çıkan profillerin çekilmesiyle sistemin sürekliliğini sağlar.

Makinenin en sonunda yer alan bıçaklar sayesinde profiller istenilen uzunlukta kesilerek proses tamamlanmış olur (Rahatekar, 2003).

Epoksi ve fenolik reçineler, spesifik performans özellikleri aranan ürünlerin kalıplanmasında kullanılmaya başlanmıştır. Epoksiler yüksek mukavemet, yüksek ısı dayanımı ve elektriksel özelliklerde iyi performans sağlar iken, fenolik reçineler ise bu yöntem ile üretilen numunelere yanmazlık ve düşük duman yayma özellikleri kazandırır.

Pultruzyon yönteminde kullanılan reçineye farklı malzemeler ilave edilebilmektedir. Maliyeti düşürmek için 3-6 mikro boyutunda kalsit, korozyon dayanımı için kil, alev dayanımı istendiğinde alüminyum hidroksit eklenebilir (Atarsia ve Bokhili, 2000).

Tablo 2.3. GFRP profillerin diğ er malzemeler ile karşılaştırılması (www.armaplast.com.tr)

Özellik	GFRP Profiller	Çelik	Alüminyum
Korozyon Dayanımı	Yüksek	Düşük	Orta
Dayanım	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Ağırlık	Düşük	Yüksek	Düşük
Elektiriksel İletkenlik	Düşük	Yüksek	Yüksek
Isıl İletkelik	Çok Düşük	Yüksek	Yüksek
İmalat	Kolay	Kolay	Orta
Çevresel Etki	Düşük	Yüksek	Yüksek

Pultruzyon yönteminin avantajları (Sarıbyık, 2008):

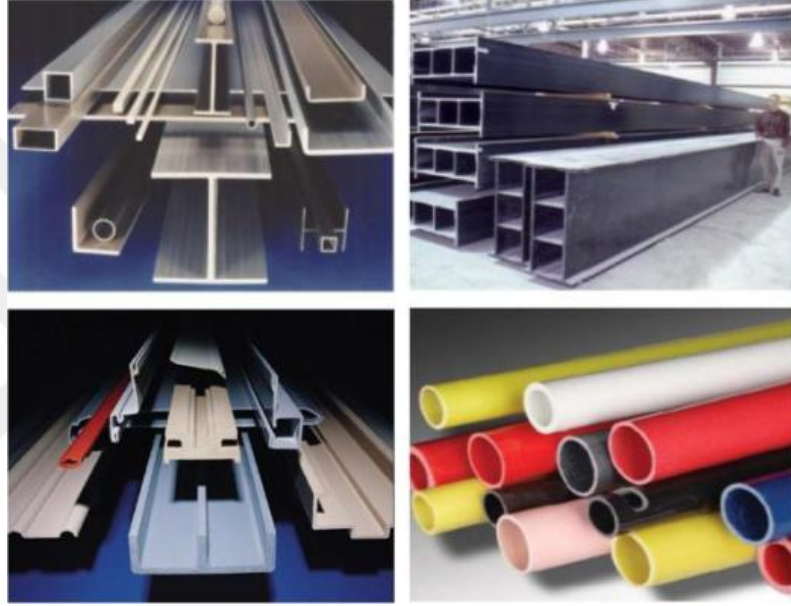
- Diğ er yöntemlere nazaran daha hızlı üretim yapılmaktadır.
- Geometrisi düzgün olamayan karmaşık yapılı numuneler kolaylıkla üretilebilir.
- Düşük maliyette üretildikleri için metaller ile bir yarış halindedir.
- İstenilen mekanik özelliklere sahip FRP üretimi yapılabilir.
- Ekonomik olması ve birçok Pazar tarafından kullanılması sayesinde ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir.
- Düşük işçilik gerektirmektedir.
- Pultruzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmesi.

Pultruzyon yönteminin dezavantajları (Sarıbyık, 2008):

- Üretim aşamasında elyafların büyük bölümü çekme dayanımı sağlayacak yönde yerleştirildiğ inden, genellikle çapraz yöndeki mukavemeti düşüktür.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özellikte olmayıp, katlar arası düşük kesme dayanımı bulunmaktadır.
- Kompozitler gevrek malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler.
- Standartlaş an bir kalitesi bulunmamaktadır.

2.4.1.1. Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş GFRP profil çeşitleri

Pultruzyon yöntemi ile üretilen profiller, inşaat alanında ana malzeme ve tamamlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Profil çekme metodu ile üretilen kutu, 'I', 'T', 'L', ve 'U' profillerinin yanı sıra sabit şekillerde olmayan profillerin de üretimi yapılabilmektedir (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş GFRP profil örnekleri (Sarıbiyık, 2008)

2.4.1.2. GFRP profillerin yapıda kullanılması

Pultruzyon yöntemi ile üretilen malzemeler, iletkenlik ve hafiflikleri sayesinde öncelikle elektrik ve eğlence sektöründe kullanılmaya başlamasına rağmen korozyon dayanımının tespitinden sonra inşaat, otomotiv ve havacılık gibi alanlarda kullanımı artmıştır. Bu profillerin kimyasallara karşı dayanımı bulunduğu için atık su temizleme tesislerinde, kimyasal üretim ve diğer bazı endüstriyel tesislerde sık sık kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanım alanları şu şekildedir:

- Güçlendirme veya onarım işlerinde (Kumaş ya da laminant halinde)
- Tamamen FRP profillerden imal edilmiş yapılar (Lindevang Metro İstasyonu)
- Hibrit (Beton veya Çelikle birlikte)

- Tamamlayıcı elemanlar (Korkuluk, Kaplama v.b...)

Tamamı FRP profillerden üretilen yapılar fazla yüke maruz kalmayan küçük iskeleler olmuştur (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. GFRP vapur iskelesi (Sarıbyık, 2008)

Zaman ile GFRP daha iyi tanınarak üzerinde çalışmalar yapılmıştı ve Copenhagen’de Lindevang Metro istasyonu, 60 m uzunluğunda ve 7,5 m genişliğinde GFRP profiller kullanılarak imal edilmiştir.



Şekil 2.8. GFRP metro istasyonu (Sarıbyık, 2008)

Bunun bir aşama üstü olarak; asma köprüler yapılaya başlanmıştır. Bu yapılara örnek olarak 18 Haziran 1997 yılında Danimarka' nın Kolding şehrinde, tren yolunun üzerine yapılan 40 m açıklığında ve 18,5 m yüksekliğe sahip kulesi ile toplam 12 ton ağırlığındaki GFRP köprüdür. Bu köprü 5 tana kadar araç ve 500 kg/m^2 yayılı yük taşıma kapasitesine sahip olup, 18,5 m yüksekliğindeki kulesi ile hava sıcaklığını,

rüzgarın yönünü ve şiddetini ölçen bir hava gözlem kulesi işlevi de görmektedir. Yapım hızı ve uygun maliyeti gibi özelliklerinden dolayı GFRP ile imal edilen köprü 1997 yılında Alman Plastik Birliği'nden icatlar ödülü ve 1998 yılında Danimarka Endüstri Birliğinden ürün ödülü almıştır (Sarıbyık,2008).

İsviçre'nin Basel şehrinde 5 katlı 15 m yüksekliğinde gözlem evi yapılmıştır. Amerika'da, taşıyıcı kirişleri GFRP profillerden imal edilmiş üst kısmı beton malzemedan yapılmış taşıt köprüleri mevcuttur (Aydın, 2011).



Şekil 2.9. Basel gözlem evi (Sarıbyık, 2008)

GFRP malzemelerin üstün özelliklerini dikkate alan yerli üreticiler tarafından Türkiye'de balkon çıkıntıları, korkuluklar, çardak gibi küçük çaplı birtakım uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

2.5. Polimer Beton

Polimer beton, faz malzeme ile reçinenin karıştırılmasından sonra hızlandırıcı ilave edilerek oda sıcaklığında polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi sonucu sertleşmesi ile elde edilir. Betonun dayanımını geliştirmek için polimer reçine kullanımı dünya ülkelerinin tümünde ilgi uyandırmaktadır. Betonda polimer kullanımı üç farklı şekilde olmaktadır. Bunlar;

- Polimer katkılı betonlar,

- Polimer reçine matrisli betonlar,
- Polimer reçine emdirilmiş betonlar.

Betonun uygulama ve kalitesi polimer cinsine, agrega tipine ve granülometrisine bağlıdır. Polimer harç ve betonu için ticari olarak mevcut bağlayıcılar çeşitli termoset reçineleri, katranla geliştirilmiş reçineler, reçineyle geliştirilmiş asfaltlar ve vinil monomerleridir. En çok kullanılan polimer bağlayıcılar epoksi reçineleri, doymamış polyester reçinesi, vinil ester ve metil metakrilat monomeridir. Metil-metakrilat monomerinin kullanımı, yüksek yanabilirliği ve kötü kokusu nedeniyle sınırlandırılmıştır. Metil metakrilat bağlayıcı harç ve betonlar iyi işlenebilirliği ve düşük sıcaklıklarda kürlenebilmesinden dolayı ilgi çekici bir malzemedir.

Polimer betonlar için görünen önemli bir problem sıcaklıktır. Sıcaklığın yükselmesi basınç ve eğilme dirençlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu azalma epoksi betonlarında %15, polyesterlerde %56, akrilik polimerlerde ise %20 oranlarındadır. Yapılan araştırmalara göre, epoksi betonlarında sıcaklığın artması sonucu mukavemetinde artış gözlenmektedir, Polyester betonlarında ise ısı arttıkça mukavemet önemli ölçüde azalmaktadır. Buna sebep 75°C'de depolimerize olmalarıdır. Akrilik numunelerin mekanik mukavemeti çok değişmemektedir. Epoksi reçineleri polyester ve fenolik reçinelerinden daha düşük maliyete sahip olmalarına karşı fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmuşlardır (Kaya, 1983).

Polimer betonda geleneksel betonlarda görülen rötre çatlakları görülmez. Bunun sebebi polimer beton üretiminde bağlayıcı olarak su ve çimento kullanılmamasıdır. Dona ve kimyasallara karşı dayanıklıdır, taşıma güçlerine göre ağırlıkları oldukça düşüktür. PC'lerin tipik özellikleri şöyle sıralanabilir (Dikeo ve David, 1990):

- Basınç mukavemeti 40-140 MPa
- Eğilme mukavemeti 8-35 MPa
- Elastisite modülü 700-35000 Mpa
- Isıl genleşme katsayısı $5-10 \cdot 10^{-6}$
- Su içeriği <%1
- Dona dayanıklılık iyi

- Asitlere dayanıklılık çok iyi

Polimer betonların da su ve çimento yerine bağlayıcı olarak reçine ve işlenebilirlik sağlaması amacıyla kalsit, silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıları kullanılır. Polimer harç ve betonlarında bağlayıcı olarak polimer miktarı normalde ağırlığının%9-%25'i kadardır. Genellikle kuvvetli karıştırıcılar ile üretilen polimer betonları benzer yöntemlerle kalıplara konup şekillendirilir. Yapı sektöründe bu malzemeler şu iki sebepten dolayı fazla gelişmemiştir;

1. Polimerler çok geniş malzeme grubundan oluşmaktadır. Sıcaklık, elastikiyet ve kimyasal özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Maliyetleri geleneksel betonun maliyetinin 5 ila 10 katıdır.

2. Polimer betonları için bir beton karışım hesap yöntemi yoktur. Yalnızca özel araştırmalarda reçine ve agregalar için formüller kullanılır (Pişkin, 2010).

Polimer esaslı üretilen betonların performansı; polimerin türü, mineral tipi ve parçacık boyutu, reaksiyon süresini belirlemek için kullanılan kimyasal malzemelerin özellikleri gibi birden fazla etkene bağlıdır (Bağcı, 2010). Polimer beton yüksek dayanım gösteren bir malzemedir. Tasarım esnekliği mevcuttur. Mekanik ve çevresel baskılar altında termoset kompozitler şekillerini ve işlevselliklerini korurlar. Yüksek dielektrik direnimi vardır. Beton ve ahşap yüzeylere yapışma özelliği vardır. Malzemenin gözeneklerinden sızarak dayanımı artırır. Bu gibi özellikler polimer betonun kullanım avantajlarını göstermektedir (Topsakal, 2013).

2.5.1. Polimer betonun yaygın olarak kullanım alanları

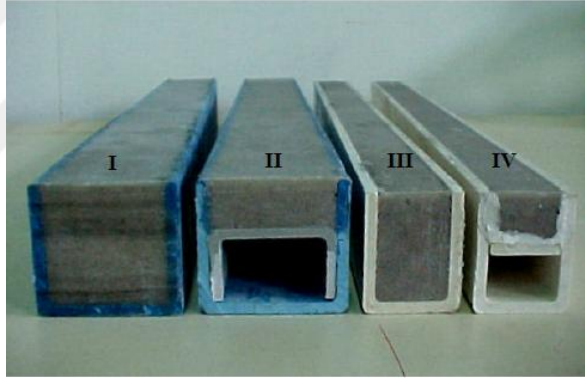
Prekast polimer betonları hızlı kür, yüksek mukavemet ve ince kesitlerde düşük permeabilite gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Polimer betonlar başlıca; onarım işlerinde, aşınmaya maruz yüzeylerde ve beton yollarda kayma direncini korumak amaçlı, inşaat ve dekorasyon panellerinde, lağım boruları, cam kemeri ve drenaj kanallarında, jeotermal uygulamaları için karbon-çelik boruların içinde astar olarak, yüzme havuzu ve teraslarda, köprü donatıları için katodlama yoluyla paslanmadan koruma sistemlerinde kullanılmaktadır. (Topsakal, 2013).

