

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**KARBON TELEFLERİNDEN İMAL EDİLMİŞ  
KOMPOZİT YAPILARIN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
AYŞE CERAN UÇAR**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Emin YÜKSEKKAYA  
HAZİRAN-2012  
UŞAK**

**T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARBON TELEFLERİNDEN İMAL EDİLMİŞ KOMPOZİT YAPILARIN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYŞE CERAN UÇAR**

**HAZİRAN 2012**

**UŞAK**

**T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARBON TELEFLERİNDEN İMAL EDİLMİŞ KOMPOZİT YAPILARIN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYŞE CERAN UÇAR**

**UŞAK 2012**

Ayşe CERAN UÇAR tarafından hazırlanan Karbon Teleflerinden İmal Edilmiş Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA .....  
Tez Danışmanı, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mevlüt TERCAN .....  
(Tekstil Mühendisliği, Uşak Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA .....  
(Tekstil Mühendisliği, Uşak Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ .....  
(Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi)

Tarih:

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

**AYŞE CERAN UÇAR**

**KARBON TELEFLERİNDEN İMAL EDİLMİŞ KOMPOZİT YAPILARIN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**AYŞE CERAN UÇAR**

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
HAZİRAN 2012**

**ÖZET**

Atık malzemelerin kullanımıyla oluşturulan yeni malzemeler hem çevresel, hem de ekonomik açıdan birçok yarar sağlamaktadır. Bu kapsamda tekstil atıklarının takviye olarak kullanıldığı kompozit malzemeler, atıkların değerlendirilmesi adına alternatif bir yöntem olma özelliği taşımaktadır. Bu çalışmada tekstil atıklarının geri kazanımı amacı ile atık liflerin takviye malzemesi olarak kullanıldığı polimer matrisli kompozit yapılar elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle karbon lifleri ve kompozit malzemelerle ilgili tanımlamalar ve genel bilgilere yer verilmiştir. Kullanım alanları ve üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla da çağımızın ihtiyaçlarına pek çok açıdan cevap verebilecek özelliklere sahip karbon liflerinden elde edilmiş kompozitler incelenmiştir.

Çalışmanın deneysel kısmı için farklı lif ağırlığına sahip üç adet kompozit plaka üretilmiştir. Bu plakaların çekme ve kayma kuvveti ölçülmüş ve maksimum çekme ve kayma kuvveti, kritik çekme ve kayma kuvveti, çekme ve kayma uzaması değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu Yüksek Lisans Tezi Uşak Üniversitesi BAP Birimi tarafından proje olarak desteklenmiştir.

**Bilim Kodu: 621.01.00**

**Anahtar Kelimeler: Kompozit, karbon lifleri, mukavemet, mekanik özellikler**

**Sayfa Adedi: 120**

**Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA**

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE  
MATERIALS MADE OF CARBON FIBERS WASTE  
(M. Sc. Thesis)**

**AYŞE CERAN UÇAR**

**UŞAK UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
JUNE 2012**

**ABSTRACT**

The new materials produced by using waste materials both environmental and economical provides several benefits. In this context, design of composite materials are used as a reinforcement of textile waste attention as an alternative method for the utilizing waste. In this study, the purpose of textile waste recycling and waste fibers used as a reinforcement material is intended to get the polymer matrix composite structures.

In this study, the definition of carbon fibers and composite materials given with their usage and production methods. In the experimental studies, composite materials made from carbon fibers that satisfy the needs of modern era.

In the experimental part of this study, three composit plaka prodused using different weights carbon waste. Tensile and shear strength of the plates were measured in order to obtain the mechanical proerties such as the tensile strengh and elongation and shear strength and elongation. The data obtained from the experimental results were evaluated and compared statistically.

This Master of Science thesis has been supported by BAP unit of Uşak University.

**Science Code : 621.01.00**

**Key Words : Composite, carbon fiber, strength, mechanical properties**

**Page Number :120**

**Adviser : Assist. Prof. Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA**

## TEŞEKKÜR

UŞak Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamındaki bu tez alıŐmasının yapılmasında, ilgi ve emeğini eksik etmeyen, kıymetli bilgileriyle yolumu aydınlatan çok değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA' ya, çalıŐmalarım sırasında katkısından dolayı Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKTAŞ' a, numunelerin üretim ve deney aŐamalarında yardım ve katkılarından dolayı yardımlarımı esirgemeyen ArŐ. Gör. H. Ersen BALCIOĞLU ve ArŐ. Gör. Önder YEŐİL' e ve bugünlere gelmemde emekleri tartışılmaz olan, maddi manevi destekleriyle her an yanımda olan aileme ve sevgili eŐime teŐekkürlerimi sunarım.

AYŞE CERAN UÇAR

UŞAK, 2012



# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	xv
1. GİRİŞ .....	<b>Hat</b>
<b>a! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	3
2.1. Karbon Lifinden İmal Edilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri .....	3
2.2. Karbon Lifi ve Cam Lifinden İmal Edilen Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması .....	9
3. KOMPOZİT MALZEMELER .....	13
3.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihçesi .....	13
3.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri .....	16
3.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları .....	17
3.4. Kompozit Malzemenin Kısımları .....	19
3.4.1. Kullanılan Matrisler ve Genel Özellikleri .....	22
3.4.2. Takviye Olarak Kullanılan Elyaf lar .....	31
3.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	39
3.5.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	40
3.5.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	42
3.5.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler .....	43

3.5.4. Karma (Hibrit) Kompozitler.....	45
3.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	46
3.6.1. Elle Yatırma (hand lay-up) Yöntemi .....	47
3.6.2. Püskürtme Yöntemi (Spray-Up).....	49
3.6.3. Profil çekme / Pultrüzyon (Pultrusion) .....	52
3.6.4. Reçine Basma ve Reçine Transfer Kalıplama (RTM) / Reçine Enjeksiyonu ....	53
3.6.5. Elyaf sarma (Filament Winding) .....	55
3.6.6. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi .....	56
3.6.7. Vakum Bonding / Vakum Bagging .....	57
3.6.8. Otoklav / Autoclave Bonding.....	58
3.7. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	58
3.7.1. Havacılık ve Uzay Sanayi.....	59
3.7.2. Otomotiv Sanayi.....	60
3.7.3. Günlük ve Ticari Hayatta Kullanım .....	61
3.7.4. Denizcilik Sanayi.....	61
3.7.5. Spor Araçları .....	61
3.7.6. Sağlık .....	62
3.7.7. Yapı-İnşaat Sektörü ve Şehircilik.....	62
3.7.8. Müzik aletleri .....	63
3.7.9. Diğer Alanlar .....	63
4. KARBON LİFLERİ .....	64
4.1. Karbon Liflerinin Özellikleri.....	65
4.2. Karbon Liflerinin Üretimi.....	66
4.2.1. Poliakrilnitril (PAN) Liflerinin Karbonizasyonu ile Karbon Elyaf Üretimi.....	67
4.2.2. Polivinildenklorür veya Polivinildenklorür Kopolimerlerinden Karbon Lifi Üretimi.....	70
4.2.3. Taş Kömürü Katranı Tortusu veya Petrol Zifti Pirolizinden Elde Edilen Karbon Lifi Üretimi .....	70

4.2.4. Bitkisel Esaslı Hammaddelerden Karbon Lifi Üretimi.....	71
4.2.5. Karbon Liflerinin Kullanım Alanları.....	72
5. MATERYAL ve METOT.....	74
5.1. Kompozit Plaka Üretimi .....	74
5.2. Mekanik Testler.....	77
5.2.1. Çekme Testi.....	78
5.2.2. Kayma Testi .....	80
6. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA.....	82
6.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	82
6.2. Kayma Deneyi Sonuçları.....	94
6.3. İstatistiksel Hesaplamalar.....	106
7. SONUÇLAR / ÖNERİLER .....	113
KAYNAKLAR .....	116
ÖZGEÇMİŞ .....	121

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Cam liflerinin içeriğindeki madde oranları.....	34
Çizelge 3.2. Cam liflerinin karakter özellikleri.....	35
Çizelge 3.3. Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri.....	36
Çizelge 6.1. Numunelerin ortalama maksimum çekme kuvveti değerleri.....	83
Çizelge 6.2. Numunelerin lif ağırlığına göre ortalama maksimum çekme kuvveti değerleri.....	84
Çizelge 6.3. Numune yönüne göre ortalama çekme maksimum kuvveti değerleri.....	84
Çizelge 6.4. Çekme hızına göre ortalama maksimum çekme kuvveti değerleri.....	84
Çizelge 6.5. Numunelerin ortalama kritik çekme kuvveti değerleri (kN).....	87
Çizelge 6.6. Numunelerin lif ağırlığına göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri.....	88
Çizelge 6.7. Numune yönüne göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri.....	88
Çizelge 6.8. Çekme hızına göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri.....	88
Çizelge 6.9. Maksimum çekme uzaması.....	90
Çizelge 6.10. Numunelerin lif ağırlığına göre ortalama çekme uzaması değerleri.....	91
Çizelge 6.11. Numune yönüne göre ortalama çekme uzaması değerleri.....	91
Çizelge 6.12. Çekme hızına göre ortalama çekme uzaması değerleri.....	91
Çizelge 6.13. Numunelerin ortalama maksimum kayma kuvveti değeri (kn).....	95
Çizelge 6.14. Lif ağırlığına göre ortalama maksimum kayma kuvveti değerleri.....	96
Çizelge 6.15. Numune yönüne göre ortalama maksimum kayma kuvveti değerleri.....	96
Çizelge 6.16. Çekme hızına göre ortalama kayma mukavemeti değerleri.....	96
Çizelge 6.17. Kritik kayma kuvveti (kN).....	99
Çizelge 6.18. Lif ağırlığına göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri.....	99
Çizelge 6.19. Numune yönüne göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri.....	100
Çizelge 6.20. Çekme hızına göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri.....	100

Çizelge 6.21. Maksimum kayma uzaması (%).....	102
Çizelge 6.22. Lif ağırlığına göre ortalama kayma uzaması değerleri.....	103
Çizelge 6.23. Numune yönüne göre ortalama kayma uzaması değerler.....	103
Çizelge 6.24. Çekme hızına göre ortalama kayma uzaması değerleri.....	103
Çizelge 6.25. Maksimum çekme kuvveti ANOVA tablosu.....	106
Çizelge 6.26. Maksimum çekme uzaması ANOVA tablosu.....	107
Çizelge 6.27. Kritik çekme kuvveti ANOVA tablosu.....	108
Çizelge 6.28. Maksimum kayma kuvveti ANOVA tablosu.....	109
Çizelge 6.29. Kayma uzaması ANOVA tablosu.....	110
Çizelge 6.30. Kritik kayma kuvveti ANOVA tablosu.....	111

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	sayfa
Şekil 3.1. Kompozit malzeme mikro yapısının şematik gösterimi.....	13
Şekil 3.2. Kompozit malzemenin kesit görüntüsü.....	21
Şekil 3.3. Epoksit grubunun kimyasal yapısı.....	25
Şekil 3.4. Epoksi reçinenin genel kimyasal yapısı.....	25
Şekil 3.5. Epoksit gruplarının etilen diaminele çapraz bağ oluşturması.....	26
Şekil 3.6. Karbon lifleri için kullanılan tipik termoplastiklerin tekrarlanan üniteleri.....	27
Şekil 3.7. Karbon lifleri için kullanılan tipik termoplastiklerin özellikleri.....	27
Şekil 3.8. Matrislerin sıcaklık dayanımı ve yoğunluklarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 3.9. Ergitme işlemi.....	33
Şekil 3.10. Cam lif üretimi.....	33
Şekil 3.11. Bor elyafı üretim yöntemi.....	38
Şekil 3.12. Tabakalı kompozitler.....	44
Şekil 3.13. Kompozit malzeme üretim yöntemleri.....	47
Şekil 3.14. Elle yatırma yöntemi.....	49
Şekil 3.15. Püskürtme yöntemi.....	50
Şekil 3.16. Püskürtme tabancası.....	50
Şekil 3.17. Püskürtme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi.....	51
Şekil 3.18. Profil çekme işlemi.....	52
Şekil 3.19. Basma kalıplama yöntemi.....	54
Şekil 3.20. Transfer kalıplama yöntemi.....	54
Şekil 3.21. Filament sarma makinesi ve yöntemi.....	55
Şekil 3.22. Enjeksiyon kalıplama yöntemi.....	57
Şekil 3.23. Vakum bagging.....	58

Şekil 4.1. Karbon lifinin birim hücresi.....	65
Şekil 4.2. Karbon liflerinin genel özellikleri.....	66
Şekil 4.3. Pan esaslı karbon lif üretimi.....	69
Şekil 5.1. Çekme testi için kullanılan numune boyutları.....	78
Şekil 5.2. Kayma testi için kullanılan numune boyutları.....	80
Şekil 6.1. Numune yönü.....	82
Şekil 6.2. Çekme deneyi sonucunda elde edilen değerler.....	83
Şekil 6.3. 0,5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi.....	85
Şekil 6.4. 5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi.....	85
Şekil 6.5. 10mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi.....	86
Şekil 6.6. Ağırlık değerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi.....	86
Şekil 6.7. Numune yönünün çekme kuvvetine etkisi.....	86
Şekil 6.8. 0,5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi.....	89
Şekil 6.9. 5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi.....	89
Şekil 6.10. 10mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi.....	89
Şekil 6.11. Ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi.....	89
Şekil 6.12. Üç farklı hızlardaki lif ağırlığının kritik çekme kuvvetine etkisi.....	91
Şekil 6.13. Numune yönünün kritik çekme kuvvetine etkisi.....	91
Şekil 6.14. Ağırlığın 0,5mm/dak hızdaki çekme uzamasına etkisi.....	92
Şekil 6.15. Ağırlığın 5mm/dak hızdaki çekme uzamasına etkisi.....	92
Şekil 6.16. Ağırlığın 10mm/dak hızdaki çekme uzamasına etkisi.....	93
Şekil 6.17. Ağırlık değerlerinin çekme uzamasına etkisi.....	93
Şekil 6.18. Üç farklı hızlardaki numune yönünün çekme uzamasına etkisi.....	94
Şekil 6.19. Üç farklı hızlardaki lif ağırlığının çekme uzamasına etkisi.....	94
Şekil 6.20. Kayma deneyi sonucunda elde edilen değerler.....	95