Onarım işlerinde çatlak boyutu çok ince ise polimer enjeksiyonu ile geniş ve derin çatlaklar da ise dolgu maddeleri karıştırılmış polimer harcı kullanılarak yapılmaktadır.

Polimer betonlar yollarda ve hava alanlarında kullanılır. Düşük su ve klor geçirgenliğine sahiptir. Bu yüzden yolların bozulmasını ve donma çözünmeden oluşacak yarılmaları önler.

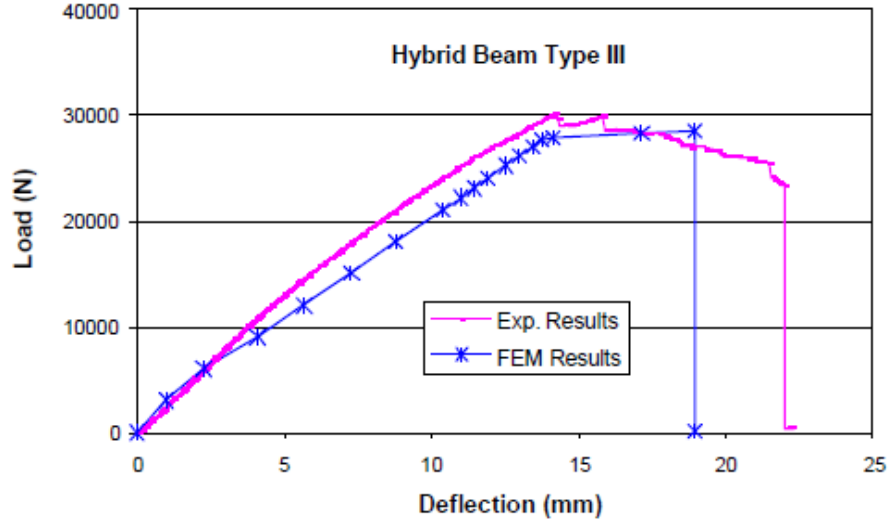
2.6. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ribeiro ve arkadaşları, GFRP profiller ile polimer beton kullanılarak hibrit kirişler üretmişlerdir (Şekil 2.10.). Hibrit kirişlere dört noktalı eğilme testleri yaparak davranışlarını incelemişlerdir (Riberio, Tavares, Ferreira ve Marques, 2002).



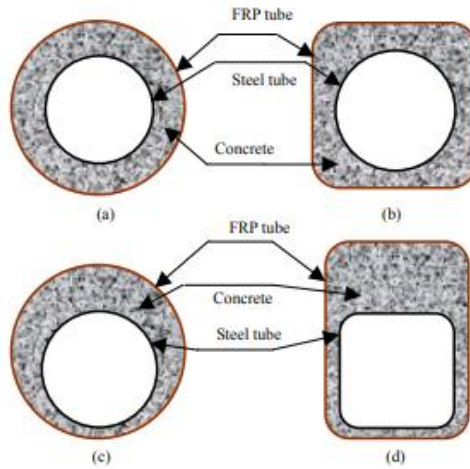
Şekil 2.10. Hibrit kirişler (Ribeiro, 2002)

Deneysel sonuçları tahmin etmek amacıyla sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bu iki malzemenin birlikteliğinin dayanımını artırdığını ifade etmişlerdir. Nümerik model ile yük-deplasman grafiklerinde deneysel verilere yakın değerler elde etmişlerdir (Şekil 2.11.).



Şekil 2.11. Hibrit kirişler (Riberio,2002)

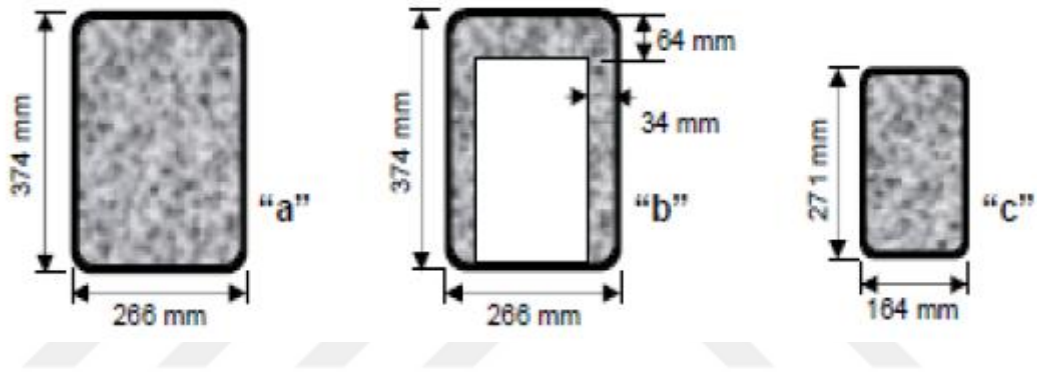
Teng ve arkadaşları hibrit çift katlı yüzeye sahip GFRP-Beton-Çelik boru kolonların basınç ve eğilme yükü karşısındaki davranışını incelemiştir. Kullanılan Hibrit tasarımlarda GFRP ve çelik malzemeler daire ve kare kesitli olarak kullanılmış (Şekil 2.11), iç kısmı çelikten, dış kısmı ise GFRP malzemeden oluşturmuşlardır. Çelik ve FRP malzeme arasına beton doldurulmuş şekilde hazırlanarak basınç ve dört noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Üç bileşenli bu yeni Hibrit kolon tasarımı ilk hallerinde olmayan çeşitli avantajlara sahip olmuşlardır. Bu avantajlar süneklik, korozyon ve yangın dayanıklılığı olarak ön plana çıkarmışlardır. Ayrıca test sonuçları GFRP boru elemanların Hibrit tasarıma eklenmesinin hem betonu korumak hem de ekstra kesme dayanımı sağlamak gibi bazı yapısal katkılar sağladığını belirtmişlerdir (Teng, Yu ve Wong, 2004) .



Şekil 2.12. Teng tarafından tasarlanmış hibrit elemanlar (Teng, 2004)

Ferreria A.J.M, Riberio M.C.S. and Marques A.T. GFRP Profiller ile polimer betonu hibrit kiriş olarak kullanmışlar. Deneysel çalışmalarla teorik modellemeler yaparak farklı kesitlerdeki kirişlere eğilme testleri yapmışlardır. Profil, polimer beton, hibrit kiriş sonlu eleman modelinin yük-deformasyon grafiklerini karşılaştırmışlardır. Hibrit dikdörtgen kesitli kirişleri tasarlayan üreten ve test eden yazarlar en yüksek dayanımı hibrit kirişlerde elde etmişlerdir (Ferreira, Ribeiro, & Marques, 2004)

Fam ve arkadaşları; yaptıkları çalışmada dikdörtgen kesitli GFRP elemanın içersini betonla doldurarak hibrit yapı elde etmişler ve kolon-kiriş gibi kullanmışlardır (2.12.).



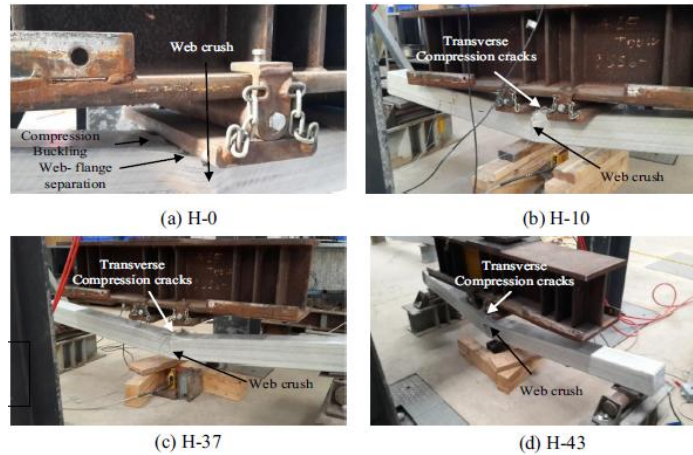
Şekil 2.13. Fam tarafından tasarlanmış hibrit elemanlar (Fam, 2005)

Bazı elemanları tamamıyla bazılarını ise kısmen betonla doldurup, hazırlanan numunelere farklı eksantrik yükler uygulayarak deneyler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda deney numunelerine ait çeşitli grafikler elde etmişler ve tamamen dolu profiller ile kısmen dolu profiller arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Deneyler sonucunda yarı dolu profil kirişler tam dolu profiller ile benzer rijitlik göstermiş fakat eğilme deneylerinde yarı dolu profiller daha düşük değerlerde kırılmıştır (Fam, Schnerch ve Rizkalla, 2005).

Aydın, F., Bap destekli yapmış olduğu projesinde kare kesitli GFRP kutu profil ve betonun birleştirilmesi ile oluşturduğu Hibrit yapı elemanlarının basınç ve eğilme davranışını incelemiştir Üç farklı kesit (45-74-100 mm kesitli) özelliklerine sahip profil kullanmıştır. Farklı dayanım sınıflarına (20, 30, 40 MPa) sahip betonlar ile profil içlerini doldurmuştur. Aderans sağlamak için kumlama işlemine gidilmiş ve ek olarak

profil dış yüzeylerini keçe ile sarmıştır. Tüm dayanım sınıflarında Hibrit malzeme kesitindeki profil oranı arttıkça dayanım artış oranının da artmakta olduğu, en fazla artış oranlarının düşük beton sınıflarında olduğu, dayanım sınıfı arttıkça artış miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Eğilme testi altında GFRP profillerde lokal kırılmalar meydana gelmiştir. GFRP kutu profillerin boyuna liflerden deforme olmayıp enine keçe liflerden kopması, boyuna lif oranının azaltılarak enine keçe lif oranının artırılmasının hem ekonomik açıdan hem de dayanım açısından pozitif sonuçların elde edileceğini göstermiştir (Aydın, 2011).

Muttashar ve arkadaşları, GFRP kirişlerin içerisine beton doldurarak yük altındaki davranış etkisini incelemişlerdir. Denejde 125x125x6,5 mm kesit özelliklerine sahip 2000 mm boyutlu GFRP profil içerisine 10, 37 ve 43,5 MPa basınç dayanımına sahip beton doldurarak numuneler üretmişlerdir. Dört noktalı eğilme testleri sonucunda içi doldurulmuş olan GFRP profillerin dayanım oranlarında artış tespit etmişlerdir. Düşük dayanımlı beton numunesi ile üretilen hibrit numune test sonuçları ile yüksek dayanımlı betondan elde edilen hibrit numune dayanımları arasında büyük bir artış görmemişlerdir. Dolayısıyla GFRP kirişlerinin eğilme davranışını iyileştirmek için düşük mukavemetli beton kullanılmasını uygun görmüşlerdir (Muttashar, Manalo, Karunasena ve Lokuge, 2016).



Şekil 2.14. Test edilen numuneler (Muttashar, 2016)

Belirtilen çalışmaların dışında 1981 yılında Fardis ve Khalili FRP profil içerisinde rijitlik ve basınç dayanımını artırması için beton kullanarak, pozitif sonuçlar elde

etmişlerdir(Fardis ve Khalili, 1981). FRP-Beton Hibrit sistemin eğilme elemanı olarak kullanma düşüncesi ise ilk olarak Hillman ve Murray tarafından ortaya konulmuştur (Hillman ve Murray, 1990). Araştırmacılar Hibrit kirişin tekrarlı yükler altındaki davranışını (Shao ve Mırmıran, 2005), uzun dönem sünme ve büzülme etkilerini (Naguib ve Mırmıran, 2002), darbe yükleri altındaki etkilerini (Zheng ve Mırmıran, 2007), donma ve çözülme etkilerini (Fam, Kong ve Green, 2008) araştırmışlardır.

Literatürde yapılmış çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, pultrüzyon metodu ile üretilen GFRP kutu profillerin içerisine polimer beton doldurularak profillerin mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Deneyde farklı kesit ve boyutlardaki GFRP kutu profiller kullanılmıştır. İçi boş GFRP profillerin, yalın polimer beton numunelerin ve içerisi polimer beton ile doldurulmuş aynı kesitteki hibrit numunelerin basınç ve eğilme testleri altındaki davranışları incelenmiş numuneler test edildikten sonra sonuçlar analiz edilmiştir. Ortaya çıkan problemleri gidermek amacıyla profil iç yüzelerine kum yapıştırma işlemi uygulanarak iyileştirme yapılmıştır. Bu sayede yeni ve üstün mekanik özelliklere sahip hibrit malzeme ile inşaat sektörüne katkı sağlanmıştır. Deniz suyuna maruz kalan yerlerde yapılacak yapılara, kimyasalların yoğun olduğu alanlarda, su altı yapılarında ve köprü ayaklarına alternatif çözüm sunulmuştur. Ayrıca hibrit yapı elemanlarının yüksek mukavemetli olmaları, uzun ömürlü olmaları ve bakım gerektirmemeleri nedenleriyle ülkemize katkı sağlanacaktır.

BÖLÜM 3. MALZEME VE YÖNTEM

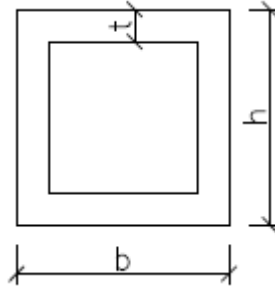
Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan GFRP kutu profiller, polimer beton ve polimer beton üretimi için gereken malzemeler ve test yöntemleri anlatılmıştır.