Şekil 6.21. Ağırliğın 0,5mm/dak hızdaki kayma kuvvetine etkisi.....	97
Şekil 6.22. Ağırliğın 5mm/dak hızdaki kayma kuvvetine etkisi.....	97
Şekil 6.23. Ağırliğın 10mm/dak hızdaki kayma kuvvetine etkisi.....	97
Şekil 6.24. Ağırliğ değerlerinin kayma mukavemetine etkisi.....	97
Şekil 6.25. Üç farklı hızlardaki lif ağırliğının maksimum kayma kuvvetine etkisi.....	98
Şekil 6.26. Numune yönünün maksimum kayma kuvvetine etkisi.....	98
Şekil 6.27. 0,5mm/dak hızdaki ağırliğ değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi.....	101
Şekil 6.28. 5mm/dak hızdaki ağırliğ değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi.....	101
Şekil 6.29. 10mm/dak hızdaki ağırliğ değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi.....	101
Şekil 6.30. Ağırliğ değerlerinin kritik kayma mukavemetine etkisi.....	101
Şekil 6.31. Üç farklı hızlardaki lif ağırliğının kritik kayma kuvvetine etkisi .....	102
Şekil 6.32. Numune yönünün kritik kayma kuvvetine etkisi.....	102
Şekil 6.33. Ağırliğın 0,5mm/dak hızdaki kayma uzamasına etkisi.....	104
Şekil 6.34. Ağırliğın 5mm/dak hızdaki kayma uzamasına etkisi.....	104
Şekil 6.35. Ağırliğın 10mm/dak hızdaki kayma uzamasına etkisi.....	104
Şekil 6.36. Ağırliğ değerlerinin kayma uzamasına etkisi.....	104
Şekil 6.37. Üç farklı hızlardaki numune yönünün kayma uzamasına etkisi.....	105
Şekil 6.38. Üç farklı hızlardaki lif ağırliğının kayma uzamasına etkisi.....	105



## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. Pan liflerinin oksidasyonu.....	68
Resim 4.2. Pan liflerinin karbonizasyonu.....	68
Resim 4.3. Karbon lifinin yüzey görüntüsü.....	69
Resim 5.1. Zaman ve ısı kontrollü hidrolik pres .....	74
Resim 5.2. Kompozit malzeme üretim masası.....	75
Resim 5.3. Kompozit malzeme üretimi (Liflerin serilmesi).....	76
Resim 5.4. Kompozit malzeme üretimi (Reçinenin sürülmesi).....	77
Resim 5.5. Üniversal test cihazı.....	77
Resim 5.6. Kompozit plakaların çekme testi için belirlenen boyutlarda kesilmiş hali.....	78
Resim 5.7. Çekme deneyi diyagramı.....	79
Resim 5.8. Çekme testi öncesi.....	79
Resim 5.9. Çekme testi sonrası.....	79
Resim 5.10. Kompozit plakaların kayma testi için belirlenen boyutlarda kesilmiş hali.....	80
Resim 5.11. Kayma deneyi diyagramı.....	81
Resim 5.12. Kayma testi sonrası malzemedeki hasarlar.....	82

## SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>C</b>	Karbon
<b>Ca</b>	Kalsiyum
<b>Cl</b>	Klor
<b>cm</b>	Santimetre, uzunluk birimi
<b>Fe</b>	Demir
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Yoğunluk birimi
<b>mm</b>	milimetre, uzunluk birimi
<b>MPa</b>	Mega paskal, gerilme birimi
<b>N</b>	Newton, kuvvet birimi
<b>N/mm<sup>2</sup></b>	Elastisite modül birimi
<b>rpm</b>	Revolution per minute, dakikadaki devir sayısı
<b>Tex</b>	İplik numara birimi
<b>W/mk</b>	Termal iletkenlik birimi
<b>°C</b>	Celcius, Sıcaklık birimi
<b>µm</b>	Mikrometre, Lif çapı birimi
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ASTM</b>	American Standarts For Testing Materials
<b>BMC</b>	Hacimli Kalıp Bileşeni
<b>CFRP</b>	Carbon Fiber Reinforced Plastic
<b>PAN</b>	Poliakrilonitril
<b>PVA</b>	Polivinilalkol
<b>SiC</b>	Silisyum Karbür
<b>SMC</b>	Tabaka Kalıp Bileşeni
<b>WC</b>	Tungsten karbür

# 1. GİRİŞ

Malzemenin tarih içindeki gelişim, değişim ve çeşitlenme süreci incelendiğinde, saf ve doğal malzemenin kullanımdaki payının zamanla gitgide azaldığı, buna karşılık gelişen teknolojiyle birlikte, birden fazla malzemenin değişik tekniklerle bir araya getirildiği, amaca uygun özellikler taşıyan bir anlamda tasarlanmış malzemenin, başka bir ifade ile kompozit malzemenin gitgide arttığı, yaygınlaştığı açıkça görülmektedir [1].

Kompozit malzemeler hafiflik, yüksek dayanım, yüksek rijitlik, yüksek korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle mühendislik alanında kullanılan metal, seramik gibi diğer malzemeler ile kıyaslandıklarında üstün avantajlar sağlayan yeni tip mühendislik malzemeleridir [2].

İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir [3].

Onu meydana getiren malzemelerin kendi özelliklerinin yanı sıra hafiflik, yüksek mukavemet ve kolay uygulanma gibi tercih sebebi olabilecek diğer özellikleri de taşımaktadır.

Çamur ve samanın karıştırılması gibi ilkel örneklerinden kompozit kullanımının çok eskilere dayandığı anlaşılabilir. Günümüzde ise otomotivden denizciliğe, inşaat sektöründen hava ve uzay sanayisine kadar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 4].

Kompozit malzemeler takviye elemanı ve matris olmak üzere en az iki farklı elemandan meydana gelmektedir. Takviye malzemesi olarak elyaflar kompozitlerde önemli bir yer tutmaktadır. Elyaf takviyesi ile hafif ve mekanik dayanımı yüksek kompozit malzemeler üretilmektedir.

Elyaf takviyesi olarak yüksek performans özelliklerine sahip çeşitli lifler kullanılmaktadır. Bu amaçla en yaygın olarak kullanılan liflerden biri karbon lifleridir [2].

Karbon lifleri de artan ve değişen ihtiyaçlar için yeni ve kullanışlı materyal arayışıyla ortaya çıkmış olan bir lifdir. Mükemmel özelliklere sahip olması nedeniyle yüksek maliyetine karşın kompozitin hemen her alanında özellikle de hava-uzay endüstrisinde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır [4].

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Karbon liflerinden imal edilen kompozit malzemelerle ilgili olarak bugüne kadar birçok çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır ve geliştirilmesi için halen devam etmektedir. Yapılan literatür araştırmaları sonucu karbon liflerinden oluşturmuş kompozit yapıların mekanik özellikleri incelenmiştir.

Karbon lifinden imal edilen kompozit malzemelerin özellikleri incelenmiş özellikle mekanik özelliklerinden çekme ve kayma özellikleri üzerinde birçok çalışmaların yapılmış olduğu görülmüştür.

### 2.1. Karbon Lifinden İmal Edilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Dutra ve arkadaşları polipropilen ve merkaptan-modifiye karışımli polipropilen (PPEVASH) ile kombine edilmiş karbon epoksi kompozit malzemelerin darbe performansları ve dinamik mekanik özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. PPEVASH/karbon hibrit kompozitlerin karbon kompozitlere göre çok daha yüksek darbe dayanımı gösterdikleri, PPEVASH kompozitlere göre daha zayıf performans özellikleri gösterdiklerini bulmuşlardır [36].

Park ve arkadaşları karbon-karbon kompozitlerin kritik gerilme şiddet faktörü, özgül kırılma enerjisi gibi kırılma dayanım parametreleri ile çalışma adhezyonu arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kompozitlerin darbe özellikleri kırılma davranışının oluşum ve ilerleme enerjilerini ayrı durumlar olarak incelemişlerdir. Farklı miktarlarda oksidasyon inhibitörü içeren kompozit malzemelerde elyaf ve matris arasındaki adhezyon kuvvetinde artış olduğunu gözlemlemişler ve bu artışın kırılma dayanım ve darbe özelliklerini geliştirdiği sonucuna ulaşmışlardır [37].

Yuan ve arkadaşları, poliakrilonitril (PAN) ve zift esaslı kısa karbon liflerinden elde edilen karbon takviyeli poliether-ether-eton kompozit malzemelerin termal ve mekanik özellikleriyle ilgili bir araştırma yapmışlardır. Polyether ether ketone (PEEK) kristalliliğinin PAN esaslı karbon içeriğinde artış gösterdiğini fakat zift esaslı karbon lifi

içeriğinden etkilenmediğini gözlemlemişlerdir. İzotermal durumda, zift esaslı karbon/ PEEK kompozitlerinin kristalleşme oranlarının PAN esaslı karbon/ PEEK kompozitlerden daha hızlı olduğunu, PAN esaslı kompozitlerin dinamik çekme modülünün ve hasar tokluğunun karbon elyaf oranıyla arttığı sonucunu elde etmişlerdir [38].

Dirikoğlu ve Aktaş, ince karbon/epoksi plakaların gerilme şiddeti faktörlerinin karşılaştırılmasıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Karbon/epoksi plakalardan elde edilmiş olan çentiksiz ve farklı çaplarda delik bulunan numuneler test edilmiştir [34].

Elarabı ve Weidong yaptıkları araştırmada karbon/epoksi kompozitlerinde enine yönde dizilmiş liflerin aksenal çekme mukavemeti üzerindeki etkilerine bakmışlardır. Bu araştırma için biri tek yönlü sıralanmış filamentlerden diğeri ise çift yönlü çözü örne kumaşlardan epoksi reçineyle yapılmış kompozitlerin aksenal çekme testleri yapılmıştır. Çekme yük değerleri ve çift yönlü çözü örne kumaşlardan yapılan kompozitlerin uzama yüzdeleri artmıştır. Epoksinin eklenmesiyle kompozitlerin modüllerinde de artış görülmüştür. UD (Unidirectional) kompozitler için çekme yükü ve uzama azalırken BWK (Biaxially Warp Knitted) için artmıştır [43].

Taniguchi ve arkadaşları matris baskın yönde yüklenmiş karbon lif kompozitlerin dinamik çekme özelliklerini incelemişlerdir. Matris olarak termoplastik epoksi reçine kullanılmıştır. Numunelerin 10°, 30° ve 45° için çekme mukavemeti ve zorlanma oranı arasında doğrusal ilişki bulunamamıştır [44].

Baral ve arkadaşları yarış yatı konstrüksiyonunda kullanılan tek yönlü karbon epoksi kompozitlerin enine gerilim test sonuçlarını incelemişlerdir. Lif modülleri 380-640 GPa arasında değişmektedir. Poliakrilonitril (PAN) lif takviyeli kompozitlerde lif modülü arttıkça delaminasyon direnci ( $G_{lc}$  ve  $G_{lp}$ ) ve enine hata zorlanmasının düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca yüksek modüllü zift lifi esaslı kompozitler, yüksek modüllü PAN lifi esaslı kompozitlere göre daha yüksek enine hata zorlanması göstermektedirler [45].

Agrawal ve Prasad karbon/epoksi kompozitlerin uygulandıkları ortamlarda maruz kaldıkları katodik reaksiyonlar sebebiyle mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Katodik reaksiyona maruz kalan numunelerde interlaminar kayma mukavemetinde önemli bir düşüş olduğu buna karşın interlaminar kırılma tokluğunda artış olduğu görülmüştür [46].

Gliesche ve arkadaşları karbon/epoksi kompozitlerin düzlem içi kayma özelliklerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. 0°/90° tekstil takviye yapıları ve farklı tabaka

kalınlıkları ile karbon/epoksi kompozitlerinin kayma özellikleri  $\pm 45^\circ$  gerilim yükü altında belirlenmiştir. Yükleme boyunca numune yüzeyindeki deformasyon işlemi bir optik tüm alan (whole-field) ölçüm metodu kullanılarak yapılmıştır. Sonuçta kayma davranışlarının, tabaka kalınlığı ve/veya takviyenin her ünite alanı ağırlığından etkilendiği bulunmuştur. Numunelerin yüzeylerinin optik deformasyon analizi, beklendiği gibi, eşit zorlanma dağılımı göstermez. Dahası, hesaplanan ortalama zorlanma değerinden geniş sapmalar elde edilmiştir. Sonuç olarak, yapı ünitelerinin boyutlarının bu gerçekten etkilenmiş olabileceği düşünülmüştür [47].