3.1. GFRP Kutu Profiller

Deneysel çalışmalarda kullanılan GFRP kutu profiller, İstanbul'da yer alan Esa Kimya Metal Sanayi Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. GFRP profiller ağırlığına oranla yüksek dayanım, su ve atmosferik etkilere dayanıklılık, mükemmel elektriksel yalıtıcılık, anti mikrobik, burulma ve sıkıştırma gibi zorlamalarda şekillerini ve boyutlarını koruyabilme gibi özelliklere sahiptirler. Profillerin en iç kısmında çekme dayanımını sağlayan cam lifler, ardından enine keçe ve en dışta korozyon direncini arttıran sentetik yüzey örtüsü bulunmaktadır. Profil çekme yöntemi ile üretilen profiller (Şekil 3.1.) üç farklı et kalınlıklarında olup muhtelif boyutlardadır. Çalışmada kare kesitli ve farklı et kalınlıklardaki GFRP profiller kullanılmıştır. Profiller 500 mm uzunluğunda kesilerek eğilme deney numuneleri hazırlanmıştır. Kullanılan profiller Şekil 3.2.'de ve kesit özellikleri Tablo 3.1.'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Testlerde kullanılan GFRP profiller



Şekil 3.2. GFRP profil kesiti

Tablo 3.1. Testlerde kullanılan GFRP profil boyutları

Profil Tipi	Kesit	Et Kalınlığı	Boy
	(b×h) mm	(t) mm	(L) mm
Kutu Profil	45×45	3	500
Kutu Profil	45×45	5	500
Kutu Profil	74×74	4	500

Deneyde kullanılan GFRP profillerin mekanik özellikleri literatürde bulunan çalışmadan alınmıştır (Aydın, 2011).

Tablo 3.2. GFRP profillerin mekanik özellikleri(Aydın, 2011)

Birim Ağırlık (gr/cm ³)	1,738
Özgül Ağırlık (γ)	1,822
Elastisite Modülü (Ex) (N/mm ²)	29333
Çekme Dayanımı (Liflere paralel) (N/mm ²)	561
Elastisite Modülü (Ey,z) (N/mm ²)	7199
Çekme Dayanımı (Liflere dik) (N/mm ²)	10,31
Poisson Oranı	0,34
Kayma Modülü (N/mm ²)	3200

3.2. Polimer Beton

Polimer beton üretiminde kuvars kumu yerine daha ekonomik olması için geleneksel betonda kullanılan doğal kum (0-4 mm) ve I nolu mıcır (4-12 mm) agregası tercih edilmiştir. Birinci grup deneylerinde reçine yüzdesi ile mukavemet arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla polimer betonunun sırasıyla %37,5- %40- %45 ve %50 hacmi

oranında reçine karıştırılarak basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Yapılan deney gruplarında reçine içine reçinenin ağırlık olarak %0,5 oranında sertleştirici (mekp) katılmıştır. Polimer beton, kalıp ayırıcı (Polivaks) sürülmüş kalıplara sertleşme olmadan hava boşlukları atılarak sıkı bir numune elde etmek için masa tipi vibratör cihazı kullanılarak doldurulmuştur. Kullanılan kalıplar 4x4x16 cm ebatlarındadır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Prizmatik numune kalıpları ve kalıp ayırıcı

Üretilen numuneler sonraki deneyler için 7 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Polimer beton üretiminde kullanılan malzemeler alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.2.1. Polyester reçine

Polimer beton üretiminde ortoftalik esaslı, doymamış polyester reçinesi olan Dewester 196 tercih edilmiştir. Ortoftalik polyesterler ortalama özelliklere sahip, fiyat/performans oranının en uygun olduğu polyesterlerdendir. Doymamış polyester reçinesi olan Dewester 196'nın en belirgin özellikleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Dewester 196 reçinesine ait özellikler

Viskozite	4,5-5,5 poise (25°C) (Yaz)
	3,5-4,5 poise (25°C) (Kış)
Uçucu Olmayan Madde Miktarı	%60-64 (Ağırlıkça)
Jel Süresi	10-12 dakika (25°C) (Yaz)
	8-10 dakika (25°C) (Kış)
Asit Değeri	25-31 mgr KOH/gr

Tablo 3.3. (Devamı)

Sertlik	80-85 Barcol (Model GYZJ 935)
Su Absorbsiyonu	% 0,15 (BS 2782)
Yük Altında Bükülme Sıcaklığı	72 °C
Uzamada Kopma	%2,3 (20°C) (BS 2782)
Çekme Dayanımı	54 MPa (BS 2782)

Mekp; metil, etil, keton ve peroksit karışımından oluşan oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta kobalt hızlandırıcı ile birlikte reçinelerin sertleşmesi için kullanılan bir malzemedir.

Kobalt; reçinelerin oda sıcaklığında kürlenmesi için kullanılmaktadır. Kobaltın kullanım oranı hava koşullarına ve reçine türüne göre değişiklikler göstermektedir.

Mekp ve kobaltın özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Mekp ve kobalt özellikleri (Pişkin, 2010)

Test	Mekp	Kobalt
Yoğunluk 20 oC'de	1,17 gr/cm ³	0,92 gr/cm ³
Viskozite 20 oC'de	25 MPa.s	300 MPa.s
Görünüm	Renksiz Sıvı	Mavi-Menekşe Renkli Sıvı
Çözücü	DMP	Stren, Toluene, TXIB
Aktif Oksijen İçeriği	%9,8-%10	-
Peroksit İçeriği	%34-%36	-
SADT Sıcaklığı	≈ 60 oC	>150 oC
pH	-	Nötr
Alevlenme Noktası	-	≈ 62 oC

3.2.2. Agrega

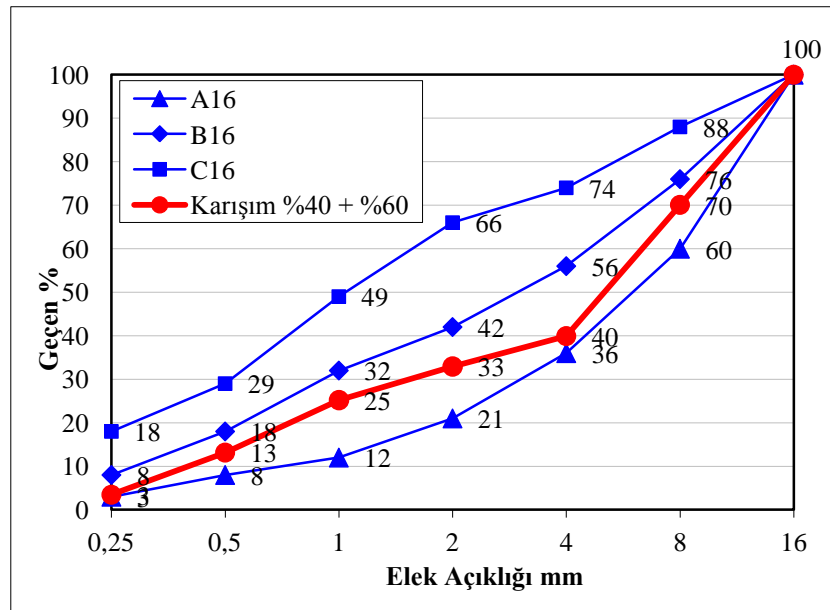
Yapılan deneylerde GFRP profil kesitlerinin küçük olmasından dolayı taze betonun kolay yerleştirilebilmesi için agrega olarak doğal kum (0-4 mm) ve I nolu mıcır (4-12 mm) agregası kullanılmıştır. Agregalar yıkanarak kil ve zararlı atıklardan arındırılmıştır.

Etüvde kurutulduktan sonra gerekli karışımı elde etmek için elek analizinden geçirilmiştir. Polymer betonlarda agrega granülometrisi, şekli ve çapı mukavemet açısından ve işlenebilirlik açısından önemlidir. Bu çalışmada TSE 706 EN 12620'ye uygun şekilde karışım oranı hesaplanmıştır. Bu hesaplar Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Agrega elek analiz değerleri

Elek Boyutları	Kum Geçen Yüzde(%)	Mıçır Geçen Yüzde(%)	Karışım Oranları	TSE 706 Sınır Değerler		
				A16	B16	C16
16	100	100	100	100	100	100
8	100	50,1	70	60	76	88
4	96,1	0,82	40	36	56	74
2	81,8	0,36	33	21	42	66
1	62,4	0,34	25	12	32	49
0,5	32,4	0,32	13	8	18	29
0,25	8,2	0,3	3	3	8	18

Elek analizi sonucunda maksimum doluluğu elde etmek amacıyla A ve B eğrisi arasında kalan aralığa uygun olarak (Şekil 3.4.), %40 oranında kum %60 oranında I nolu mıçır kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Polymer beton karışımında kullanılan agrega granülometrisi

3.2.3. Polimer beton tasarımı

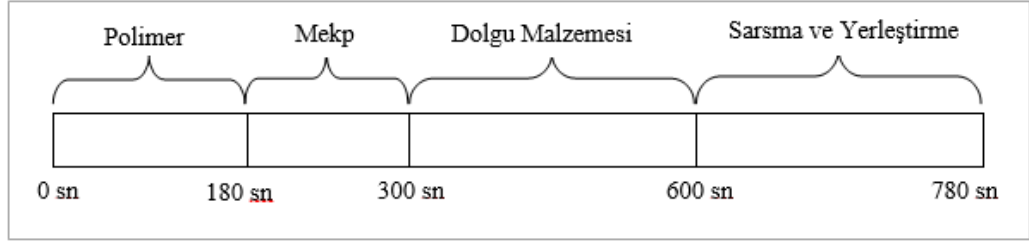
Polimer Reçinesinin (PR) mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla içerisinde hiçbir dolgu malzemesi ilave edilmeden üretimi yapılmıştır. Reçine hacimce %99,5 kullanılmış olup %0,5 oranında mekp ile karıştırılmıştır. Numunelere 7 gün sonra 3 noktalı eğilme ve basınç deneyi yapılmıştır. Polimer reçinenin Eğilme dayanımı 69,47 N/mm² ve Basınç dayanımı 97,78 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. PR numuneleri ve eğilme deneyi

Polimer beton (PC), agrega karışım oranı sabit (%40 kum ve %60 I nolu mıcır) tutulup reçine miktarı, polimer betonun hacmi oranında %37,5- %40- %45 ve %50 kullanılarak üretilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre en ideal ve en ekonomik özellikleri sağlayan deney numunesi alınmıştır. GFRP kutu profillerin doldurulmasında bu karışım oranı kullanılmıştır.

Karışım metodu tüm numune üretimleri için standart olarak uygulanmıştır. Öncelikle karıştırma kabı içerisinde Dewester 196 polimer reçinesi yerleştirilerek 180 sn süre ile karıştırılmaya başlanıp, sırasıyla Mekp ilave edildikten sonra 120 sn, ardından dolgu malzemesi de ilave edilerek 300 sn daha karıştırılmıştır. Elde edilen karışım Polivaks sürülmüş kalıplara dökülerek sarsma tablasında 180 sn boyunca sarsılarak kalıba yerleşmesi sağlanmıştır(Şekil 3.6.). Şekilde, malzeme ilave edilirken geçen zamanlar ihmal edilmiştir.



Şekil 3.6. Karışım metodu zaman çizelgesi

Polimer beton malzeme karışım oranları hesaplanarak Tablo 3.6.'da verilmiştir. Üretilen polimer beton deney numunelerine ilk olarak 3 noktalı eğilme testi yapılmış, daha sonra bu numune üzerine basınç deneyi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 3.6. 1 m³ Polimer beton için gerekli karışım oranları (Hacimce %)

Karışım Kodu	Dewester Reçine	esaMekp	Kum	I Nolu Mıdır
PC 1	37,5	0,5	24,8	37,2
PC 2	40	0,5	23,8	35,7
PC 3	45	0,5	21,8	32,7
PC 4	50	0,5	19,8	29,7

3.2.3.1. Polimer beton eğilme deneyi ve sonuçları

Eğilme deneyi için öncelikle gerekli düzenek oluşturulmuştur. Deneyi gerçekleştirebilmek için silindir şeklinde hareketli mesnetlere sahip olan eğilme platformu hazırlanmıştır. Mesnet arası mesafe istenilen açıklıkta ve hassasiyette ayarlanmıştır. Kullanılan cihaz hem manuel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizebilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme özelliklerine sahiptir. Üretilen deney numunelerine eğilme dayanımlarını tespit etmek amacıyla üç noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır. Eğilme deneyinin yapımından sonra her bir numunenin yük-sehim değerleri bilgisayar programı tarafından kaydedilmiş olup kaydedilen bu veriler kullanılarak excel programında yük-sehim grafikleri çizilmiştir. Ardından bu grafiklerden elde edilen değerlere göre polimer betonun eğilme dayanımı hesaplanmıştır.

Verilerin işlenmesinden sonra Denklem 3.1 ve 3.2 kullanılarak polimer betonun atalet ve mukavemet momentleri hesaplanmıştır. Denklem 3.3 ve 3.4 'de yerine konularak maksimum moment ve eğilme gerilmeleri hesaplanmıştır.

Çıkan sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3.1)$$

$$W = \frac{I}{y} \quad (3.2)$$

$$M = \frac{PL}{4} \quad (3.3)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{PL/4}{I/y} \quad (3.4)$$

Burada;

I : Atalet momenti (mm^4),

b : Genişlik (mm),

h : Yükseklik (mm),

W : Mukavemet momenti (mm^3),

y : Tarafsız eksen uzaklığı (mm),

σ : Gerilme (N/mm^2),

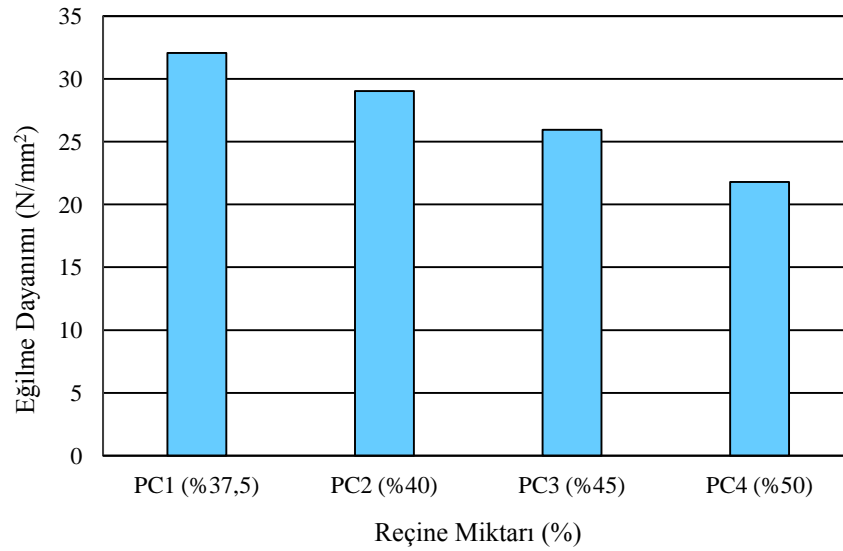
M : Moment (Nmm),

L : Mesnet açıklığı (mm)'ni ifade etmektedir.

Tablo 3.7. Polimer betonların eğilme dayanım sonuçları

Deney No	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)			Ortalama
	1	2	3	
PC1 (%37,5)	31,31	32,05	32,55	31,97
PC2 (%40)	28,56	29,03	31,18	29,59
PC3 (%45)	25,05	25,95	23,12	24,71
PC4 (%50)	21,08	21,78	24,12	22,33

Elde edilen karışım sonuçlarına göre Polimer Reçinesinin dayanımına kıyasla Polimer Beton dayanımlarında önemli ölçüde azalma görülmüştür. Ayrıca Polimer Betonda polimer oranı arttıkça eğilme nukevemetinin azaldığı bunun sebebinin segregasyon olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.7. Polimer beton eğilme dayanımları

3.2.3.2. Polimer beton basınç deneyi ve sonuçları

Basınç presi alt, üst ve ilave başlıklara sahip yük göstergeli bir makinedir. Yükleme başlıklarının numuneye temas ettiği alan en az numunenin yükleme alanı büyüklüğünde olması gerekmektedir. Boyu ve eni aynı uzunlukta olan her numune parçası sırasıyla basınç presine yerleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce yükleme başlıklarının yüzeyleri temizlenmiştir. Numunelerin başlıkla temas edecek yüzeylerinde çukıntı ve

parça olmamasına dikkat edilmiştir. Numunelerin boyutları dikkate alınarak yükleme başlığının üstüne ilave plaka yerleştirilmiştir ve deney başlanmıştır.

Basınç deneyi sonucunda elde edilen veriler Denklem 3.5.'te yerine konularak hesaplanmış ve tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 3.8.).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.5)$$

Burada;

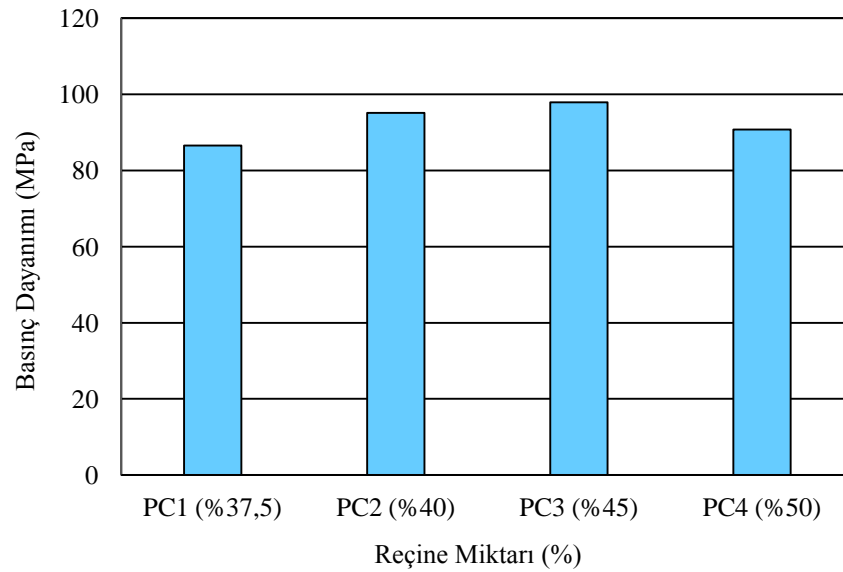
σ : Basınç gerilmesi (N/mm²),

P: Max. yük (N),

A: Alan (mm²)'ni ifade etmektedir.

Tablo 3.8. Polimer betonların basınç dayanım sonuçları

Deney No	Basınç Dayanımı (MPa)			Ortalama
	1	2	3	
PC 1 (%37,5)	85,38	86,56	85,38	88,13
PC 2 (%40)	94,42	95,12	96,60	95,38
PC 3 (%45)	95,63	97,88	99,50	97,67
PC 4 (%50)	87,38	90,69	91,31	89,79



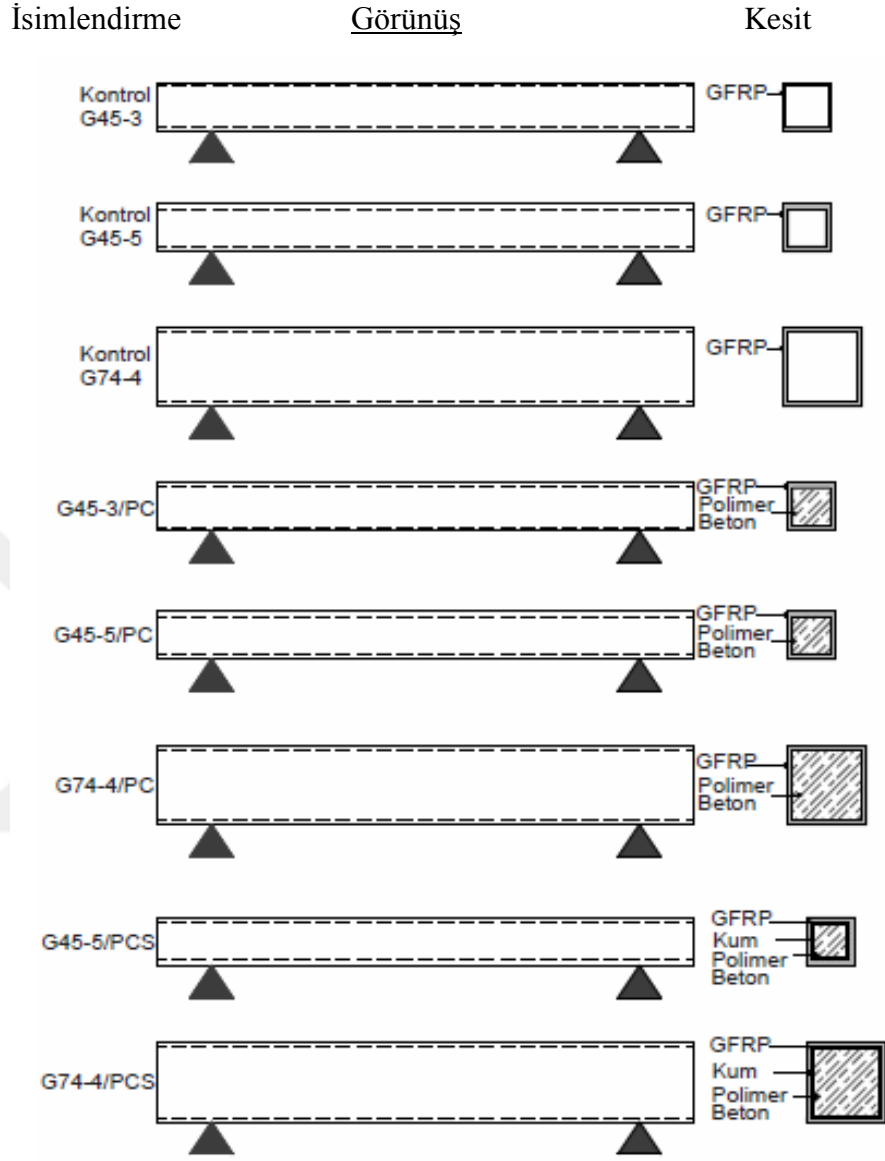
Şekil 3.8. Polimer beton basınç dayanımları

En yüksek eğilme dayanımını PC1 deney numunesi vermiştir. En yüksek basınç dayanımı ise PC3 numunesinden elde edilmiştir. Yapılan eğilme ve basınç deney sonuçlarına göre en ideal ve ekonomik özellikleri sağlayan deney numunesi ise PC2 karışım kodlu deney numunesi olarak belirlenmiştir. Belirlenen deney numunesi ile GFRP profillerin içerisi doldurularak sonuçları incelenmiştir.

3.3. Deneysel Çalışma

3.3.1. Deney numunesi tasarımı

GFRP kutu profillerden dört noktalı eğilme ve basınç deney numuneleri tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılacak olan numune kesitleri Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. Tasarlanan numuneler kesit ve özelliklerine uygun olarak isimlendirilmiştir. Kesiti 45x45mm et kalınlığı 3 ve 5 mm olan içi boş profil numuneler sırasıyla G45-3 ve G45-5 ile aynı kesitten içi polimer beton doldurularak üretilen numuneler ise G45-3PC ve G45-5PC ile, profillerin içi kumlama işlemi yapıldıktan sonra polimer beton doldurularak üretilen numuneler ise G45-3PCS olarak isimlendirilmiştir. Kesiti 74x74mm et kalınlığı 4 mm olan içi boş profil numuneler ise G74-4, içi polimer beton doldurularak üretilen numunelere G74-4PC ve kumlama işlemi sonrasında üretilen numuneler de G74-4PCS olarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirmelerde kullanılan G: GFRP 'yi, rakamlar kesit boyutlarını, PC polimer betonu ve S (Sand) profil yüzeyinin kumlu olduğunu belirtmektedir.



Şekil 3.9. Deney numune tasarımı

3.3.2. Numunelerin üretimi

Eşit boyutlarda kesilen GFRP profiller PC2 betonu ile doldurularak hibrit numuneler elde edilmiştir. Polimer betonu profil içine yerleştirmeden önce, profilin ebatına göre kalıplar hazırlanmıştır. Profiller kalıpların arasına yapıştırılarak sabitlenmiş ve etrafı silikonlanarak içerisine doldurulan betonun sızması önlenmiştir (Şekil 3.10.).



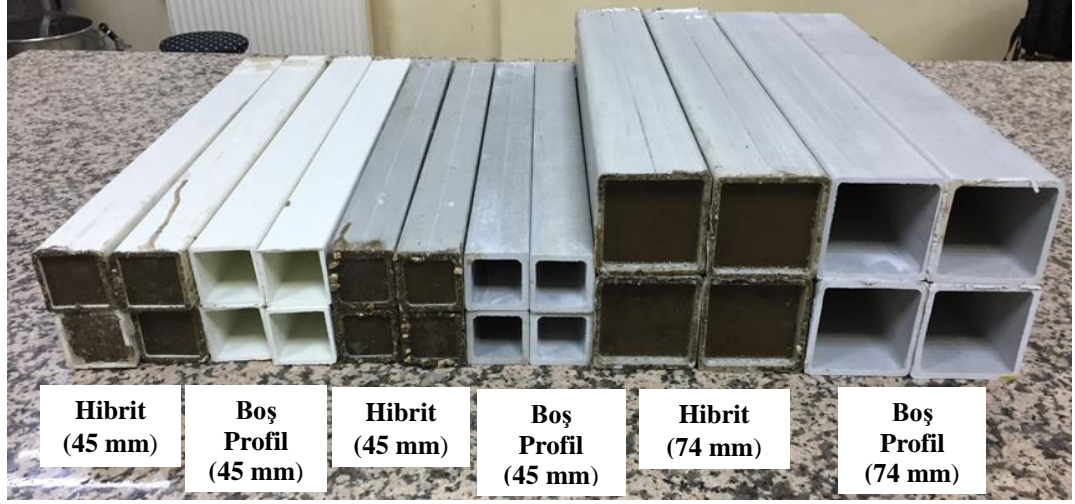
Şekil 3.10. Hibrit numune üretimi

Hazırlanan beton, profillerin içerisine bir huni ile şişleme işlemi uygulanarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.11).



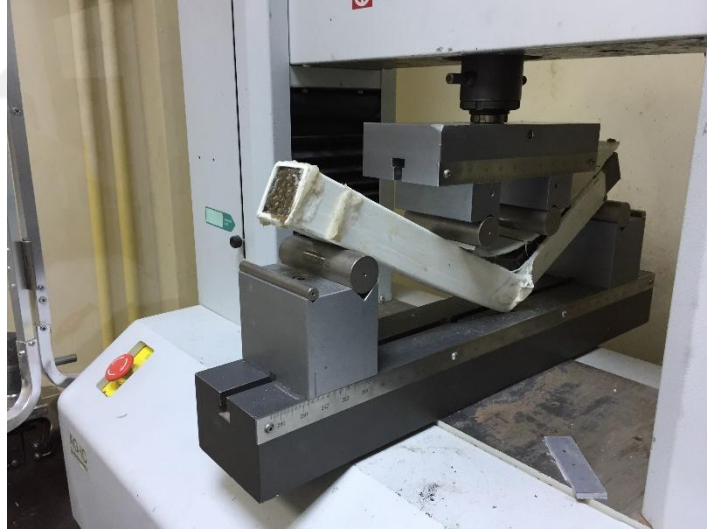
Şekil 3.11. Polimer beton üretimi ve yerleşimi

Yapılan bu çalışma kapsamında içerisi Polimer beton doldurulmuş GFRP kutu profillere ‘‘Hibrit’’ ve yalnızca GFRP kutu profillerden oluşan deney numunelerine ‘‘Boş Profil’’ denilmiştir (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Deney numuneleri

Hibrit numuneler oda sıcaklığında 14 gün bekletildikten sonra bir saat 80°C etüvde tutularak deneye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin üzerine mesnet açıklıkları işaretlenmiş ve deney cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Hibrit numune dört noktalı eğilme deneyi

Hibrit numunelerin deney sonuçları incelenmiştir. GFRP profil ile polimer beton arasındaki aderansın artırılması kararlaştırılmıştır. Bu kapsamda GFRP profil iç yüzeylerine 2 mm çaplı kum taneleri yapıştırılmıştır.