Zhang ve Mason yaptıkları çalışmada hem üretim sürecinde hem de kompozitlerin kullanımını boyunca kontrol edilmesi gereken çevresel kirliliğin karbon lif takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Su, deniz suyu, asit, alkali ve organik çözücü kirletici olarak kullanılmış ve numuneler hem kür öncesi hem de sonrasında kirletilmiştir. Tabakalar arası kayma mukavemeti ve çekme mukavemeti ölçülmüştür. Sonuçta kirliliğin epoksi matrisi bozduğu ortaya çıkarılmıştır. Su ve deniz suyunun çekme mukavemeti ve elastisite modülünü düşürdüğü gözlemlenmiştir [48].

Ogasawara ve arkadaşları karbon lif takviyeli epoksi matris kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde fullerene dağılımının etkilerini incelemişlerdir. Çekme, basma, açık delik sıkıştırma, darbe sonrası basma (CAI), bağlama, kısa kiriş kayma ve interlaminar kırılma tokluğu gibi mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Matris reçine içine fullerenenin dağılımıyla çekme ve basma mukavemetlerinde artış görülmüştür. Ayrıca kompozitin interlaminar kırılma tokluğu yaklaşık %60 geliştirilmiştir [49].

Sadeghian ve arkadaşları karbon lif takviyeli plastiklerin mekanik özellikleri hakkında deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 8 katlı konfigürasyon eksenel yönlerden  $0^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  ve  $90^\circ$  de lif oryantasyonlarıyla 1, 2, 3 ve 4 katlarda hazırlanmıştır. Gerilme-şekil değiştirme davranışının lif oryantasyonuna bağlı olduğu bulunmuştur [50].

Cérny ve arkadaşları karbon lif takviyeli kompozitlerin çekme ve kayma elastisite modülleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Dinamik gerilme ve düzlem içi kayma modülü bir kirişin serbest uçlarıyla titreşim sıklıklarından tespit edilmiştir [51].

Bilisik PAN esaslı karbon lifleriyle takviye edilmiş çok yönlü 3D dokuma kompozit preformlarla 3D ortogonal dokuma karbon/epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Çalışmasında çok yönlü 3D kumaş preformları +çapraz, -çapraz, çözügü, atkı, Z-iplikleri olmak üzere 5 iplik setiyle üretilmiştir. 5 eksen üzerindeki

ipliklerin oryantasyonu preformun mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Preformun iplikleri epoksi reçinenin PAN esaslı karbon lifleriyle takviyesiyle elde edilmiştir. Bu preformlar test edilmiş ve 3D ortogonal dokuma karbon kompozitlerle karşılaştırılmıştır. Çok yönlü 3D dokuma kompozitin düzlem içi kayma mukavemeti ve modülü, 3D ortogonal dokuma kompozitin kayma mukavemeti ve modülünden daha yüksek bulunmuştur. Buna rağmen çok yönlü 3D dokuma kompozitin eğilme mukavemeti ve modülü, interlaminar kayma mukavemeti, çok yönlü 3D dokuma yapısının her iki yüzeyinde +/- çapraz ipliklerin oryantasyonu nedeniyle 3D ortogonal dokuma kompozitin interlaminar kayma mukavemetinden çok az daha düşüktür. Her dokuma numunesinin hataları onların mekanik davranışlarının değerlendirilmesi için analiz edilmiştir. Çok yönlü 3D dokuma preformun birim hücresi tanımlanmıştır. Birim hücre geometrisine bağlı olarak, bazı ilişkiler preformdaki her iplik setinin hacim fraksiyonunun tahmin edilmesi için geliştirilmiş ve bu tahmin edilen sonuçlar ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır [52].

Reis ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karbon/epoksi tabakaların mekanik davranışlarında interlaminar delaminasyonun etkisini araştırmışlardır. Kompozit 12 tane dengelenmiş çift yönlü karbon lif tabakaları ve epoksi reçine kullanılarak vakum molding metodu ile üretilmiştir. Farklı uzunlukta delaminasyonlar yapay olarak başlatılmıştır. Numuneler 3mm kalınlık ve 0,66 lif ağırlık oranına sahip orjinal plakalardan köpek kemiği şeklinde kesilmiştir. Statik testler tabaka sertliği ve mukavemeti üzerinde delaminasyon boyutlarının etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Yorulma testleri oda sıcaklığında, 10 Hz yükleme sıklığıyla 0,05 ve -1 stres oranları (R) için yük kontrolünde yapılmıştır. Yapay interlaminar delaminasyonları, çekme döngüsü yüklemeleri için yorulma mukavemeti üzerinde göz ardı edilebilir bir etkisi vardır fakat R=-1 yorulma yüklemeleri için mukavemette önemli düşüşler kaydedilmiştir [53].

Wang ve arkadaşları karbon lif takviyeli epoksi kompozitler üzerinde biriken Zn-Al kaplamaların mekanik özellikleri ve mikroyapısı üzerinde ark püskürtme gücünün etkisini araştırmışlardır. Zn-Al kaplama ve yüzey arasındaki yapışma mukavemeti bir RGD-5 çekme test makinesinde test edilmiştir. Püskürtme kaplamaların faz kombinasyonu ve mikroyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile incelenmiştir. Sonuçta püskürtme gücünün artmasıyla hem Zn-Al parçacıkların erime derecesi hem de kaplamanın yapışma gücünde artış görülmüştür. Kırık yüzeylerin gözlemi



sonucunda da Zn-Al kaplamaların 40 kW püskürtme gücü kullanılarak karbon lif demetleriyle iyi bağ yapabileceği kanısına varılmıştır [54].

Toygur ve arkadaşları karbon/epoksi kompozitlerinin kırılma tokluğunu araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada yaklaşık %60 lif hacim oranına sahip sekiz tabakalı dokuma karbon/epoksi kompozit materyalin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kırılma tokluğu değeri deneysel CMOD (crack mouth opening displacement) yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Deneysel araştırmalar SENT (single edge notch tension) numuneler kullanılarak oda sıcaklığında kompozitin kırılma tokluğu üzerine yapılmıştır. Sonlu elemanlar yazılım paketi ABAQUS ile dokuma karbon/epoksi kompozitin kırılma tokluğu değerinin elde edilmesi için bir 2-D modeli kullanılarak sonlu elemanlar çalışması yapılmıştır. CMOD yöntemi ile elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi (FEM) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma iyi uyum göstermiştir [55].

Suresha ve arkadaşları karbon lif takviyeli epoksi kompozitlerin sürtünmede normal yükleme ve kayma hızının etkilerini ve aşınma davranışlarını inceleyen bir çalışma yapmışlardır.  $[0^{\circ}/90^{\circ}]$  ve tek yönlü karbon/epoksi kompozitlerin sürtünme ve kuru kayma aşınma davranışları blok-silindir testi (block-on-roller) kullanılarak incelenmiştir. Kuru kayma aşınma deneyleri  $0^{\circ}/90^{\circ}$ , paralel ve anti-paralel yüzeylerde yapılmıştır. İki farklı yük ve çeşitli kayma hızları için kompozitlerin aşınma ve sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Kayma hız/yükteki artışla aşınma kaybının doğrusal arttığı görülmüştür. Ayrıca geleneksel tartım, sürtünme katsayısının belirlenmesi ve SEM elektron mikroskopuyla taranan aşınmış yüzey özelliklerinin incelenmesi tribolojik davranışlarını incelemek için yapılmıştır. Liflerin dezoryantasyonu, lif çatlağı, matris deformasyonu ve aşınma atık hasar mekanizması SEM altında gözlemlenmiştir. Kompozit aşınması karşı yüzey üzerinde materyal transferi ile birlikte olmuştur [56].

Papargyris ve arkadaşları tarafından mikrodalga ısıtma ve reçine transfer kalıplama tekniği birleştirilerek üretilen karbon lif/epoksi kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri geleneksel reçine transfer kalıplama tekniği ile üretilenlerle karşılaştırılmıştır. Mikrodalga işleme, mevcut kompozit üretim tekniklerinin geliştirilmesi, enerji gereksinimleri ve işletme maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılması için büyük potansiyele sahiptir. Mikrodalga ısıtmanın kullanımı sayesinde kür çevrim süresi %50 azalmıştır. Eğilme mukavemeti ve modülü her iki kompozitte de benzer değerler gösterirken

interlaminar kayma mukavemetinde (ILSS) artış görülmüştür. ILSS deki bu iyileştirme kür sürecinin ilk aşamasındaki reçine viskozitesinin düşürülmesine atfedilmiştir [57].

Davis ve arkadaşları nanotüp bilim ve teknolojisi kullanılarak karbon elyaf epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerindeki gelişmeleri inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Karbon elyaf takviyeli epoksi tabakalar iki ıslak kür devri tarafından izlenen ısıtılmış vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmiştir. %0,2, %0,3 ve %0,5 ağırlık yüzdelerinde fonksiyonel karbon nanotüpler (f-CNTs) ve florinin birleştirilmesiyle karbon elyaf takviyeli epoksi tabakalar hem gerilim-gerilim ( $R=+0,1$ ) hem de gerilim-sıkıştırma ( $R=-0,1$ ) devir yüklemesine maruz bırakılmıştır. Daha sonra çekme mukavemeti, sertlik ve mukavemetindeki gelişmeler incelenmiş ve düzenli (0,0 wt % CNTs) kompozit tabaka materyallerle karşılaştırılmıştır. Nanokompozit tabakaların gelişimi için 12 kat tabaka yatırmak için her saten dokuma karbon elyaf kumaş parçasının her bir kenarına yerleştirilmiş nanotüplere bir püskürtme teknolojisi uygulanmıştır. f-CNTs ler hem statik hem de döngüsel yükleme altında lif/kumaş-matris arayüz çatlaklarının değişimini ve delaminasyonu hafifletmek için epoksi reçine-lif arayüzünü sertleştirmiştir. Sonuç olarak karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit tabakalar için döngüsel yüklemeler nedeniyle hasar için direnç, sertlik ve çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerde önemli gelişmeler bulunmuştur [58].

Djordjevic ve arkadaşları farklı sıcaklık ve basınçta üretilen tek yönlü karbon lif/ epoksi matris kompozitlerinin makromekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karbon lifleriyle tek yönlü epoksi matris kompozitler bir kalıpta ticari prepreg Hexcel M39 sıcak presleme ile işlenmiştir. Farklı lif içerik ve yoğunluklarıyla test edilen numunelerin makromekanik özellikleri standart gerilim, bükülme, interlaminar kayma mukavemeti ve düzlem içi kayma mukavemeti testleri ile saptanmıştır. Testlerden elde edilen veriler literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır [59].

Tsotra ve arkadaşı yaptıkları çalışmada işlevsel olarak kademelendirilmiş epoksi reçine/karbon elyaf kompozitlerinin elektriksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada bir epoksi reçine içine karbon liflerinin kademeli dağılımını oluşturmak için santrifüj tekniği kullanılmıştır. Oluşturulan kademeli yapı değişken dönme hızı ve lif içeriği ve lif boy oranı gibi materyal bileşenlerinin belirli özellikleri tarafından kontrol edilebilir. Elektrik iletimi iki-nokta araştırma (two-point probe) metodu ile belirlenmiştir.

Merkezkaç kuvveti yönünde hacim içeriği ve elektrik iletim değeri karşılaştırılmış ve materyalin bu iki özelliği yakından ilişkili bulunmuştur [60].

Suresha ve arkadaşları yaptıkları çalışmada grafit dolgulu ya da dolgunsuz karbon/epoksi kompozitlerin mekanik ve üç-cisim aşınma davranışlarını (three-body abrasive wear) incelemiştir. Mekanik özellikler Universal test makinesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Üç-cisim aşınma testlerinde kuru ve gevşek aşındırıcı olarak 150-200 nm boyutlu kuvars parçacıkları kullanılmıştır. Üç-cisim aşınma testleri farklı yük/aşınma mesafeleri altında lastik tekerlek aşınma test cihazı (rubber wheel) kullanılarak yapılmıştır. Sonuçta aşınma mesafesi arttıkça aşınma hacminin arttığı tespit edilmiştir. Spesifik aşınma oranı ise aşınma mesafesi/yük ve dolgu yüklemesine bağlı olarak azalmıştır. Buna rağmen silanla işlenmiş grafit dolgunun varlığı karbon lif takviyeli epoksi kompozitlerde ümit verici bir eğilim göstermiştir. Ayrıca kompozitin aşınma hacmi sağlamlık, çekme mukavemeti ve uzama yüzdesi gibi mekanik özelliklerle ilişkilendirilmiştir. Aşınmış yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskopuyla incelendiği zaman grafit dolgulu karbon/epoksi kompozitleriyle karşılaştırılan karbon/epoksi kompozitlerde kırılan karbon lifleri sayısının daha fazla olduğu belirlenmiştir [61].

Bal karbon nanolif/epoksi kompozitlerin mekanik ve elektriksel özelliklerinin incelendiği bir çalışma yapmıştır. %1 ağırlığa kadar karbon nanoliflerin farklı içerikleri ile epoksi nano kompozitler oda sıcaklığında ve soğutulmuş kür şartlarında üretilmiştir. Kompozitlerin mekanik ve elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Eğilme modülü ve sertliği için kür şartları boyunca nanoliflerin agregatlarının önlenmesinden dolayı soğutulmuş numunelerde artış görülmüştür [62].

## **2.2. Karbon Lifi ve Cam Lifinden İmal Edilen Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Karşılaştırılması**

Wonderly ve arkadaşları yaptıkları çalışmada cam elyaf örme kumaşlardan ve karbon elyaf örme kumaşlardan vinilester reçinenin vakum infüzyonuyla üretilen kompozit plakaların çeşitli mekanik özelliklerini incelemiştir. Cam ve karbon kompozit numunelerinin çekme, basma, çentik ve balistik darbe dayanımları, enine çekme özellikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Karbon takviyeli kompozitlerin mekanik olarak daha

dayanıklı oldukları, eşit sıklıkta benzer çekme dayanımına sahip oldukları sonucuna varmışlardır [35].

Phua ve arkadaşları, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen, toplam elyaf oranı %40 olan ve farklı oranlarda karbon elyaf ve cam elyaf içeren hibrit polikarbonat kompozit plakalarının gerilme, eğilme direnci, darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Cam elyaf miktarındaki artışın hibrit kompozit plakalara karbon elyafa oranla daha yüksek dayanım verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca elektron tarama mikroskobu ile yapılan morfolojik analiz sonucunda karbon elyafın polikarbonat ile düşük lif-matris etkileşimi gösterdiğini bununda gerilme aktarma etkisini düşürdüğünü gözlemlemişler ve bu duruma karbon elyafın beklenenden daha düşük bir dayanım göstermesi olduğunu düşünmüşlerdir. Yüzey ve hacim elektrik öz direncinin karbon elyaf miktarının artmasıyla azaldığı bunun da karbon elyafın iletkenliği nedeniyle meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır [40].

Yusriah ve arkadaşları cam, karbon ve bazalt dokuma kumaş takviyeli vinilester kompozit malzemelerinin özgül mekanik özelliklerine ve termal özelliklerine delikli polimerik kürelerin etkisini araştırmışlardır. Kompozitlerin özgül eğilme ve darbe dayanımlarının delikli polimerik kürelerin ilavesiyle artış gösterdiğini fakat özgül eğilme modülünün azaldığını; vinilesterin termal stabilitesinin cam ve karbon dokuma eklenmesi ile arttığını fakat delikli polimer kürelerin ilavesiyle azaldığını gözlemlemişlerdir [41].

Mahieux 2001 yılında yaptığı çalışmada; karbon lif takviyeli termoplastiklerin volan malzemesi olarak efektif biçimde kullanabileceğini belirtmiştir. Volanlar kinetik enerjiyi dönen yapılarda depolayan malzemelerdir. Volanlar için temel amaç, mümkün olabilen yüksek dönüş hızlarına ulaşabilmektir. Bu da malzemenin dayanım / yoğunluk oranının yüksek olması ile mümkün olur. Tabi ki dönüş sırasında, dengelenmemiş kütlelerin neden olacağı titreşimlerin önlenmesi için boyutsal bütünlük de önemli bir özelliktir. Volanlar şerit halde lif sarım yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

Parçanın kalitesinin; sarım hızı, silindir basıncı, sıcaklık, ısı kaynağının sıcaklığı ve ısı kaynağının yapısı gibi birçok parametreye bağlı olduğu belirtilmiştir.

Bu yöntemle düz kesitli dairesel yapıların oluşturulmasında başarılı olunmuştur. Ancak daha kompleks şekilli yarı konik volanlarda (sarım açısı 1-2°) aksenal yönde yeterli dayanımın olmaması nedeniyle hata gösterdiği görülmüştür. Bu problemin çözülmesi için malzemeye farklı doğrultularda takviyelendirme yapılmalıdır. Tabi ki bu da farklı bir

üretim yöntemi kullanarak mümkün olur ki bu maliyeti artırmak anlamına gelmektedir [27].

Gabrys ve Bakis, volan için elastomer matris malzeme kullanmışlardır. Gelişmiş süneklığe sahip bu malzeme radyal gerilimleri sınırlamakta ve kalın duvarlı kompozit halkaların yapılmasını mümkün kılmaktadır [32].

Tezvergil ve arkadaşları Lif Takviyeli Kompozitlerin (LTK'ların) ısıl genleşme ve boyutsal değişimlerini incelemiştir. Bu özelliklerin, lif oryantasyonu, LTK malzemenin türü ve polimerizasyon şartları ile olan ilgisini araştırmıştır. Sonuçlar; 37-67°C arasında lineer ısıl genleşme katsayısında düzenli bir artış olduğunu göstermiştir. Yapılan varyans analizi sonucunda lif tür ve oryantasyonunun, 37-67°C sıcaklık aralığında, lineer ısıl genleşme katsayısı üzerinde etkinliğinin olduğu ortaya konulmuştur. ( $P < 0.001$ ) Etkin faktörler arasında bazı etkileşimler de mevcuttur. Ayrıca 110-150°C sıcaklık aralığının da kür işlemi, lifin tür ve oryantasyonuna bağlı olarak lineer ısıl genleşme katsayısı üzerinde etkisi olduğu belirtilmiştir [33].

Suresha ve arkadaşları, karbon epoksi kompozitler ile cam epoksi kompozitlerin aşınma ve sürtünme özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Karbon epoksilerin cam epoksilere göre daha düşük sürtünme ve daha az kayma aşınması kaybı gösterdikleri sonucuna varmışlardır [39].

Zenasni ve Saadi, saten cam elyaf dokuma ve saten karbon elyaf dokuma kompozit malzemelerinin tabakalar arası çatlak dayanımına nemin etkisini ele almışlardır. Kompozit malzemeleri %95 nem, 70°C sıcaklık ve iklimleme odalarında 30, 60, 120, 180 gün bekleterek testleri gerçekleştirmişler. Sonuç olarak saten kumaşlarda çatlak davranışında azalma olmasının çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır [42].

Sookay ve Klemperer, epoksi matrisli kompozitlerin çevresel etkenler karşısında bozunma durumunu test etmişler ve ultraviyole ışınlarının yoğun olduğu bölgelerde, liflerin ve matris malzemenin yoğun şekilde bozunduğu tespit edilmiştir. Ultraviyole ışınlar; sıcak ve nemli iklimlerde tabakalı kompozitlerin yüzey tabakasındaki bozunmaların bir sebebi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yağışlar nedeniyle hidro-termal gerilimlerin kompozit malzeme üzerinde oluşmasıyla çatlaklar meydana gelmekte ve dayanımı düşürmektedir [28].

Singh ve ark. (1991)'nın bildirdiğine göre, hidrotermal etkenler nedeniyle kompozit malzemelerde oluşan dayanım kayıpları, lif hacimsel oranının yüksek olduğu tabakalarda, lif hacimsel oranının düşük olduğu tabakalara kıyasla daha fazla olmaktadır [29].

Metallerin aksine, kompozit malzemelerin, epoksi mafsallara yapışması, suyun varlığında pozitif kalır. Böylece, zamanla ara yüzeyde oluşabilecek hata ihtimalini azaltır [30].

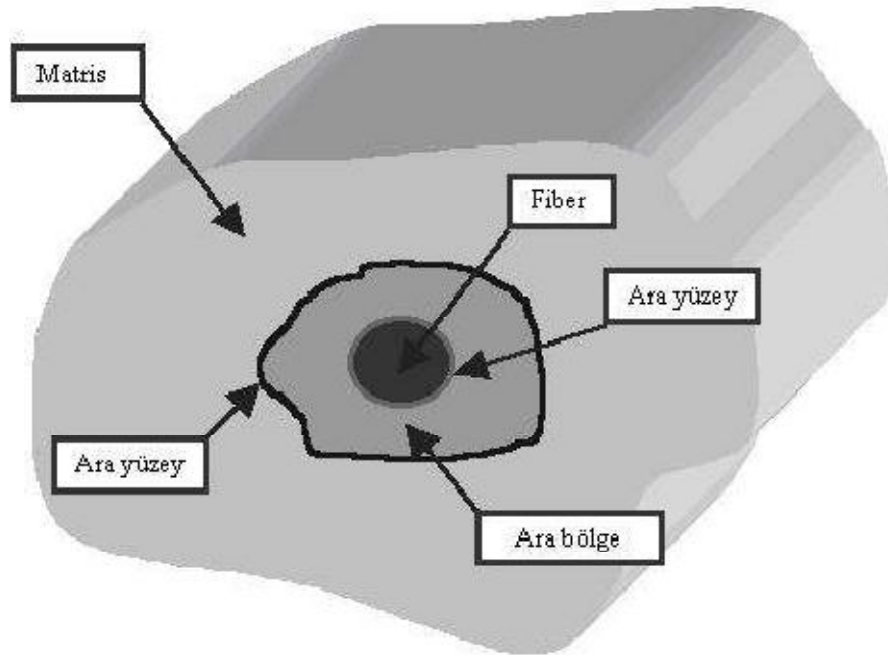
Sıcaklık ve nem de matris malzemenin mekanik özelliklerini etkiler ve lif matris ara yüzeyi nem varlığında zayıflayabilir [31].

Bu faktörler şunu göstermektedir ki; kopma şekilleri ve malzemenin yorulma davranışı, etkili şekilde kompozit mafsallara sistemine bağlıdır.

### 3. KOMPOZİT MALZEMELER

#### 3.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihçesi

Malzemeler genellikle metaller, seramikler ve organik malzemeler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Bu grupların birbirlerine göre üstün ya da dezavantajlı özellikleri bulunmaktadır. Avantajlı yönleri bir arada toplayıp ideal bir malzeme elde etmek amacıyla, aynı ya da farklı gruplardan iki ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde bir birleşim yapılır. Bu birleşim sonucu oluşan malzemelere “kompozit malzemeler” denmektedir [1, 5].



Şekil 3.1. Kompozit malzeme mikro yapısının şematik gösterimi [5]

Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur.

**Faz:** Bir malzemenin içyapı yönünden farklı olan kısımlarına denir.

Bu faz iki tür bileşimle sağlanabilir:

1- Mikroskobik

2- Makroskobik

Mikroskobik bileşim: Örneğin perlit çeliği, ferrit ve sementitin mikroskobik düzeyde homojen karışımlarından oluşur. Tek başına ferrit yumuşak ve düşük mukavemetli olup sert ve gevrek sementit ile birlikte yan yana ince tabakalar halinde dizilmek suretiyle yüksek mukavemetli ve yüksek tokluğa sahip perlit çeliğini oluştururlar.

Makroskobik bileşim: Boyutları 0,1 mm' nin üzerinde gözle görülebilirler. Sonradan bir araya getirilerek üstün özelliklerdeki kütleleri oluştururlar.

Asfalt viskoz ve düşük mukavemetlidir. Taş ise sert ve gevrek. Kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlayarak kolayca kırılabilirler. Farklı boyutlardaki kırma taş ile asfaltın birleşerek hem sünek hem de yeter mukavemetli olan yol kaplaması malzemesini oluştururlar.

Tungsten karbür (WC) taneciklerinin CO metali ile yüksek sıcaklıkta basınç altında sinterlenmesi sonucu elde edilen kompozit çok sert olup yüksek hızlı kesme takımı üretimine elverişlidir. Uygulamada bunlara SERMET denir. Uygulamada en önemli kompozitler lifli olanlardır. Liflerin çapları yaklaşık 0,1mm civarında olup tek başına kullanılmazlar. Kalınlıkları arttığında kusur oluşma olasılığı nedeniyle mukavemetleri çok azalır. Bu lifler uygun bir malzemeyle istenen boyutta taşıyıcı kütlelere dönüştürülür. Bu bağlayıcı malzeme polyster ve epoksidir. Uygulamada donatı malzemesi olarak kullanılan liflerin çoğu kuvvetli kovalent bağa sahiptir. Aynı amaçla kullanılan metal liflerin mukavemeti de soğuk çekme ile artırılmaktadır. Lifler yönlenmiş veya rastgele dağılmış olabilir. Yönlenmiş lifler doğrultusunda mukavemet doğal olarak yanıl doğrultudan çok daha büyük olur. Pekiştirici liflerin miktarı artıkça kompozitin mukavemeti de yükselir. Yönlenmiş liflerde bu oran hacmen %80, rastgele yönlenmişlerde ise %40-50 arasında kalır [15].



Günümüzde gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen her alanda çok yaygın bir kullanımı bulunan kompozit malzemelerin ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır.

Çok bileşenli malzemenin ilk örnekleri, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlandığı, malzeme kullanımının ikinci aşaması olarak tanımladığımız evrenin başlarında görülmektedir [1].

En tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve "fiberglas" olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak bugün ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahiptirler.

İlk modern sentetik plastiklerin 1900'lerin başında geliştirilmesinin ardından, 1930'ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Bir çok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir [7].

Kavram olarak lif takviyeli kompozitler, milattan önce 800 yıllarında İsraililer tarafından samanın tuğlaya takviye olarak kullanılmasından bu yana mevcuttur. 1930'larda çimentoya kesikli cam elyaf takviyesi ile LTK'lerin kullanımı ABD' de mevcuttu [23].

Organik matrisli kompozitler, havacılık sektörüne gerekli özgül dayanım ve rijitliği sağlamak için üretilmiştir. Ayrıca bu kompozitler alüminyum gibi havacılık endüstrisinde var olan alaşımların korozyon sorununa da bir çözüm getirmiştir. Savaş sonunda cam elyaf takviyeli plastikler roket motorlarında kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca cam takviyeli plastiklerin değişik uçak prototiplerinde kullanımında başarı göstermişlerdir. 1950'li yıllarda bu malzemelerin kullanım alanları genişlemeye başlamış, yapısal özellikleri ve korozyon direncinde gelişmeler sağlanmıştır. 1960'lı yıllarda spor ekipmanlarında ticari uygulamaları ile pazarı daha da genişlemiştir. Bu genişlemeyle tasarım ve üretim özellikleri artmış, fiyatlarında düşüşler sağlanmış ve tüketici tarafından güvenilmeye ve tanınmaya başlamıştır. Soğuk Savaş döneminde savunmaya yönelik yeni ileri teknolojik

materyaller için yeterli kaynaklar sağlanmış ve uygulamalar için bir pazar oluşturulmuştur. 1970'lerde enerji krizi sırasında ticari havacılığa organik matrisli kompozitlerin tanıtımı için önemli teşvikler sağlanmıştır. Bu dönemde yüksek performanslı karbon liflerinin kullanılmasıyla yapısal özelliklerde büyük artışlar meydana gelmiştir. Karbon elyaflarının üretilebilirliğinin gelişmesiyle organik matrisli kompozitlerin askeri ve ticari havacılık alanında kullanımı önemli bir artış göstermiştir. Son 30 yılda organik matrisli kompozitler, havacılık ve uzay sanayinde önemli bir yer edinmiştir [2].