Kum taneleri kilden arılmak için yıkanarak, etüvde kurutulduktan sonra elekten geçirilmiştir. Kumlama işleminde iki bileşenli epoksi (Şekil 3.14.) kullanılmıştır. Sertleştirici ve yapıştırıcı bileşenlerden eşit miktarda katılarak homojen olacak biçimde karışım elde edilmiştir.



Şekil 3.14. Epoksi bileşenleri ve hazırlanışı

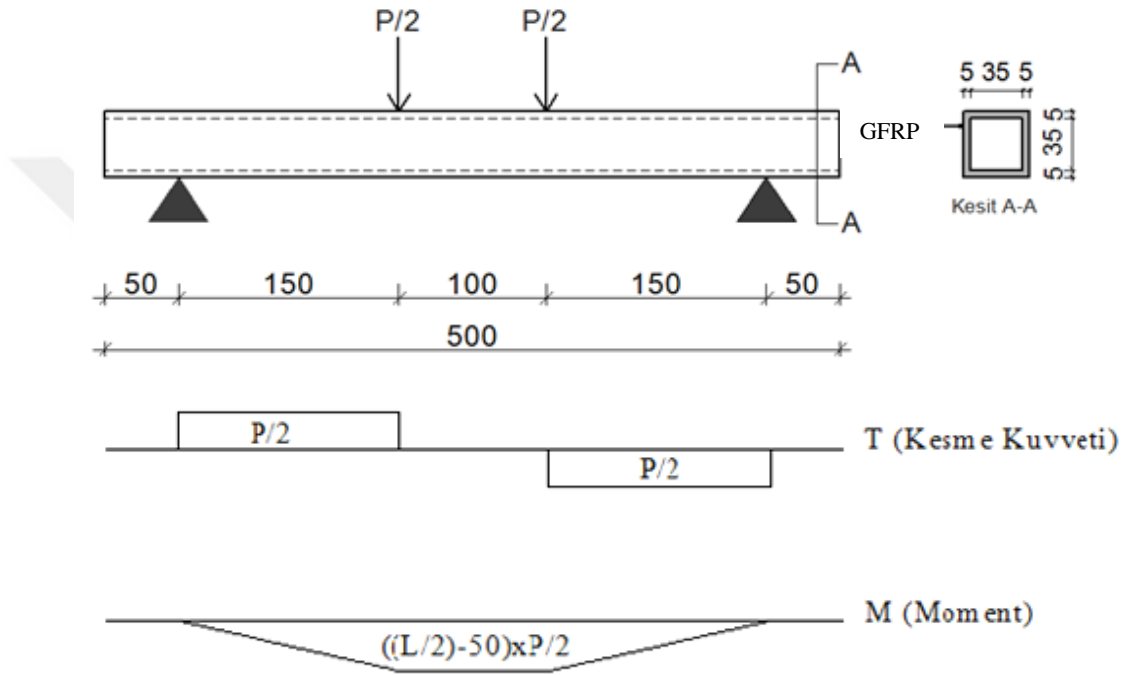
Karışım bir çubuk yardımı ile GFRP profillerin içerisine ince bir tabaka halinde sürülmüş ve içerisine kum taneleri boşaltılmıştır. Profiller sarsılarak kumların yüzeye yapışması sağlanmış ve dayanım sürecini tamamlaması için oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 3.15). Profillerin içerisi polimer beton ile doldurularak sarsma tablasında sarsıldıktan sonra priz alması için oda sıcaklığında bekletilmiştir.



Şekil 3.15. İç yüzeyi kumlu numune

3.3.3. Eğilme deneyi

Boyutları 45 mm ve 74 mm olan 500 mm uzunluğundaki numunelere 400 mm mesnet açıklığında dört noktali eğilme deneyi yapılmıştır. Deney 3 mm/s sabit hızlı yükleme ile test edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.16.'da gösterilmiştir. Çizimlerdeki ölçü mm cinsinden yazılmıştır.



Şekil 3.16. Eğilme deney düzeneği

İçi boş ve hibrit numunelere ilave olarak profil içi kumlanmış hibrit numunelerde aynı düzenekte test edilmiştir (Şekil 3.17.). Böylece yapılan deneyler sonrasında numunelerin yük-sehim grafikleri çizilmiş, max. eğilme yükleri bulunmuş ve tokluk değerleri hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır.



a) Boş Profil

b) Hibrit numune

c) Kumlu hibrit numune

Şekil 3.17. Eğilme testleri

3.3.4. Basınç deneyi

Basınç testlerinde kullanılacak her bir profil kesilerek 3'er adet küp numune oluşturulmuştur (Şekil 3.18.). Boyu ve eni aynı uzunlukta olan her numune parçası sırasıyla basınç presine yerleştirilmiştir. Numunelerin boyutları dikkate alınarak yükleme başlığının üstüne ilave plaka yerleştirilmiştir. Numune çeşitleri Tablo 3.9.'da gösterilmiştir. Tasarlanan numuneler kesit ve özelliklerine uygun olarak isimlendirilmiştir. Kesiti 45x45mm et kalınlığı 3 ve 5 mm olan basınç numuneleri sırasıyla G45-3B, G45-5B olarak isimlendirilmiştir. Kesiti 74x74mm et kalınlığı 4mm olan basınç numuneleri ise G75-4B olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.18. Basınç deneyinde kullanılan numuneler

Tablo 3.9. Basınç testlerinde kullanılan numune boyutları

Profil Tipi	Et Kalınlığı	Kesit	Yükseklik
	(t) mm	(b×h) mm	(h) mm
G45-3B	3	45×45	45
G45-5B	5	45×45	45
G74-4B	4	74×74	74

Numune dik bir şekilde alt yükleme başlığı merkezine yerleştirilmiş ve deneye başlanmıştır (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Basınç deneyi

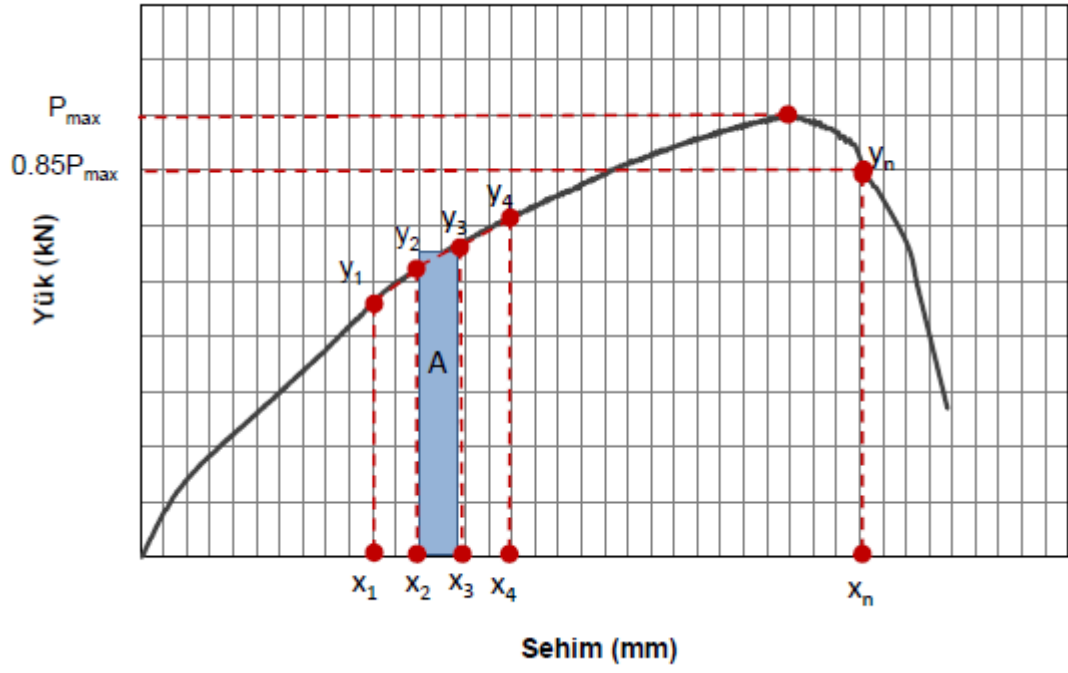
Beton presinde numuneler kırılıncaya kadar 3 mm/s sabit hızlı yükleme ile test edilmiştir. Beton presinden basınç dayanımları elde edilmiştir. Deney sonunda deforme olmuş basınç numuneleri Şekil 3.20.'de görülmektedir. GFRP profillerin kırılma bölgeleri genellikle köşe noktalarında oluşmuştur ve içerisindeki betonun kırıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.20. Basınç deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar

3.3.5. Tokluk Hesabı

Tokluk hesabı yük-sehim eğrilerinden yararlanılarak, maksimum eğilme kuvvetinin % 85'ine denk gelen orta nokta sehim değerleri dikkate alınarak yük-sehim eğrisinin altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur. Enerji yutma kapasitesinin hesabı şematik olarak Şekil 3.21'de gösterilmiştir (Sarıbıyık, 2013). Belirtilen alanın hesabı denklem 3.6 bağıntısı ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.21. Tokluk hesabının şematik olarak gösterimi

$$A = \left(\frac{y_2 + y_3}{2} \right) \times (x_3 - x_2) \quad (3.6)$$

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

4.1. Eğilme Deney Sonuçları

Eğilme deneylerinde yalın beton, boş GFRP profil ve hibrit olmak üzere üç farklı kombinasyonda numunelere dört noktalı eğilme testi yapılmıştır. Her deneye ait yük-sehim grafikleri ve sonuçlar değerlendirilerek karşılaştırmalı analiz edilmiştir.

4.1.1. İçi boş profillerin eğilme deney sonuçları

Her grup içi boş profillerden üçer adet numune ile deney yapılmıştır ve eğilme deneyi sonunda elde edilen ortalama değerler Tablo 4.1.'de sunulmuştur.

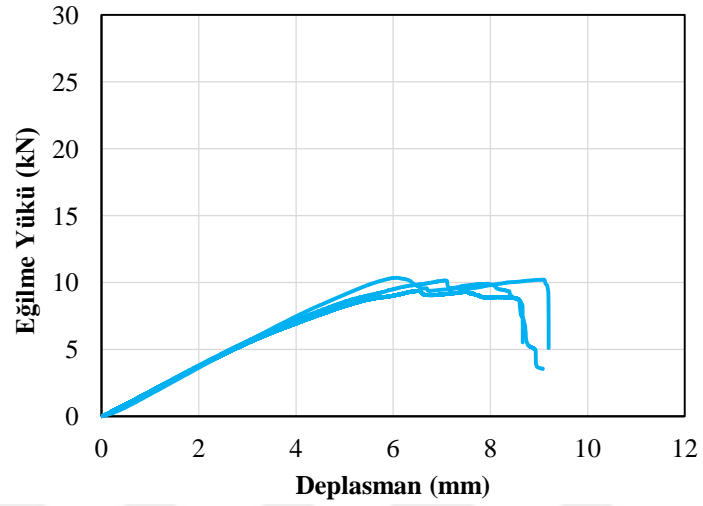
Tablo 4.1. Boş profillerin ortalama sonuçları

Deney Numunesi	Max. Eğilme Yüğü	Eğilme Momenti	Kesme Kuvveti	Tokluk
	(N)	(Nm)	(kN)	(Nm)
G45-3	9949	746,17	9,95	59,49
G45-5	16223	1216,7	16,22	60,58
G74-4	20112	1508,4	20,11	136,32

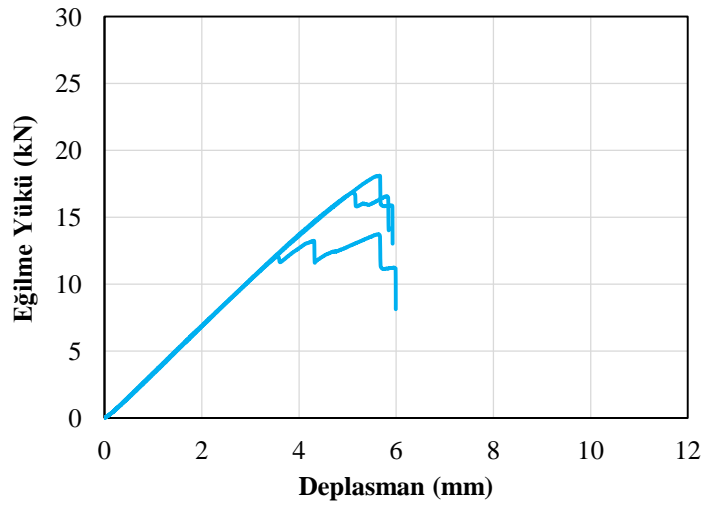
Profil ebatları büyüdükçe mak. eğilme yükünün, moment taşıma kapasitesinin, kesme kuvvetinin ve tokluk değerinin arttığı görülmüştür. G45-3 ile G45-5 deney numunelerinde et kalınlığının arttırıldığında değerlerin iki kat yükseldiği tespit edilmiştir. G74-4 ile karşılaştırıldığında da profil ebatları büyüdükçe değerlerin arttığı sonucuna varılmıştır.