### 3.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerden başlıcaları,

- Mekanik dayanım,
- Basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısı direnci,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnci,
- Akustik iletkenlik,
- Ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm

vb. özellikler şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, böylelikle malzemenin birim maliyeti de dolaylı olarak düşürülebilmektedir [1].

Kompozit malzemelerin özellikleri;

- Bileşenler,
- Bileşenlerin dağılımı,
- Bileşenler arasındaki etkileşim faktörlerinden büyük ölçüde etkilenmektedir.

Kompozit malzemelerin özellikleri, bileşenlerin özelliklerinin hacimsel oranları toplamı olabilir yada bileşenler birbirini sinerjik bir şekilde etkiler ki bu durumda elde edilen kompozit malzemenin özellikleri, basit bir şekilde; bileşenlerin özelliklerinin hacimsel oranlar toplamı ile elde edilemez. Bu nedenle kompozit malzemeyi bir sistem olarak tanımlarken, bileşenleri ve bileşenlerin özelliklerini belirtmenin yanı sıra, takviyenin geometrisinin de sistem için bir referans olarak belirtilmesi gereklidir. Takviyenin geometrisi, şekil, boyut, boyut dağılımı ile tanımlanabilir [10].

### **3.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları**

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir.

**Yüksek Mukavemet:** Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

**Kolay Şekillendirebilme:** Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kaplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

**Elektriksel Özellikler:** Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi

bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

**Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet:** Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

**Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı:** Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

**Kalıcı Renklendirme:** Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

**Titreşim Sönümlendirme:** Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bu özelliklerin hepsi bir anda sağlanamaz. Kullanılacak yere ve gerekli özelliğe göre bir veya birkaç özellik bir malzeme de bulunabilir. İstenen özelliğin elde edilebilmesi için uygun matris ve takviye elemanı, uygun üretim tekniği, bileşenlerin özellikleri gibi faktörlerin seçimine dikkat edilmelidir [8].

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

- Kompozit malzemelerin üretimi oldukça güç ve maliyetleri yüksektir.
- İşlenmesi zor olmakta ve gerekli yüzey kalitesi tamamen elde edilememektedir.
- Kırılma uzaması özellikleri düşüktür.
- Geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir [8].

Ayrıca metallere kıyasla malzeme yorulması, malzeme üzerinde hasarların tolöre edilmesi ve korozyona dayanıklılık özellikleri bakımından avantaj sağlamaktadır. Tüm bu faydalarına rağmen kompozitlerin tamamıyla metalin yerine geçmemesinin dört ana sebebi vardır.

1. Titanyum ve çelik gibi metallerin bazı uygulamalarda ihtiyaç duyulan kritik düzeyde ısı, mekanik özellikleri günümüz kompozitleri karşılamamaktadır.
2. Yeni geliştirilen matris malzemelerle, elyafların tüm karakteristik özellikleri metaller kadar bilinmemektedir.
3. Bazı karmaşık biçimler düşük maliyetler çerçevesinde üretilememektedir.
4. Kompozitler kg başına düşen üretim maliyeti rakamları metallere, özellikle alüminyum, daha yüksektir [4, 7, 14].

### 3.4. Kompozit Malzemenin Kısımları

Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar:

**Matris Malzemeleri**: Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi

olmaksızın bir elyaf demeti düşünülduğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlendirmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlakın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler [15].

Matris malzemeler termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak polyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester/ bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır.

Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımını görmekteyiz (yaklaşık % 68.3), bunların yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polieterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir.

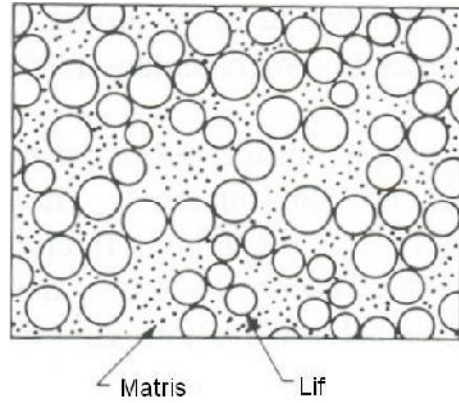
**Takviye Elemanı (Donatı):** Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun devamlı elyaf formunda kullanıldığı ve matriksi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir.

**Katkı Maddeleri:** Dolgular, kimyasallar ve diğer katkıları matrikse niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler [4, 7].

Genel olarak kompozit malzemelerde matris sünek, hafif ve düşük dayanımlı, donatı ise rijit, yüksek dayanım ve sertliğe sahip olmaktadır. Kompozit üzerindeki yükün

takviye elemanına iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanı ve matris arasında herhangi bir kimyasal bağ olmadığından kompozit üzerindeki mekanik etki kayma kuvvetiyle iletilmektedir. Dolayısıyla iki faz arasında meydana gelebilecek kayma gerilmelerine dayanabilecek düzeyde bir aderansın bulunması gerekmektedir. Ayrıca takviye elemanının fazı taşımaya tam olarak katılabilmesi ve dolayısıyla kompozitin amaçlanan özelliklere uygun olması takviye malzemesinin E-modülünün matrisin E-modülünden çok daha yüksek olmasına bağlıdır [8, 9].

Kompozit bir plakanın kesit görünüşüne baktığımızda liflerin ve matris malzemenin durumu Şekil 1.1.'deki gibidir.



Şekil 3.2. Kompozit malzemenin kesit görüntüsü [10]

Burada liflerin ve matrisin hacimsel oranı;

**Af** : liflerin toplam kesit alanı

**Am** : matrisin toplam kesit alanı

**Ac** : Toplam alan

**Vf** : Lif yoğunluğu

**Vm**: Matris yoğunluğu

$Ac = Af + Am$  olduğundan,

$$Vf = Af / Ac \dots\dots\dots(1.1)$$

$$Vm = Am / Ac \dots\dots\dots(1.2)$$

lif ve matris malzemenin hacimsel oranları olarak tanımlanır.

Bir bileşenin kompozit malzeme özelliklerine olan katkısı, bu hacimsel oran parametresi ile belirlenir. Konsantrasyon, genelde kompozit malzeme özelliklerini en çok

etkileyen parametre olarak sayılmaktadır. Aynı zamanda, kompozit malzemenin özelliklerini değiştirmek için kolaylıkla kontrol edilebilen bir üretim değişkenidir.

Konsantrasyon dağılımı, sistemin homojenliği ve üniform olusunun bir ölçüsüdür. Bir bileşenin kompozit malzeme özelliklerine olan katkısı, bu hacimsel oran parametresi ile belirlenir. Konsantrasyon, genelde kompozit malzeme özelliklerini en çok etkileyen parametre olarak sayılmaktadır. Aynı zamanda, kompozit malzemenin özelliklerini değiştirmek için kolaylıkla kontrol edilebilen bir üretim değişkenidir [10].

Konsantrasyon dağılımı, sistemin homojenliği ve üniform olusunun bir ölçüsüdür. Homojenlik, örnek bir hacimdeki fiziksel ve mekanik özelliklerin, malzemenin ortalama değerlerinden farklılığının boyutunun belirlenmesinde önemli bir faktördür. Üniform olmayan bir sistemden kaçınılmalıdır. Çünkü bu özellikler malzemedeki en zayıf bağlar tarafından belirlendiğinden, düşüşler görülmektedir. Örneğin üniform olmayan bir malzeme hatalar en düşük dayanıma sahip bölgelerde başlamaktadır ki, bu da malzemenin toplam dayanımını etkilemektedir [23]

### **3.4.1. Kullanılan Matrisler ve Genel Özellikleri**

Polimerler (termosetler ve termoplastikler), metaller ve alaşımları ve seramikler matris malzemesi olarak kullanılabilirler.

#### **3.4.1.1. Metal Matris Malzemeleri**

Metallerin matris malzemesi olarak kullanımı çok ince lifler olan whisker üretimi ile başlamıştır. Günümüzde düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özellikler gösteren hafif metaller ve alaşımları tercih edilmektedir. Alüminyum ve alaşımları, bakır, titan, nikel, gümüş gibi metaller matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu metaller ergimiş halde, moleküler yapıda veya ince tabaka halinde olabilir [8, 9].

Metal matrisler kompozitin tokluğunu ve sıcaklık dayanımını artırır. Korozyona karşı dayanımları iyidir. Polimer matris malzemelerine göre de elastik modül ve dayanımları oldukça yüksektir. Bunun yanı sıra üretimleri zor ve maliyetlidir. Ayrıca üretim esnasında fazlar arasında elektro-kimyasal etkileşim ya da fazlardan birinin korozyona uğraması gibi sorunların ortaya çıkmaması gereklidir. Örneğin alüminyum



alaşımı matris ile karbon elyaf kullanımı iki faz arasında galvanik korozyona neden olmaktadır. Bu nedenle karbon elyaf yüzeyi nikel ya da gümüşle kaplanmaktadır [8, 9].

### 3.4.1.2. Polimer Matris Malzemeleri

Plastikler olarak da bilinen polimerler monomer adı verilen kimyasal ünitelerden meydana gelen zincir şeklinde yapısı olan sentetik malzemelerdir. Kolay işlenebilme ve hafiflik özelliklerinden dolayı oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Karmaşık geometrik parçaların fazladan işleme ihtiyaç duyulmadan kalıplanabilmesi,
- Metal ve seramik matris malzemelerine göre dayanım/yoğunluk oranının yüksek olması,
- Yüksek korozyon direnci ve düşük ısıl ve elektrik iletkenliğine sahip olması,
- Çalışma sıcaklıklarının düşük olmasından dolayı üretimde daha az enerji harcanması,
- Bazı plastiklerin ışığı yansıtması ve saydam olması,
- Maliyetlerinin düşük olması

Dezavantajları ise:

- Dayanımlarının metal ve seramik matris malzemelerine oranla düşük olması,
- Elastik modüllerinin düşük olması,
- Servis sıcaklığının düşük olması,
- Visko-elastik özellikler göstermesi sebebiyle sınırlı yükleme şartlarının olması olarak sıralanabilir [8].

Polimerler içyapılarına göre 3 gruba ayrılırlar:

1. Termoplastikler
2. Termosetler
3. Elastomerler

### 3.4.1.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler sentetik polimerlerin yaklaşık %70 ini oluşturmaktadırlar. Termoplastiklerde zincirler birbirlerine zayıf Van der Waals bağları ile bağlıdır. Dolayısıyla rijit bir yapıları yoktur. Termoplastikler düşük mukavemet ve sertlik değerlerine sahiptirler, ergime sıcaklıkları üzerinde viskoziteleri yüksek oranda düşerek akışkan hale gelirler. Sıcaklık etkisiyle yumuşayıp soğutulunca eski hallerine dönebilirler. Bu özellikleri nedeniyle şekillenmeleri daha kolay ve ekonomik olur. Termoplastikler kristalin veya amorf yapıda olabilirler.

Özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yoğunlukları düşüktür. ( Tipik özgül ağırlıkları  $1,2 \text{ g/cm}^3$  )
- Rijitliği, çekme dayanımı ve sertliği düşüktür.
- Sünekliği yüksektir.
- Termal uzama katsayıları metallere göre yaklaşık 5, seramiklerden ise yaklaşık 10 kat fazladır.
- Termal iletkenlikleri düşüktür.
- Ergime sıcaklığı düşüktür.
- Kimyasal etkilere karşı direnci düşüktür.

Tipik olarak kullanılan termoplastikler Asetal, Acrylonitrile-Butadiene-Styren (ABS), Selüloz, Politetrafloroetilene (PTFE), Poliamid (PA), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Naylon 6.6, Polistiren (PS) ve Polipropilen (PP)'dir [8, 9, 13].

**Asetal:** Formaldehitten hazırlanır. Yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptir. Bazı otomotiv parçaları, kapı kolları gibi ürünlerin imalinde kullanılır.

**Akrilik ( Polimetilmetaakrilat PMMA):** Şekilsizdir. Otomobil kuyruk ışığı lensleri ve uçak camlarında kullanılır.

**Politetrafluorethylene (PTFE):** Teflon olarak da bilinen PTFE çevresel ve kimyasal etkilere karşı dirençlidir. Elektrik ve ısı direnci iyidir. Yağlanamayan parçaların üretiminde ve gıda sanayinde kullanılır.**Poliamid (PA):** Sert ve dayanıklı olan

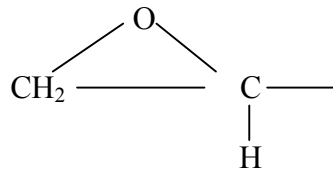
poliamidlerin birçok çeşidi vardır. Naylon 6 ve naylon 6.6 olarak da bilinen poliamidlerin elastik modülleri yüksektir ve bu poliamidler dayanıklıdır. Dişli, yatak gibi parçaların üretiminde metallerin yerine kullanılabilirler [8].