Deneyler sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuş G45-3, G45-5 ve G74-4 numunelerinin yük-sehim grafikleri Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te verilmiştir. Herbir numune grubu içerisinde sehim davranışı ve maksimum yükler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. İçi boş GFRP profillere ait grafikler incelendiğinde

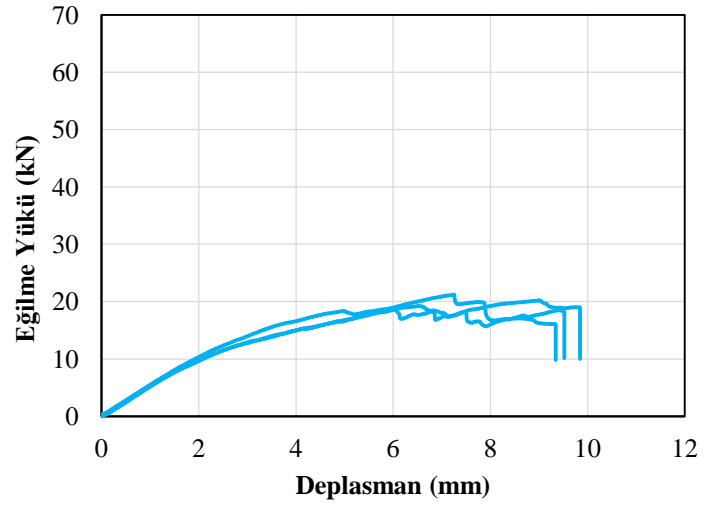
profillerin belirli bir yüke kadar lineer davranış gösterdiği sonraki aşamalarda ise artan yük ile profilde deformasyonların arttığı ve orantılılığın kaybolmaya başladığı görülmektedir. Maksimum yükten sonra numunelerde benzer deformasyonlarda ani dayanım kaybı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. G45-3 eğilme grafiği

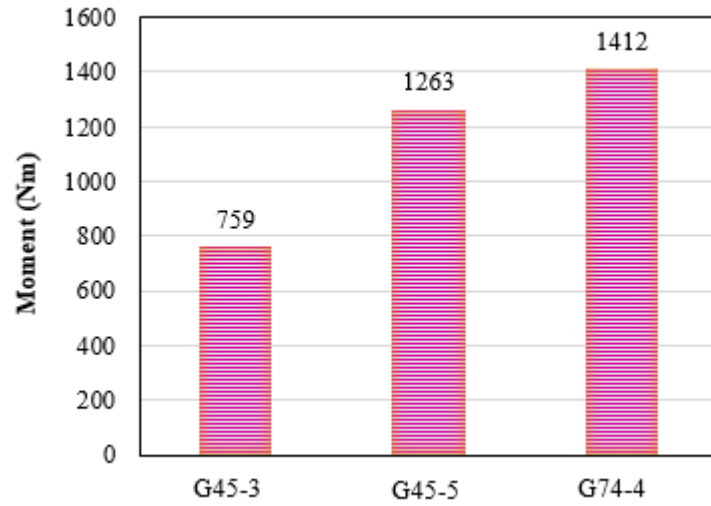


Şekil 4.2. G45-5 eğilme grafiği

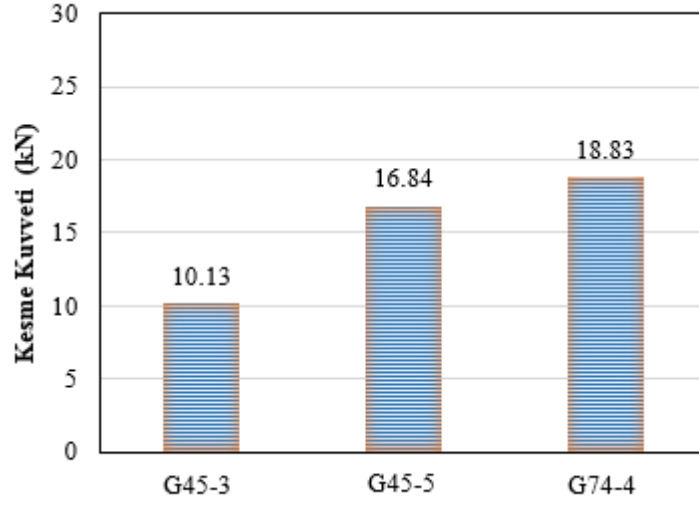


Şekil 4.3. G74-4 eğilme grafiğı

Her bir numune için eğilme deney sonuçlarından elde edilen moment taşıma kapasiteleri Şekil 4.4'te sunulmuştur. Numune kalınlıkları arttıkça ve kesit büyüdükçe moment taşıma kapasiteleri artmaktadır. Benzer artışlar kesme kuvvetinde de görülmektedir (Şekil 4.5.).

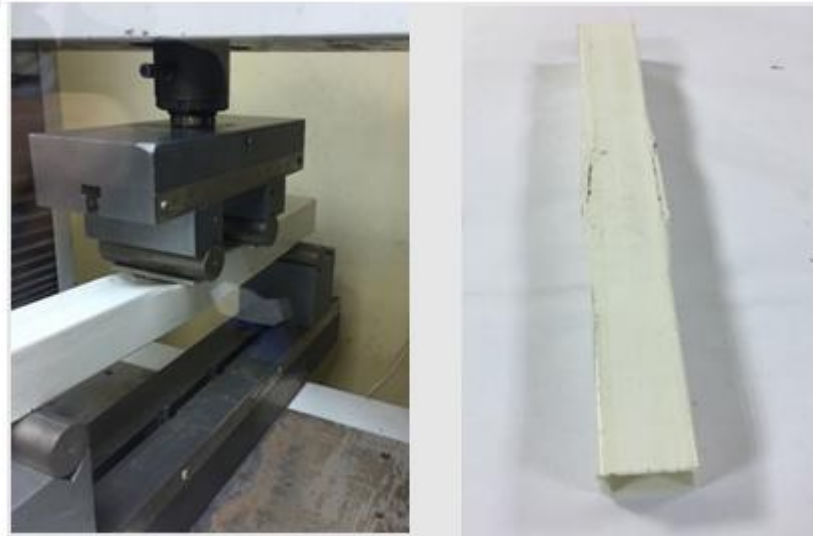


Şekil 4.4. G45-3, G45-5 ve G74-4 numunelerin moment taşıma kapasiteleri



Şekil 4.5. G45-3, G45-5 ve G74-4 numuneleri üzerinde oluşan kesme kuvvetleri

Profillerde deformasyonlar, lokal kırılmalar şeklinde başlayıp profil köşe noktalarından ilerlemeye devam etmiştir. (Şekil 4.6.). Bunu takiben profillerin üst kısmında çatlakların ilerlemesi tespit edilmiştir. Profiller incelendiğinde boyuna liflerde kırılmanın olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.6. Boş profillerin eğilme deneyi

4.1.2. Hibrit numunelerin eğilme deney sonuçları

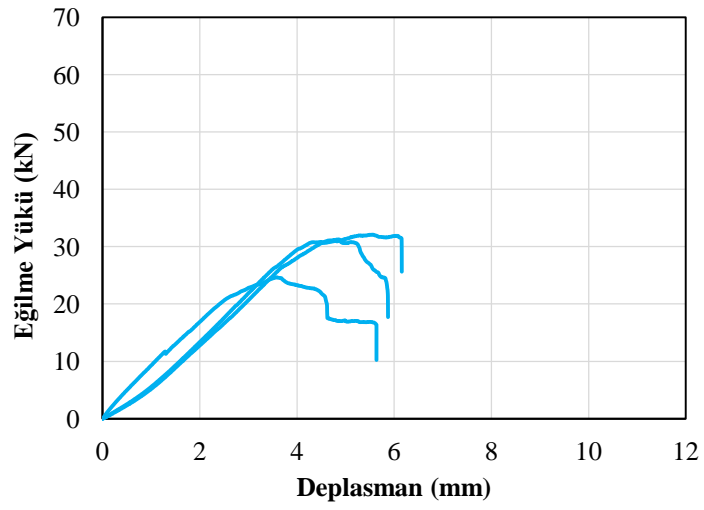
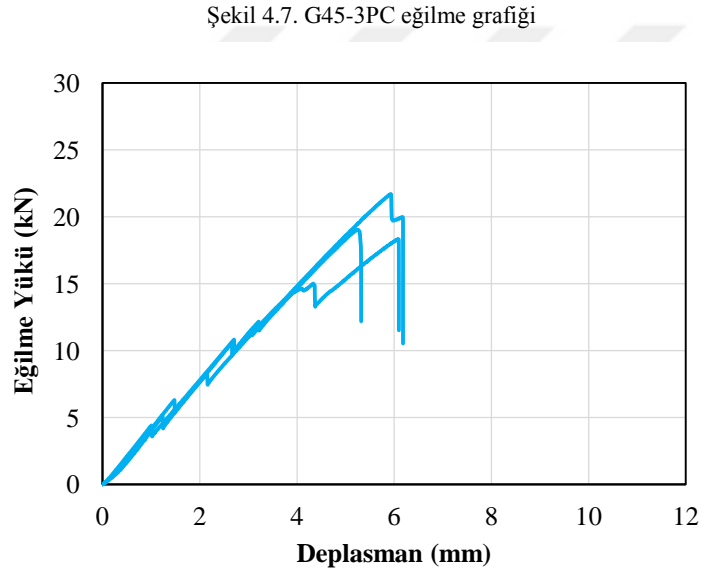
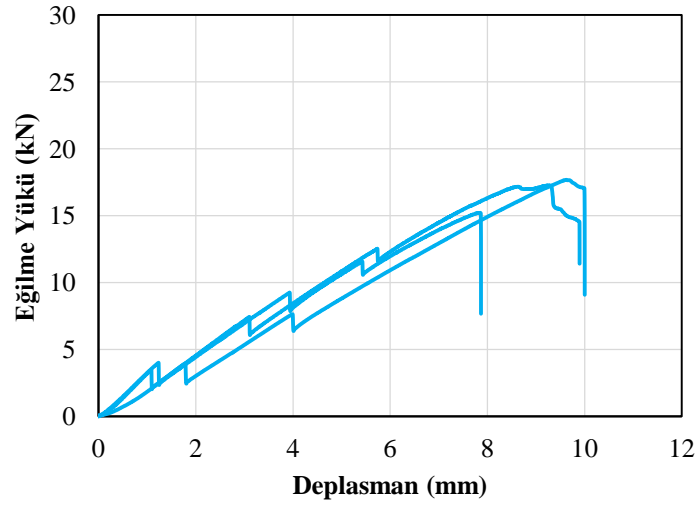
Hibrit numunelerin, eğilme deneyi sonunda elde edilen ortalama mekanik değerler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Hibrit numunelerin ortalama sonuçları

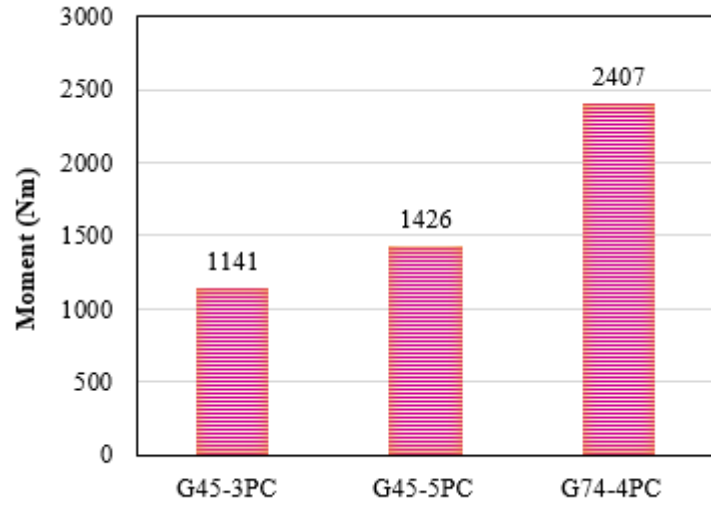
Deney Numunesi	Max. Eğilme Yüğü	Eğilme Momenti	Kesme Kuvveti	Tokluk
	(N)	(Nm)	(kN)	(Nm)
G45-3PC	16717	1253,8	16,72	85,11
G45-5PC	19676	1475,7	19,68	62,00
G74-4PC	29336	2200,2	29,34	387,35

Profil ebatları büyüdükçe mak. eğilme yükünün, moment taşıma kapasitesinin, kesme kuvvetinin ve tokluk değerinin arttığı görülmüştür. G45-3PC ile G45-5PC deney numunelerinde et kalınlığının arttırıldığında değerlerin 1,17 kat yükseldiği tespit edilmiştir. G74-4 ile karşılaştırıldığında da profil ebatları büyüdükçe değerlerin 1,5 kat arttığı sonucuna varılmıştır.

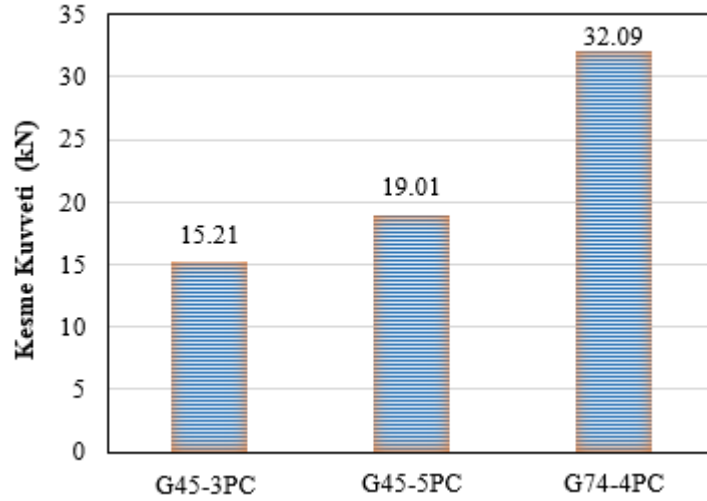
Deney sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan G45-3PC, G45-5PC ve G74-4PC numunelerinin yük-sehim grafikleri Şekil 4.7., Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da verilmiştir. Hibrit numunelerin yük-sehim grafikleri incelendiğinde lineer davranış yükünün arttığı görülmüştür. Şekillerde görülen orantılılığın bozulmasının nedeni profil içerisindeki betonun kırılmasıdır. Beton kırılmış olsada artış devam etmiştir. Grup içerisindeki numunelerin davranışı birbirleriyle tutarlı sonuçlar vermiştir. Hibrit numuneler boş profil ile kıyaslandığında performansın arttığı görülmüştür. Aynı numune grubundaki max. eğilme yük değerleri karşılaştırılmış ve buna göre G45-3PC numunesi G45-3'e göre %68 oranında artış göstermiştir. G45-5PC numunesinin eğilme yük değeri G45-5 numunesine göre %21 ve G74-4PC ise G74-4 numunesine göre %46 artış sağlanmıştır.