### 3.4.1.2.2. Termosetler

Monomer moleküllerin kimyasal reaksiyonlar sonucu yanal bağlarla bağlanmasıyla oluşan termosetler kovalent bağlara sahip oldukları için üç boyutlu ve rijit bir yapıya sahiptirler. Termoplastikler gibi tekrar ısıtılıp yumuşatılmaları ve şekillendirilmeleri mümkün değildir. Ama dayanımları termoplastiklere göre daha yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda direncinin düşmesi, düşük mekanik özellikler göstermesi, düşük ısıl genleşme ve elektrik iletkenliği özelliği ve kısa ömürlü olması dezavantajları sayılabilir [8, 9]. Epoksi reçine, fenolik reçine, silikon, polyester bu gruba girmektedir.

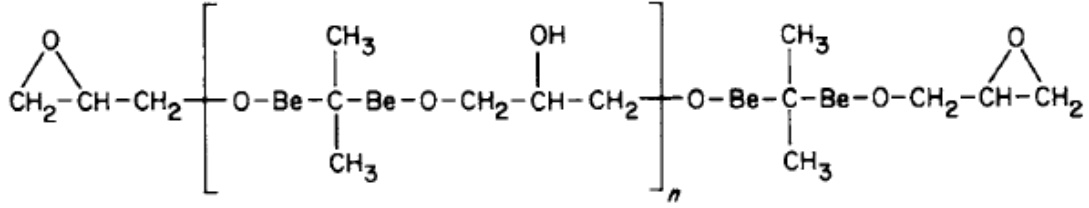
### Epoksi Reçine

1930'ların sonunda bifenol A ve epiklorhidrinin reaksiyonu ile ilk reçineli ürünler sentezlenmiştir. 1947 de ticarileştirilmiş ve 1950-1970 yılları arasında da yeni tipleri üretilmiştir. Genel terim olarak epoksi hem baz reçineleri (termoplastik, sertleşmemiş) hem de çapraz bağlı plastikleri (termoset, sertleşmiş) kapsar. Epoksi epon, epi-rez ve araldite gibi ticari isimlere sahiptir. Epoksi reçine her molekülde iki ya da daha fazla epoksit grupları tarafından karakterize edilmiştir. Bir epoksit grubunun kimyasal yapısı aşağıdaki gibidir [4].



Şekil 3.3. Epoksit grubunun kimyasal yapısı

Çoğu ticari epoksi reçinenin genel kimyasal yapısı şu şekildedir:

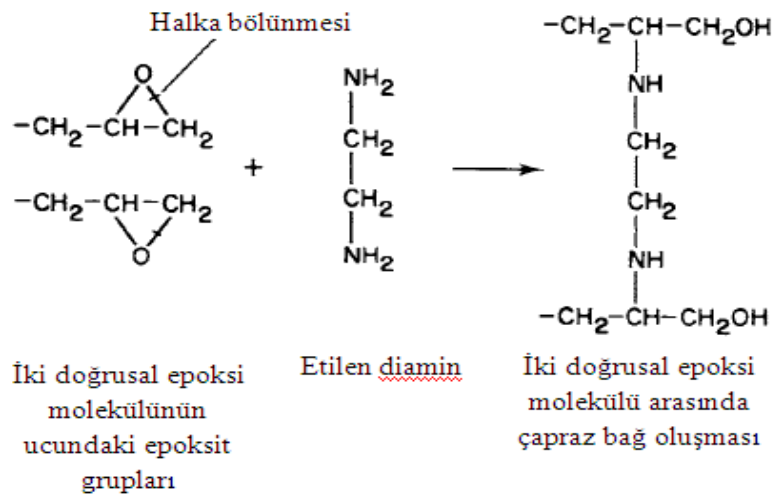


Şekil 3.4. Epoksi reçinenin genel kimyasal yapısı

**Be:** Benzen halkası. Sıvı reçineler için n genellikle 1 den az, katı reçineler için 2 ya da daha fazladır.

Bu reçineler sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında fırınlama ile (70 – 90 derece) belli bir sürede sertleşir ve plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri [15], mükemmel mekanik dayanıklılığa, yüksek dielektrik direncine, iyi boyutsal kararlılığa, kimyasal ve ısı dirence sahip olmaları [4] ve hava şartlarından etkilenmemeleridir. Depolanma süreleri oda sıcaklığında 24 aydır [15].

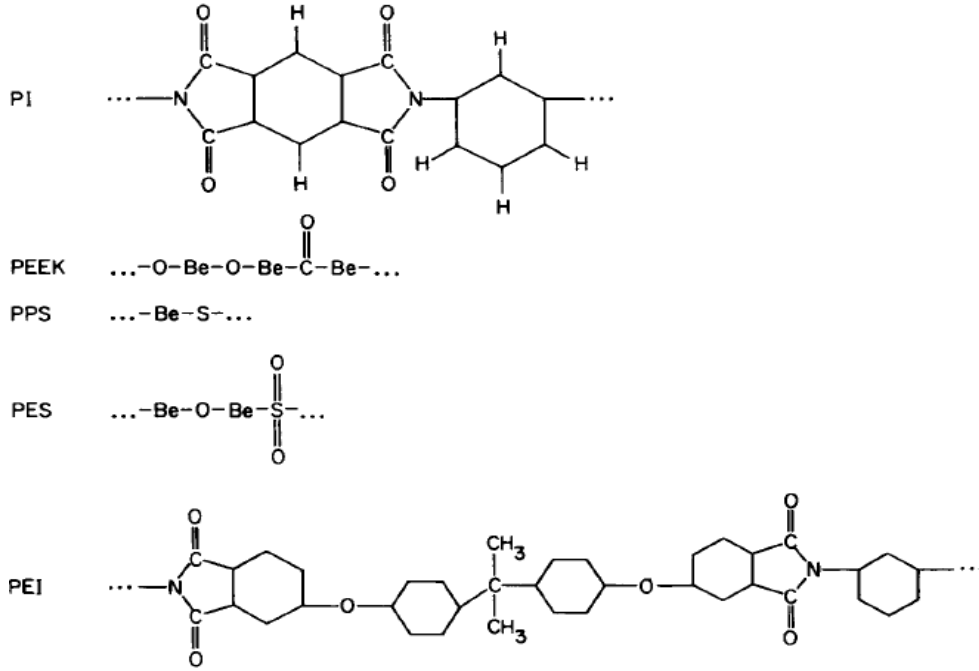
Bir epoksi reçinenin küründe bir çapraz bağlı ajan ve/veya bir katalist gerekir. Oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta kür edilerek son ürün haline dönüştürülür. Epoksi ve hidroksil grupları (-OH) çapraz bağlar için reaksiyon merkezidir. Çapraz bağ ajanları amin, anhidrid ve aldehid kondensasyon ürünleri içerir. Kür reaksiyonunda epoksi halkaları açılır (halka bölünmesi olarak adlandırılır) ve bir verici hidrojen den bir amin ya da hidroksil grup epoksit grubunun oksijen atomlarıyla bağlanır.



Şekil 3.5. Epoksit gruplarının etilen diaminle çapraz bağ oluşturması

Etilen diamin bir çapraz bağ ajanı olarak çalışan bir amindir. İşlem süresince yan ürün oluşmaz, fire düşüktür.

Karbon lifleri için kullanılan tipik termoplastik reçinelerin tekrarlanan üniteleri aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 3.6. Karbon lifleri için kullanılan tipik termoplastiklerin tekrarlanan üniteleri [4]

Yukarıdaki termoplastiklerin özellikleri Şekil 3.7.'de listelenmiştir.

	<b>PES</b>	<b>PEEK</b>	<b>PEI</b>	<b>PPS</b>	<b>PI</b>
Tg (Camlaşma Sıcaklığı °C)	230	170	225	86	256
Bozulma Sıcaklığı (°C)	550	590	555	527	550
İşlem Sıcaklığı (°C)	350	380	350	316	304
Çekme Mukavemeti (MPa)	84	70	105	66	138
Elastisite Modülü (GPa)	2,4	3,8	3	3,3	3,4
Esneklik (% Uzama)	30-80	50-150	50-65	2	5
Izod Darbe (ft lb/in.)	1,6	1,6	1	<0,5	1,5
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,37	1,31	1,27	1,3	1,37

Şekil 3.7. Karbon lifleri için kullanılan tipik termoplastiklerin özellikleri

Epoksiler 30-100 MPa gerilme direncine, 2,8-3,4 elastisite modülüne, %0-6 süneklik ve 1,25 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle epoksiler PES, PEEK ve PEI dan daha kırılğandır. Genelde yarı kristal termoplastiklerin sünekliğı artan kristallilikle azaltılır. Örneğın PPS nin sünekliğı kristalliliğine bağılı olarak %2-20 aralığında değışebilir. Termoplastikler ve epoksiler arasındaki diğerk büyük fark termoplastiklerin yüksek işleml sıcaklıklarıdır (300-400 °C) [4].

Isıl işleml görmemiş epoksiler düşük polimerizasyon derecesine sahiptir. Isıl işleml görmüş epoksilerin ise dayanımı, ısıl ve kimyasal dirençleri yüksektir. Yapışma özelliğı iyidir. Sertleşme sonunda hiçbir yan ürün meydana getirmeden mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri çok iyi olan kompozit üretimine olanak sağlarlar. Sertleşme esnasında %1-2 oranında çekme gösterir ki bu da uygulamada sıfır düzeyine çekilebilir. Epoksi reçineler birçok fiber çeşidi ile çok iyi bağı oluştururlar. Elektronik uygulamalarda, laminat ve döküm uygulamalarında kullanılır [4, 7].

### **Fenolik Reçine**

Fenol formaldehit kondenzasyon ürünü olup, bu ham maddelerin bazen türevlerinde kullanılmaktadır. Katı ve sıvı türleri vardır. Yurdumuzda sıvı reçine üretimi vardır [15]. Isı stabiliteeri, elektriksel özellikleri iyidir. Kimyasal ve boyutsal kararlılığı iyidir. Viskozitesi yüksektir ve gözenek oluşturma tehlikesi vardır. Baskı devre plakalarında, fren balatalarında kullanılır.

### **Silikon**

Termoset silikon çapraz bağıdır. Mekanik özellikleri düşük olmasına rağmen 250 °C ye kadar dayanıklıdır. Maliyetinin yüksek olmasından dolayı kullanımları kısıtlıdır. Boyama, parlatma, kaplama ve laminatlarda kullanılır [4, 8, 9]. Fakat kür işleml için yüksek ısı gereklidir [7].

### **Furan Reçineleri**

Kimyasal dayanımları iyidir. Laminat yapı malzemelerinde ve havalandırma kanallarında kullanılabilir [9].

## **Üretan Reçineleri**

Bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyidir.

## **Polyester Reçineler**

Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Katı poliesterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır [15].

Polyesterler bağ durumuna göre termoset ya da termoplastik olabilirler. Elyaf takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemeleridir. Doymuş ve doymamış polyester olarak 2 gruba ayrılabilirler. Doymuş polyesterler termoplastik özellik gösterirler. Doymamış polyesterler ise uygun bir katalizör vasıtasıyla yapı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir.

Polyesterlerin mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri iyidir. Tasarım kolaylığı sağlamaları ve ekonomik olmaları nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Tekstil, elektrik, fotoğraf film, manyetik bant ve otomotiv ve uçak endüstrisinde kullanılırlar [7, 8, 9].

Kompozit malzemelerde kullanılan 2 tür polyester reçine vardır; daha ekonomik olan ortoftalik ve suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahip olan isoftalik polyester. Polyester reçinelerini polimerizasyon süreçlerinin tamamlaması için katalizör ve hızlandırıcı olarak adlandırılan ek maddelere ihtiyaç duyarlar. Türkiye’de Cam Elyaf A.Ş.’nin yanı sıra Boytek Reçine, Boya ve Kimya Sanayi Ticaret A.Ş. gibi firmalar da genel amaçlı kullanımlar için polyester üretmektedir. Reçinelerin avantajları; kolay kullanım ve çok düşük maliyetli olmasıdır( 0.5 – 1 \$/kg) dezavantajları ise; sertleşme sırasında yüksek oranda çekme,zehirli sitiren gazı yayma,orta mekanik özellikler ve kısa raf ömrüdür [7].

## **Vinil ester**

Son derece yüksek kimyasal ve çevresel dayanıma sahip ve polyesterden daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmasına karşın aşırı sitiren içermesi, polyesterden daha

pahalı olması (4-7 \$/kg),iyi özellikler için ikincil kür işlemlerine ihtiyaç duyulması ve sertleşme sırasında yüksek oranda çekmesi gibi olumsuz özellikleri de vardır.

### **Bismaleimid (BMI)**

Uçak motorlarında ve yüksek ısıya maruz kalan parçalarda kullanılır.Son derece yüksek ısı dayanımının yanı sıra (yaşken 230°C, kuru halde 250°C) çok yüksek maliyeti vardır(80 \$/kg)

### **Fenolikler**

Ateşe dayanım ihtiyacı olan yerlerde kullanılır. Kür işleminin buharlaşma özelliği hava boşlukların oluşmasına ve yüzey kalitesinin düşmesine neden olur. Uçakların iç bölümlerinde, deniz araçlarının motorlarında ve demiryollarında kullanılır. Avantajları Yüksek ateş dayanımı, düşük maliyet (4 – 8 \$/kg);dezavantajları ise yaş halde son derece zararlı olması oldukça kırılgan ve düşük yüzey kalitesine sahip olmasıdır.