Hibrit numuneler artan her parametrede artış sağlayarak olumlu sonuç vermiştir. Her bir numune için eğilme deney sonuçlarından elde edilen moment taşıma kapasiteleri Şekil 4.10.'de kesme kuvvetleri Şekil 4.11.'de verilmiştir.

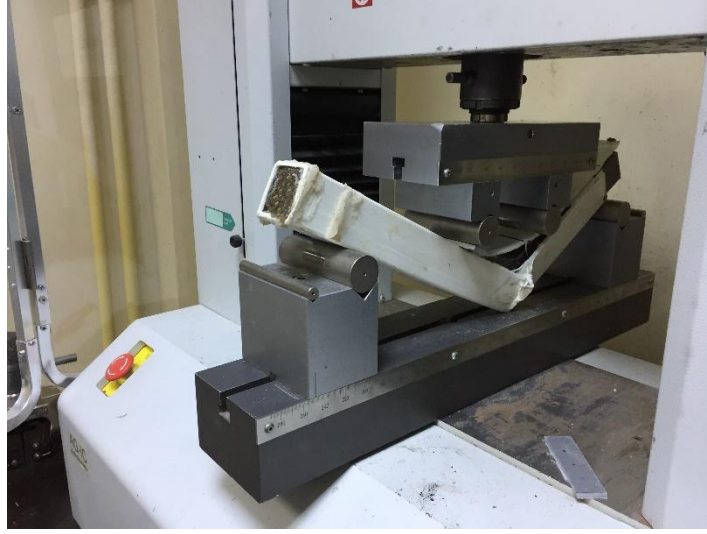


Şekil 4.10. G45-3PC, G45-5PC ve G74-4PC numunelerin moment taşıma kapasiteleri



Şekil 4.11. G45-3PC, G45-5PC ve G74-4PC numuneleri üzerinde oluşan kesme kuvveti

Deney sonrası numunelerdeki deformasyonlar incelenmiştir. Profil içerisindeki beton sıyrılıp istenen düzeyde aderans sağlanamamıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Hibrit numune eğilme deneyi

İçi boş profillerin ve Hibrit numunelerin hepsinde meydana gelen deformasyonlar Şekil 4.13.'te verilmiştir. İçi boş profillerin köşe noktalarından kırıldığı fakat kopmadığı görülmüştür. Hibrit numunelerde ise lokal kırılma sorununun ortadan kalktığı ancak çatlakların ilerlediği görülmüştür. Ayrıca hibrit numunelerde dayanım artmış ancak beton profilden sıyrılmıştır.



Şekil 4.13. Eğilme deneyi sonrası deformasyonlar

4.1.3. Kumlu hibrit profillerin eğilme deney sonuçları

GFRP profiller ile beton arasındaki aderansı sağlamak amacıyla üretilen Kumlu hibrit numunelere eğilme deneyi yapılmıştır. Kumlu hibrit numunelerin, eğilme deneyi sonunda elde edilen değerleri Tablo 4.3.'te sunulmuştur.

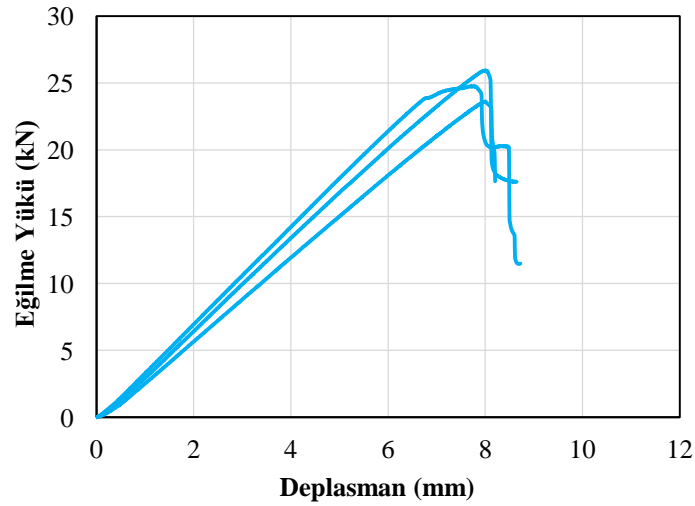
Tablo 4.3. Kumlu hibrit numunelerin ortalama sonuçları

Deney Numunesi	Max. Eğilme Yüğü	Eğilme Momenti	Kesme Kuvveti	Tokluk
	(N)	(Nm)	(kN)	(Nm)
G45-5PCS	24763	1857,2	24,76	219,08
G74-4PCS	65717	4928,8	65,72	540,77

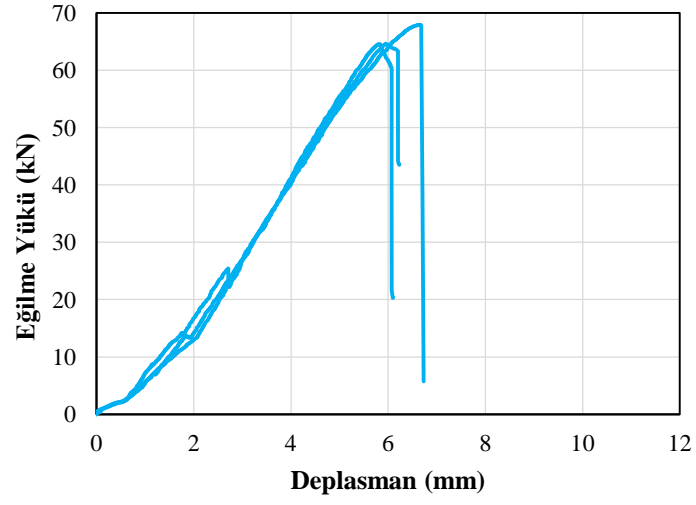
G45-5PCS numunesinin max. eğilme yüğü G45-5 numunesinin sonucuna oranla yaklaşık 1,5 kat artış sağlarken, G74-4PCS numunesi G74-4 e göre yaklaşık 2,5 kat yükselmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde 45 mm'lik profillere uygulanan iyileştirme sonrasında alınan değerler, 74 mm'lik profillere yapılan iyileştirme sonucundan alınan değerlere nazaran çok küçüktür. Kesit boyutunun küçük olmasından dolayı beton yerleşiminde zorluklar yaşanmıştır. Bu alınan verilerden sonra kesit boyutları büyüdükçe dayanımın artacağı düşünülmüştür.

Deney sonrasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan G45-5PCS ve G74-4PCS numunelerinin yük-sehim grafikleri Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te verilmiştir.

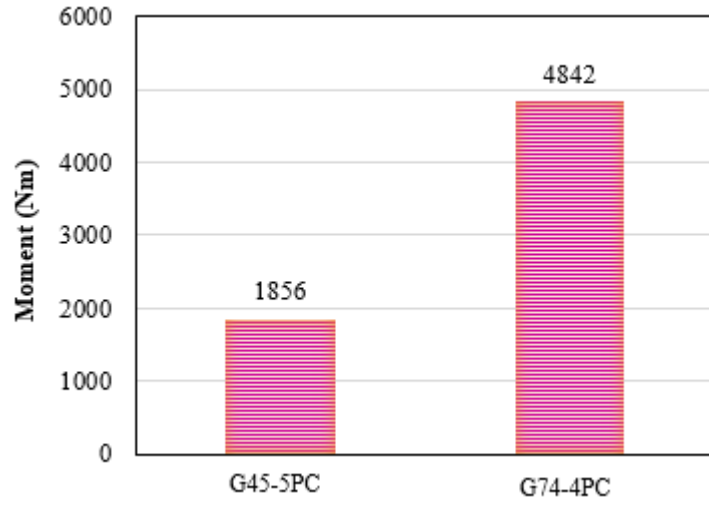


Şekil 4.14. G45-5PCS eğilme grafiğı

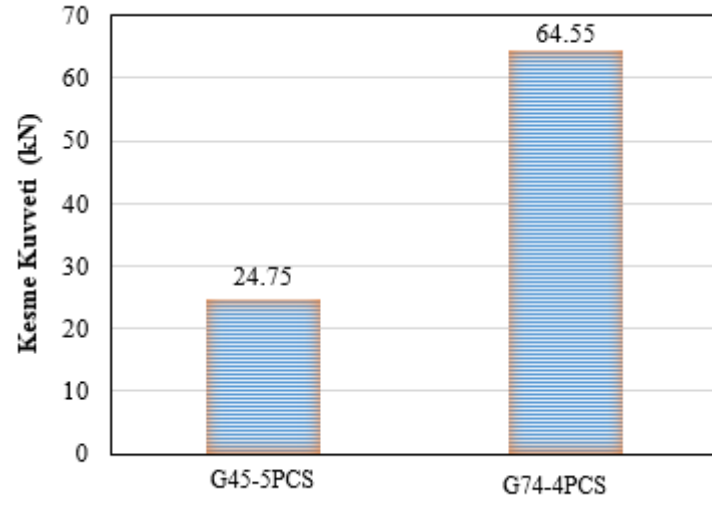


Şekil 4.15. G74-4PCS eğilme grafiğı

Her bir numune için eğilme deney sonuçlarından elde edilen moment taşıma kapasiteleri Şekil 4.16.'da kesme kuvvetleri Şekil 4.17.'de verilmiştir.

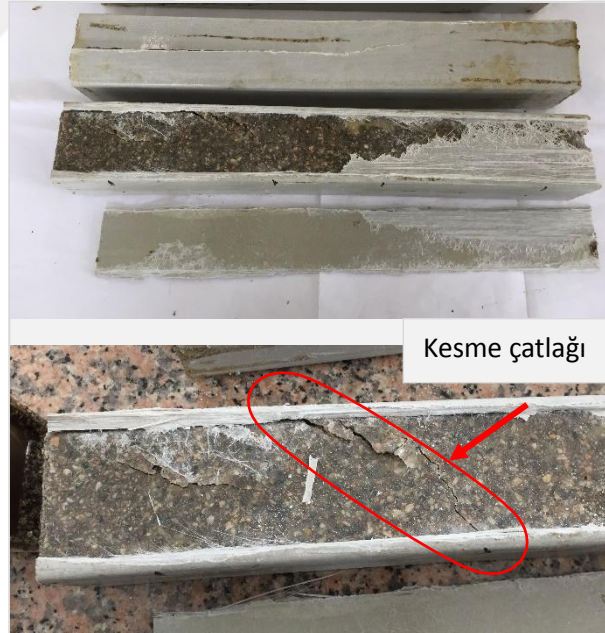


Şekil 4.16. G45-5PCS ve G74-4PCS numunelerin moment taşıma kapasiteleri



Şekil 4.17. G45-5PCS ve G74-4PCS numuneleri üzerinde oluşan kesme kuvvetleri

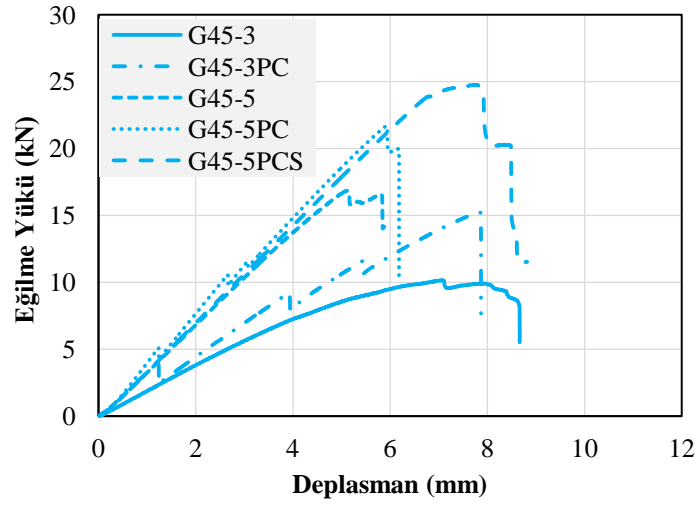
G45-5PCS ve G74-4PCS numunesinin eğilme deney sonucunda profillerden beton sıyrılmayıp birlikte hareket etmişlerdir. Deney sonrası profiller açılmış ve içerisindeki betonda 45° 'lik kesme çatlakları tespit edilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. G74-4PCS içinde meydana gelen kesme çatlakları

4.1.4. Eğilme deney sonuçlarının karşılaştırılması

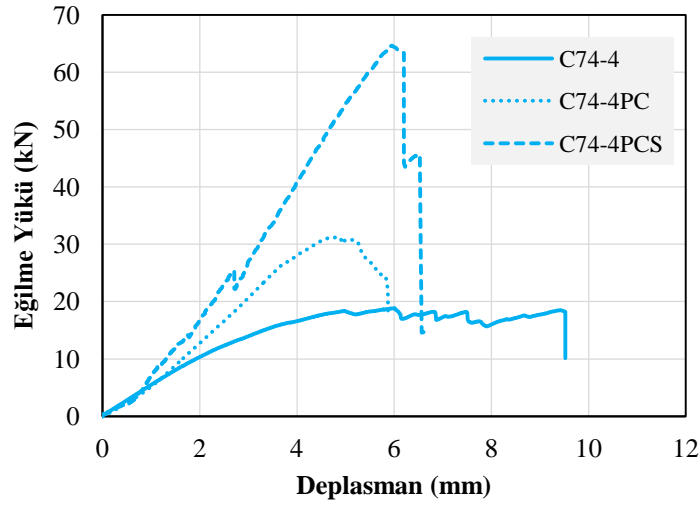
Boyutları 45x45, et kalınlıkları 3mm ve 4mm olan içi boş profillerin, hibrit numunelerin ve kumlu hibrit numune değerlerinin ortalaması Şekil 4.19’ da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi et kalınlığı ve boyutlar arttıkça eğilme dayanımında artış görülmüştür. Maksimum eğilme yükleri karşılaştırıldığında en yüksek değeri G45-5PCS numunesinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. G45-3, G45-5, G45-3PC, G45-5PC, G45-5PCS profillerin eğilme grafiği

Boyutları 74x74 ve et kalınlığı 4mm olan içi boş profillerin, hibrit numunelerin ve kumlu hibrit numunelerin ortalama değerleri Şekil 4.20’da karşılaştırılmıştır. G74-4PCS numunelerinin ortalama değeri G74-4 profillerin ortalama değerinin 3,5 katıdır. Yapılan iyileştirmenin olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Kumlu numunelerde aderans daha iyi olduğu için sonuçları, içi boş profillerden ve hibrit numune sonuçlarından çok daha yüksektir. 74 mm boyutundaki GFRP profile uygulanan bu iyileştirme 45 mm boyutundaki numuneden daha olumlu sonuç vermiştir. Çünkü ebatı büyümüş olan bu GFRP profile beton yerleşimi, şişleme ve kumlama işlemi daha rahat yapılmıştır.



Şekil 4.20. Hibrit numunelerin eğilme grafiği

4.2. Basınç Deney Sonuçları

Basınç deneyi boş profillere, hibrit ve yüzeyi kumlanmış hibrit numunelere uygulanmıştır. Basınç test sonuçları Tablo 4.4.'te sunulmuştur.

Tablo 4.4. Numunelerin basınç deneyi kırılma yükü sonuçları

Deney Numunesi	1. Numune Kırılma Yüğü (N)	2. Numune Kırılma Yüğü (N)	3. Numune Kırılma Yüğü (N)	Ortalama Yüğü (N)
G45-3	40,00	45,00	50,00	45,00
G45-5	175,30	177,50	185,50	179,43
G74-4	197,00	212,80	213,70	207,83
G45-3PC	133,30	137,30	143,30	137,97
G45-5PC	226,10	250,10	250,70	242,30
G74-4PC	557,20	580,80	613,10	583,70
G45-5PCS	173,40	185,00	195,90	184,77
G74-4PCS	557,20	580,80	613,10	529,90

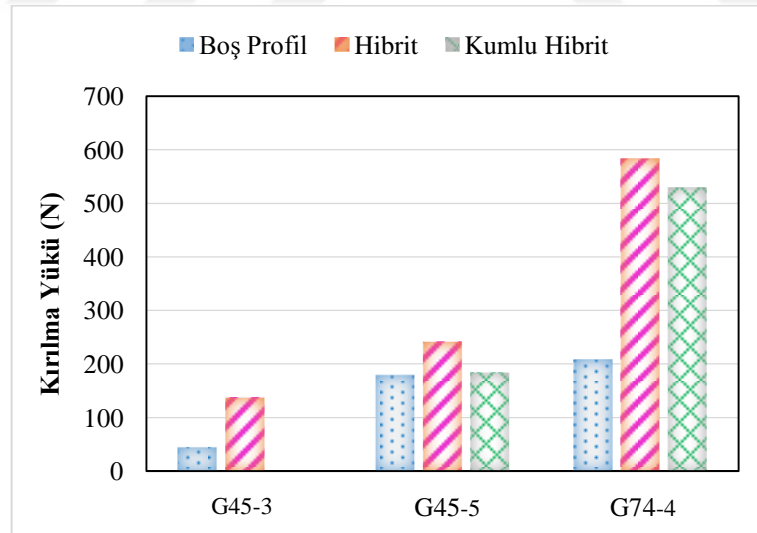
İçi boş profillerin kırılma yükü kesit ile doğru orantıda artış göstermiştir. G45-3 numunesinin ortalama kırılma yükü 45 N olduğu tespit edilmiştir. Et kalınlığı değişen G45-5 numunesinin kırılma yükü ise G45-3 numunesinin yaklaşık 3 katı değerindedir. G74-4 numunesinin kırılma yükü, G45-5'den %15 fazla çıkmıştır.

Hibrit numunelerle yapılan deney sonuçları incelendiğinde içi boş profil deneylerine göre değerlerin iki kat arttığı görülmüştür. G45-3PC numunesinin ortalama kırılma yükü 137,97 N olduğu tespit edilmiştir. Et kalınlığı değişen G45-5PC numunesinin kırılma yükü ise 242,30 N ve G74-4PC numunesinin kırılma yükü 583,70 N çıkmıştır.

Yüzeyi kumlanarak iyileştirilen profillerin içerisine betonunun iyi yerleşmemesinden dolayı basınç deney sonuçları, hibrit numunelerden elde edilen basınç deney sonuçlarına göre azalmıştır. Kumlu hibrit numune testinde olumlu sonuç alınmadığı görülmüştür.

Basınç deneyi sonucunda profil ebatları büyüdükçe dayanımının arttığı, polimer beton ile doldurulan GFRP profillerin deney sonucunu olumlu ekilediği, en büyük artışı G74-4 numunesinden elde edildiği görülmüştür. Bunun temel sebebi, profil içerisine betonun daha rahat yerleştirilmesidir.

Bütün profillerin basınç deney sonuçlarının ortalaması Şekil 4.21.'de verilmiştir.



Şekil 4.21. G45-3, G45-5 ve G74-4 numunelerinin ortalama basınç deneyi kırılma yükü sonuçları

GFRP profillerin kendi basınç dayanımlarının çok fazla üstüne çıktığı şekilde de görülmüştür.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kare kesitli GFRP kutu profil ve polimer betonun birleşiminden oluşan Hibrit yapı elemanlarının basınç ve eğilme davranışları incelenmiştir. GFRP profillerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanan bu çalışmada farklı et kalınlıklarında (45-45-3 mm ve 45-45-5 mm) ve farklı ebatlarda (45-45 mm ve 74-74 mm) profiller kullanılmıştır. Bunun yanı sıra polimer beton ve GFRP profil arasında aderansı arttırmak için profil iç yüzeylerine kumlama işlemi uygulanmıştır.

Sonuç olarak çalışmamızdan elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Literatür çalışmasından elde edilen bilgilerde olduğu gibi, içi boş GFRP profillere uygulanan eğilme testleri sonucunda numune köşelerinde lokal kırılmalar meydana gelmiştir.
- Hibrit numuneler boş profil ile kıyaslandığında performansın arttığı, eğilme yük değerinde G45-3PC numunesi G45-3'e göre %68 oranında, G45-5PC numunesinin G45-5 numunesine göre %21 ve G74-4PC ise G74-4 numunesine göre %46 artış sağlanmıştır. G45-5PCS numunesinin max. eğilme yükü G45-5PC numunesinin sonucuna oranla yaklaşık %25 artış sağlamış ve G74-4PCS numunesi G74-4'e göre yaklaşık 2,5 kat yükselmiştir.
- Basınç deney sonuçlarında; G45-3PC numunesi G45-3'ün yaklaşık 3 katı, G45-5PC numunesinin G45-5 numunesine göre yaklaşık 1,5 katı ve G74-4PC ise G74-4 numunesine göre yaklaşık 2,8 katı artış sağlanmıştır. G45-5PCS ve G74-4PCS numunesinin basınç dayanımlarında düşüş görülmüştür. Dolayısıyla kumlama işleminin basınç dayanımında yararı olmadığı görülmüştür.
- GFRP profillerde eğilme yükü altında meydana gelen lokal kırılmalar, içerisine Polimer Beton doldurulduğunda daha yüksek dayanımlarda meydana geldiği, ayrıca kırılma şeklinin ve yerinin değiştiği, eğilme dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

- Kumlu yüzey özelliklerine sahip numunelerde bile deneylerde boyuna liflerin kırılmadığı sadece keçenin ve polimerin kırıldığı tespit edilmiştir.

İçi kumlanarak üretilen hibrit numunelerde davranış ve dayanım yönünden daha iyi sonuçlar elde edildiği için kumlu numuneler önerilmiştir.

GFRP kutu profillerin eksenine dik doğrultuda elyaf sarılarak dayanımının arttırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Farklı boyut ve kesit özelliklerine sahip profiller kullanılarak üretilen hibrit numunelerin deney sonuçları incelenebilir. Ayrıca hibrit numunelerin darbe etkisi altındaki davranışları incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Akıncı, A. (2004). Polimer Matriksli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Asi, D. (2018). Polimer Matrsili Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak.
- Atarsia, A. ve Bokhili, R. (2000). Effect of Pulling Speed on the Sizes of the Liquid, Gel and Solid Zone During Thermoset Pultrusion, *Journal Of Reinforced Plastics and Composites* ,19(18):1493-1503.
- Ateş, E. (1994). Epoksi Polimer Betonun Makine Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Aydın, F. (2011). Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit Ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Bağcı, M. (2010). Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bechtold, G., Wiedmer, S., Friedrich, K. (2002). Pultrusion of thermoplastic composites-Mew developments and modelling studies. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 15(5), 443-465.
- Cumhur, A. (2007). Pultruzyon Metodu İle Üretilmiş GFRP profillerle Sera Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Demircioğlu, G. (2006). Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Deniz, M.E. (2005). Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri Ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Urfa.

- Dikeo, J.T. ve David, W.F. (1990). Polymer Concrete for Overlays and Precast Components. *Cannet/ACI International Workshop on Advabces in Concrete Technology*.
- Eren, Y. (2007). Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Fam, A., Kong, A., Green, M. (2008). Effects of Freezing and Thawing Cycles and Sustained Loading on Compressive Strength of Precast Concrete Composite Piles. *PCI Journal, PCI*, Vol. 53, No. 1, pp. 109-120.
- Fardis, M.N. ve Khalılı, H. (1981). Concrete Encased Fiber Glass Reinforced Plastic, *ACI*, Vol. 78, No. 6, pp. 440-446.
- Fink, E. And Bank, L. (2006). Pultruded glass fiber-reinforced plastic and paperboard composite tubes. *Journal of reinforced plastics and composites*, 25(6), 601-616.
- Giordano, M. Ve Nicolais, L. (1997). Resin Flow in a Pultrusion Process. *Journal Of Polymer Composites*, 18(6):651-686.
- Hillman, J.R. and Murray, T.M. (1990). Innovative Floor Systems For Framed Buildings, Mixed Structures, Including New Materials. *Proceedings of IABSE symposium. Brussels. Belgium*, Vol. 60, IABSE, Zurich. pp. 672-675.
- Hollaway, L. (2010). A review of the present and future utilisation of FRP composites in the çivil infrastructure with reference to their important in service properties. *Construction and building materials*, 24(12), 2419-2445.
- Holmes, M., Just, D.J. (1983). GRP in Structural Engineering. Applied Science Publishers Ltd., New York.
- http://www.superiorfibers.com/upload/SFLLC_FRP_Comparison_Chart.pdf Erişim Tarihi (15.03.2019).
- Karlı, M. (2016). Hafif Silahlar İçin Polimer Kompozit Malzeme Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaya, F. (1983). Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metotları, Yarımcı.
- Kovan, V. (2002). Plastik malzeme türleri ve bunların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan deney ve yöntemler. Pamukkale Üniversitesi.
- Mazumdar, S. (2001). Composites manufacturing: materials, product, and process engineerig: CrC press.
- Mehdi, A. (2011). Structural Reinforcement of Building Materials Using Polymer Concrete. *American Journal of Scientific Research*, 23, 135-143.
- Naguib, W. and Mirmiran, A. (2002). Time-Dependent Behavior of FRPConfined Concrete Columns. *ACI Structural Journal, ACI*, Vol. 99, No. 2, pp. 142-148.

- Pişkin, A. (2007). Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Rahatekar, S.S. ve Roux, J.A. (2003). Numerical Simulation of Pressure Variation and Resin Flow Injection Pultrusion. *Journal Of Composite Materials*, 37(12):1067-1082.
- Sarıbıyık, A. (2013). Beton Dayanımı Düşük Betonarme Yapı Elemanlarının Lifli Kompozitlerle Güçlendirilmesi Ve Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sarıbıyık, M., Elmas, M., Özdemir, S., Ünal, H., Çağlar, N. Ve Aydın, F. (2008). Sera Tasarımında Pultruzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması. TÜBİTAK sonuç raporu, Sakarya.
- Shao, Y. and Mırmıran, A. (2005). Experimental Investigation of Cyclic Behavior of Concrete-Filled FRP Tubes. *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol. 9, No. 3, pp. 263-273.
- Sönmez, M. (2016). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerinde Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topsakal, A. (2013). Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- www.pultrusiondynamics.com., Erişim Tarihi (06.04.2019).
- www.strongwell.com., Erişim Tarihi (06.04.2019).
- Yalçın, E.B. (2012). Farklı Kumaş Ve Farklı Yöntemlerle Üretilmiş GFRP Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, G. (2011). Pultruzyon Metoduyla Üretilmiş GFRP Profillerin Şekil Ve Boyutlarının Eğilme ve Basınç Dayanımlarına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Young, R.J. (1981). Introduction to Polymers, Chapman & Hall, London.

ÖZGEÇMİŞ

Özlem Ğuma, 26/08/1993'te Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2011 yılında Hacı Zehra Akkoç Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda öğrenimine devam etmektedir.