### **Cynate Ester**

Esas olarak uçak endüstrisinde kullanılır. Mükemmel yalıtkanlık özelliğine sahiptir. Yaş durumunda 200°C' ye kadar dayanımı vardır.

### **Poliimidler**

Organik reçineler arasında en fazla ısıl stabiliteye sahip olan türdür. 127°C'den başlayarak, 316°C'ye kadar kullanılan poliimid reçine türleri üretilmektedir. Bu malzeme ilen üst seviyede ısıl stabilitenin sağlanabilmesi için kalıplama 300°C'de, son kür ise 400°C'de yapılmaktadır. Bu malzemenin su emişi fazladır ve fiyatı da epoksi reçineye göre daha yüksektir.

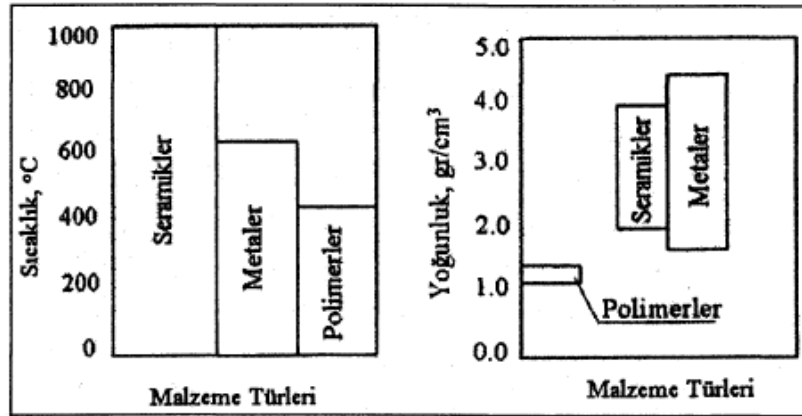
### **3.4.1.2.3. Elastomerler**

Elastomerler çapraz bağlı uzun zincir moleküllerinden oluşurlar. Çok düşük gerilmelerde bile büyük elastik deformasyona uğrayabilirler. En yaygın kullanılanı kauçuktur.



### 3.4.1.3. Seramik Matris Malzemeleri

Seramikler metal ve metal olmayan malzemelerden meydana gelen inorganik bileşiklerdir. Doğada kayaların parçalanması sonucu oluşan kil, kaolen gibi maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilirler. Gevrek olduklarından çekme dayanımları düşük, basma dayanımları yüksektir. Silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sıkça kullanılan seramik malzemelerdir. Endüstriyel fırınlar, tuğla, beton, elektronik ve optik araçlarda kullanılır [8].



Şekil 3.8. Matrislerin sıcaklık dayanımı ve yoğunluklarının karşılaştırılması [8].

### 3.4.2. Takviye Olarak Kullanılan Elyaf lar

Elyaf takviyeli karma malzemelerde, elyafın birinci işlevi yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği arttırmaktır. Bir malzemenin elyaf olarak adlandırılabilmesi için :

- Uzunluk/ en ortalama boyut en az 10/1
- En büyük kesit  $\leq 0,05 \text{ mm}^2$
- En büyük genişlik  $\leq 0,25 \text{ mm}$  koşulları verilmiştir.

Sürekli elyaf, fitil veya filament olarak da adlandırılır. Metal lifler içinse tel adı da kullanılır. Bir elyafın kesitinde, genişlik/ kalınlık oranı 4:1 ise, şerit adı verilir.

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojiye kullanılan

en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, *elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri* aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

- Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
- Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
- Elastite modülünün çok yüksek olması [15].

#### Takviye Olarak Kullanılan Elyaflar:

1. Doğal elyaflar (yün, pamuk, ipek gibi. Artık yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır.)
2. Sentetik, organik elyaflar; Naylon, aramid (Düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır.)
3. Sentetik inorganik, elyaflar; Cam, karbon, boron vb.

Cam, karbon, aramid, bor, polietilen, poliamit, poliester, polipropilen takviye malzemesi olarak en çok kullanılan liflerdir.

En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları; Cam elyafı+polyester, karbon elyafı+epoksi ve aramid elyafı+epoksi birleşimleridir [8, 9, 14].

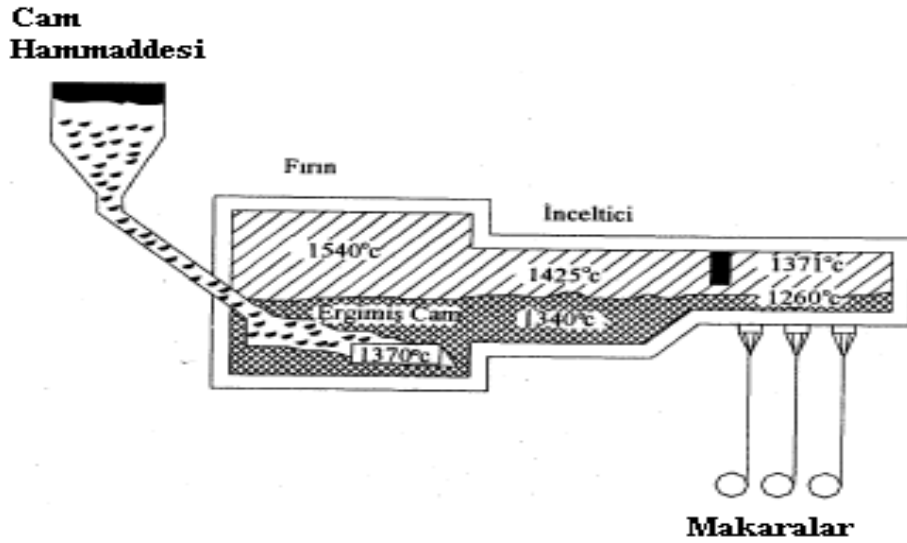
#### **3.4.2.1. Cam Lifleri**

Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır.

Cam lifleri başta silis kum ( $\text{SiO}_2$ ) olmak üzere sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlenmesiyle elde edilirler [15].

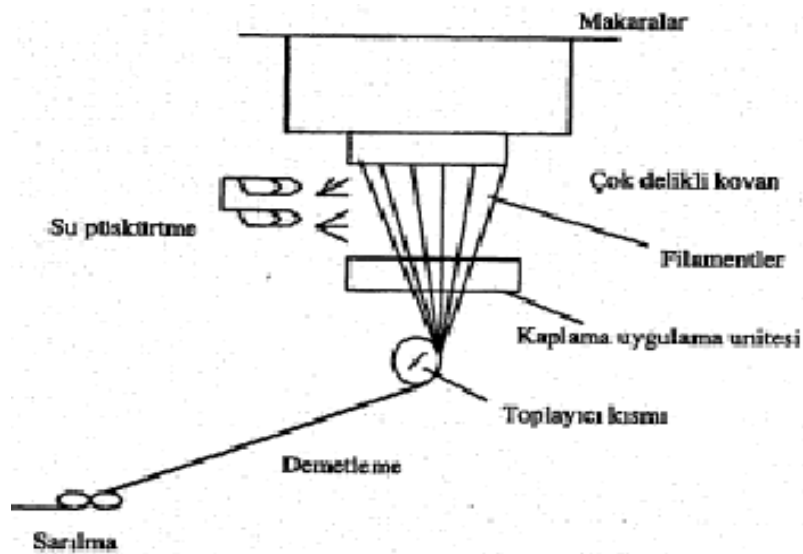
Cam elyaflar sürekli ve süreksiz olarak üretilirler. Yüksek kaliteli elyafları üretmek için yüksek saflıktaki malzemelerin homojen şekilde ergimiş olması, yüksek sıcaklıkta çekilmesi ve hemen koruyucu kaplama uygulanmış olması gerekmektedir. Cam elyaflar, camların elektrik fırınında yaklaşık 1200–1500°C de ergitilmesi ve ergiyen camların bir

platin alaşımlı olan potanın tabanındaki binlerce delikten hızlı şekilde aşağı doğru demetler halinde çekilerek ve soğutma bölgesinden geçirilerek üretilir [6].



Şekil 3.9. Ergitme işlemi [2].

Daha sonra kaplama uygulanması ve demetler halinde makaralara sarılarak yaklaşık 3 kg. lık halinde depolara gönderilir. Kaplama formülasyonu karışık fakat bu elyafları hasardan korur, sürtünmeyi azaltarak hem aşınmayı önler hem de üretim sırasında liflerin birbirine göre hareketini kolaylaştırır. Bu moleküllerin bir kısmı Si-O bağları aracılığıyla cam ile reaksiyona girerken, silane üzerindeki organik gruplar reçine ile uyumluluk sağlarlar. Bu elyaflar karbon kadar hafif ve rijit olmamasına rağmen oldukça ucuzdur [6].



Şekil 3.10. Cam lif üretimi [2].

Kompozitlerde en sık kullanılan takviye elemanlarındandır. Kimyasal bileşimlerinin farklı olmasından dolayı çeşitli tipleri vardır. Kompozit uygulamalarında en çok kullanılan tipi üstün mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olan E-camıdır.

Kompozitlerde kullanılan cam lifleri devamlı fitil, kırılmış demet, keçe ya da dokuma formunda olabilir [1, 8, 9].

Cam liflerinin çapları 3 ile 20 µm arasında değişim göstermektedir [2].

**Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:**

- Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaflı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkân tanırılır.

Farklı tipteki cam liflerinin içeriğindeki madde oranları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Elde edilen farklı malzemeler farklı özelliklere sahiptirler. Cam liflerinin E, S, C, M, A, D gibi farklı tipleri bulunmaktadır. Kullanım yerine ve istenen özelliğe göre gerekli cam lifi tipi kullanılmaktadır. Farklı cam liflerinin genel olarak karakter özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Cam liflerinin içeriğindeki madde oranları

Malzeme Cinsi	E-Camı	S-Camı	C-Camı
Kum	52,4	64,4	64,6
Al ve Demir oksit	14,4	25	4,1
Kalsiyum oksit	17,2	--	14,3
Magnezyum oksit	4,6	10,3	3,3
Sodyum ve Potasyum oksit	0,8	0,3	9,6
Baryum iki oksit	10,6	--	4,7
Baryum oksit	--	--	0,9

Çizelge 3.2. Cam liflerinin karakter özellikleri

Cam Elyaf Tipi	Karakter Özelliği
E Camı	Düşük Elektrik İletkenliği
S Camı	Yüksek Dayanım
C Camı	Yüksek Kimyasal Direnç
M Camı	Yüksek Rijitlik
A Camı	Yüksek Alkali veya Soda Kireçli Cam
D Camı	Düşük Dielektrik Sabiti

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır [15].

Bazı cam elyaflardan bazıları aşağıdaki gibidir:

**A (Alkali) Camı:** A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.

**C (Korozyon) Camı:** Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

**E (Elektrik) Camı:** Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

**S (Mukavemet) Camı:** Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Çizelge 3.3. Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri [1, 2, 6, 15].

Özellikler	A	C	E	S
	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50	2.49	2.54
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti(MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı (m/m/°Cx10 <sup>6</sup> )	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
<b>Katkı Malzemeleri (%)</b>				
SiO <sub>2</sub>	72.0	64.4	52.4	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	14.2	9.6	0.8	0.3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

### 3.4.2.2. Karbon Lifleri

Bölüm 4’te ayrıntılı olarak anlatılacaktır (Bkz. s 66).

### 3.4.2.3. Aramid Lifleri

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid’den maddesinden gelmektedir. Aramid elyafı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar (DuPont) ve Twaron (AkzoNobel) olarak bilinmektedir [7].

Aramid lifleri aromatik karbon zincirlerinden oluşmaktadırlar. Yapılarındaki aromatik bağlar nedeniyle yüksek dayanım özellikleri göstermektedirler [2, 8].

Yapay organik lifler arasında aramid lifleri (ticari ismi kevlar) pek çok olumlu özelliğe sahip olmalarından dolayı takviye malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. [8, 9].

Bu elyafların üretiminde polimer maddeyi elyaf haline dönüştürmek için mineral asit, klor sülfonik ile düşük sıcaklıklarda eriyik hazırlanır. Bu eriyik süzgeçten geçirildikten sonra kuvvetli asit içeren banyo içerisinden kuru lif çekim yöntemiyle çekilirler. Çekim derecesi elyaf yapısı için oldukça önemlidir. Çekme işleminden sonra elyaflar yıkanır, durulanır ve bir miktar çekme kuvveti altında sıcaklıkta azot içinde ısıtılır. Elde edilen elyaf 12µm çapında ve kahve renklidir [2, 8].

Geçen yirmi yıl boyunca, yüksek teknoloji ürünleri olarak bilinen aramid elyafı önemli bir mesafe katetmiş olup uzay, denizcilik, spor ürünleri, eğlence, otomotiv ve silah endüstrisi gibi klasik kompozit pazarlarına hitap etmiştir. Yüksek düzeyde yönlendirilmiş olan bu polimer, düşük yoğunluk ile yüksek modül ve yüksek düzeyde yapışma özelliği ile yüksek mukavemet/ağırlık oranını üründe bir araya getirmektedir. Mukavemet ve modül değerleri yanı sıra, liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi ve üründe darbe dayanımı özellikleri dolayısıyla yaygın olarak kullanılan reçinelerin çoğunluğu ile kullanılabilir. Aramid elyafının negatif ısıl genleşme katsayısından dolayı, ısıl yayılmanın önem taşıdığı ortamlarda fayda sağlamaktadır. Aramid elyafı, fiyat/performans değerlerini sağlamak üzere tasarlanmış cam ve karbon elyafının kombinasyonu şeklinde olan hibrit ürünler halinde de mevcuttur. Yalnızca yapısından kaynaklanan sınırlamalar kompozit tasarımında dikkate alınmalıdır. Aramid ürünleri iplik, fitil, kırılmış elyaf şeklinde mevcuttur. Aramid

elyafı iplik olarak farklı desenlerde dokunmuş kumaş şeklinde, fitil olarak da elyaf sarma veya şerit şeklinde kullanılmaktadır. Kırpılmış lifler ise hazır kalıplama bileşimlerinin içine karıştırılmaktadır [1].

Kevlar lifleri 1970'li yıllarda Dupont firması tarafından tanıtılmıştır [2].

Kevlar 29 ve kevlar 49 uygulamada en çok kullanılan tiplerdir. Kevlar 29 örme, dokuma veya çaprazlanmış şekilde olabilir. Kurşungeçirmez yelek, otomobil lastikleri ve kablolarda kullanılır. Kevlar 49 ise çok ilginç bir elyaftır ve önceleri oto lastiklerinde çelik tellerin yerini alması için üretilen bu malzemenin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Yüksek modüllü ve kimyasal etkilere karşı dirençlidir [8, 9]. Bu lifler spesifik özelliklere sahiptirler [2].

Camdan hafif ve rijit olup, fiyatı camdan pahalı, diğer elyaflardan daha ucuzdur. Elyafa işlem yapmak çok kolaydır ve üretimleri değişik biçimlerde gerçekleştirilebilirler. Basma dayanımlarının düşük olması kullanımlarını sınırlar. Isındıkça kısalırlar ve bu durum tasarımda göz önüne alınmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda sürtünme dayanımları oldukça iyidir. En zayıf yönleri kolay eğilmeleridir. Kesmesi zordur. Birçok ortamda korozyon dayanıklılığı iyi olmasına rağmen sülfürik aside ve güneş ışınlarına karşı duyarlıdır. 100°C sıcaklığa kadar çekme dayanımı ve E modülü sabit kalır, 300°C den sonra ani olarak düşer [1].

Askeri alanda ve uzay sanayisinde kullanılır. Kevlar liflerinin korozyon dayanımları iyi olmasına rağmen suya ve güneş ışınlarına karşı duyarlıdır [8, 9].

#### **3.4.2.4. Bor Lifleri**

Yüksek dayanımlı ve pahalı bir lif olan bor lifleri metal matris elemanlarıyla birlikte kullanılmaktadır [9]. Bor, oda sıcaklığında katı durumda olan ikinci hafif elementtir. Bor elyafı, ticari amaçlı olarak mevcut yüksek teknoloji ürünleri arasında piyasaya çıkan ilk üründür [1]. Çok sağlam ve dayanıklı bir takviye malzemesi olup, yüksek yoğunluğu ve yüksek maliyeti kullanımını sınırlandırmaktadır. Piyasada yalnızca şerit halinde bulunmaktadır. Pahalı olmasına rağmen bor elyaf yüksek dayanımı nedeniyle özellikle metal matrisler ile bazı uygulamalarda hala kullanılmaktadır.

Bor sert ve gevrek olduğundan doğrudan lif olarak çekilmez. Bu nedenle hidrojenle ve bortriklorürün ( $BCl_3$ ) elektriksel olarak 815°C sıcaklığa ısıtılmış W teli üzerinde

çökeltilmesi ile elde edilir [1]. Ayrıca sarılmaları oldukça zor olduğu için düz paralel filament şeklinde üretilirler ve ince titanyum teller ile bağlanarak epoksiler arasına yerleştirilirler [8].

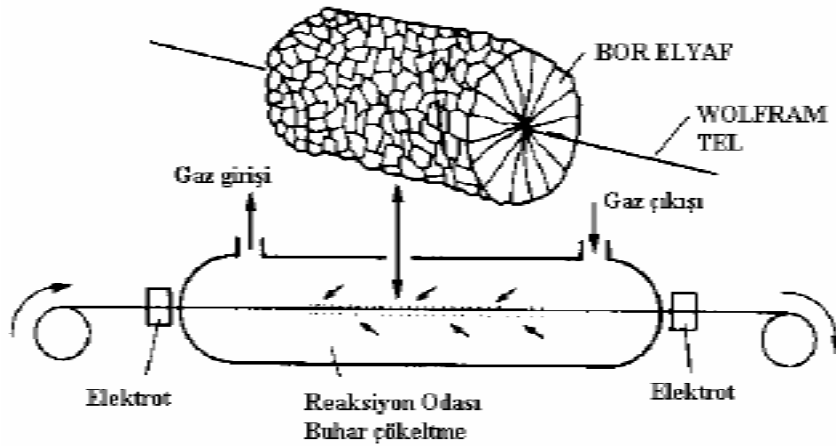
Bor ile kaplamadan önce telin temizlenmesi gerekmektedir. Tungsten teli çapı 15  $\mu\text{m}$ 'dir [8,11].

Lifin son çapı 150-200  $\mu\text{m}$ 'dir. Üretim parametrelerinin çok sıkı olarak kontrolü gerekmektedir. Metal matrisle birleştirilirken sıcak presleme sırasında elyafın özelliklerinin bozulmaması için yüzeye bor karbür ya da silisyum karbür kaplanır.

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde de kompozit yapıdadırlar.

Bor lifler kompozitlerde kullanılan en kalın elyaf türü olup karbon liften 20 kat daha kalındır. Burkulmaya karşı dayanımlarının yüksek olması nedeniyle çekme yanında basma dayanımları da iyidir. Çekme mukavemetleri 2758 MPa'ya kadar 3447 MPa'dır. Elastite modülü ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastite modülünden beş kat fazladır.

Maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların Silisyum Karbür ( $\text{SiC}$ ) veya Bor Karbür ( $\text{B}_4\text{C}$ ) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları  $2040^\circ\text{C}$  civarındadır [15]. Çoğunlukla metal matrislerde kullanılır. Metallerle birleştirilmeleri diğer elyaflara göre daha kolaydır. Hazırlanışı yani üretimindeki özellikler nedeniyle pahalı malzemelerdir. Fakat maliyetlerinde kullanımlarının artışıyla büyük düşüşler meydana gelmektedir. Amerika'da yıllık boron lifi üretimi 50 bin tonu aşmaktadır. Bu lifler genelde uzay sanayisinde kullanılmaktadırlar [2, 8].



Şekil 3.11. Bor elyafı üretim yöntemi [6].



### 3.4.2.5. Polietilen Lifleri

Tabaka ve film halinde kullanılan PE lifleri kimyasal olarak kararlıdır. Eriticilerden etkilenmezler. Ancak yüksek sıcaklıklarda bu direncin düşmesi ve düşük sıcaklıklarda yumuşaması dezavantajları sayılabilir [9].

### 3.4.2.6. Polipropilen Lifleri

Elyaf tabaka halinde kullanılan PP lifleri yüksek dayanımları ve düşük fiyatları ile takviye malzemesi olarak kullanım için elverişlidirler. Alkalilerden, güneş ışınlarından, oksijenden etkilenmezler. Beton ve harçlarda takviye malzemesi olarak kullanılırlar [8].

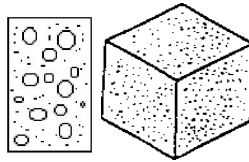
## 3.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapısındaki malzemelerinin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür:

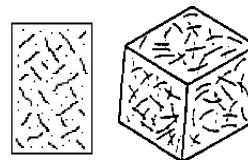
- Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler
- Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler
- Tabakalı Kompozit Malzemeler
- Karma (hibrit) Kompozit Malzemeler [1].

Kompozit malzemeler donatılı veya pekiştirilmiş türüne göre çeşitleri aşağıdaki gibidir:

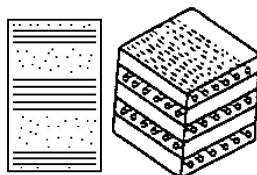
#### Taneli kompozitler



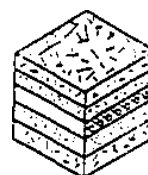
#### Lifli kompozitler



#### Tabakalı kompozitler



#### Karma (hibrit) Kompozitler



Lifli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki artış, taneli kompozitlere göre daha yüksektir. Taneli kompozitler için en önemli örnek betondur. Sert tanelilerin sünek bir malzemeyle birleştirilip aglomera haline getirilen kompozitlere diğer bir örnek de asfalt betonudur [15].

### 3.5.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerde elyaf takviye kullanımının teorik olarak incelenmesi çok eskilere dayanmamasına rağmen uygulama olarak kullanımı oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. Bitkisel elyaf ve saman ile kerpiç malzeme hazırlanması, bitkisel lifler ile atkuyruğu gibi hayvansal lifler alçı hamurunda kullanılması, asbest gibi inorganik liflerin çimento bağlayıcı olarak kullanılması bilinen uygulamalardandır [2].

Fiberler, basit olarak bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan malzeme olarak tanımlanabilir. ASTM' ye göre bir malzemenin fiber olarak kabul edilebilmesi için boy/ortalama çap oranının en az 10 olması, en büyük kesit alanının  $0,05 \text{ mm}^2$  den daha küçük olması ve en büyük genişliğinin  $0,25 \text{ mm}$  den küçük olması gerekmektedir [8].

Elyaf takviyeli kompozitler, kompozit malzemelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu kısımda malzeme takviyesinde kullanılan elyaf şeklinde küçük boyutlardaki malzemelere lif adı verilmektedir. Elyaf lar kompozit malzemelerde sürekli, süreksiz, kesikli, kısa lifler ya da örme, şerit halinde kullanılmaktadırlar [2, 8, 9].

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde lif şekli, uzunluğu, yönlenmesi, lif/matris etkileşimi ve matrisin mekanik özellikleri kompozitin performansını etkilemektedir. İstenilen performansı elde edilebilmesi için uygun materyaller seçilmelidir [9].

Elyaf ların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyaf ların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaf lar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaf lara dik doğrultuda düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaf larla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür [1, 2, 4].

Takviye malzemesi olarak liflerin kullanılmasıyla mekanik dayanımları yüksek, güçlü kompozit malzemeler üretilebilmektedir. Sünek ve yumuşak matris içerisine dayanımı ve elastikliği yüksek elyaf ilavesiyle çekme ve yorulma dayanımı, özgül modül

ve dayanımı iyi kompozitler elde edilebilmektedir. Kompozit malzemede kullanılacak olan liflerin oranları, yerleşimleri ve yapıları değişik biçimlerde kullanılarak istenilen özellikte materyaller tasarlanabilmektedir [2,8, 9].

Matris ile elyaflar arasında kimyasal bağdan ziyade zayıf fiziksel bağlar vardır. Ancak boyları çaplarına oranla daha uzun olan elyafların toplam yüzeyleri büyüktür. Birbirlerine dolanarak kenetlenirler ve böylece oldukça büyük yük aktarabilirler. Sünek bir matris içinde bulunan yüksek mukavemetli elyaflar çatlasa veya kırılrsa bile mikroskopik düzeyde kalır, yayılmadan sünek ve tok matris tarafından önlenir. Bu özellik elyaf takviyeli kompozitlerin üstünlüklerinden biridir [4, 9].

Takviye malzemesi olarak kullanılan liflerin çoğu kuvvetli kovalent bağa sahiptir. Takviye liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti de yükselir. Yönlenmiş liflerde bu oran hacmen %80 e kadar çıkarken rastgele yönlenmişlerde %40-50 arasında kalır. Ancak elyaf oranı belli bir değere ulaştıktan sonra kompozitin mukavemeti azalmaya baslar. Bunun nedeni, elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak kompozit içerisindeki polimer miktarının azalmasıdır. Kompozit içerisindeki oranı belli bir değer altına düştüğünde matris işlevini kaybeder ve lifleri bir arada tutamaz.

Lif takviyeli kompozitler matris ve lifin özelliklerine göre;

- Sünek matrisli ve kırılğan lifli,
- Kırılğan matrisli ve sünek lifli kompozitler olarak 2 ye ayrılabilir.

Sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitlerde matris fazını epoksi, polyester, fenolik reçine gibi organik maddeler; lif fazını matrise oranla daha kırılğan özellik gösteren cam ve seramik esaslı lifler oluşturur. Donatıda kullanılan lif oranı matristen yüksek olup kompozitin %20-80 ini oluşturmaktadır. Bu tip kompozite örnek olarak yaygın olarak kullanılan cam lifi takviyeli polyester reçine (CTP) verilebilir.

Kırılğan matrisli ve sünek lifli kompozitlerde çimento, alçı gibi bağlayıcılar kullanılır. Organik veya inorganik lifler kullanılabileceği gibi metal ve cam lifleri de kullanılabilir. Bu tip kompozitlerde takviye fazının hacim oranı sünek matrisli kompozitlerdeki lif oranının çok altındadır. Cam, metal ve bitkisel lifler için bu oran %0,5-5 arasındadır.

Fiber takviyeli kompozitler uzay ve havacılık alanlarında, otomotiv sektöründe, deniz tekneleri, spor malzemeleri ve yapı elemanları üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır [9, 15, 16].

Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca elyafın uzunluk/ çap oranları arttıkça matris tarafından elyafıya iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğeri bir unsur ise elyaf- matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyafıya temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağ bozan olumsuz bir özelliktir [1].

### 3.5.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler [1].

Bu kompozitler makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matrisle oluşturduğu yapılardır. Bu yapılarda gömülen parça boyutu 1µm'den küçük ve parçacık veya partikül hacim oranının %25'den az olmaktadır. Partikül olarak en çok Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC'den oluşan seramik malzemeler kullanılmaktadır [8].

Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır [1]. Metal ve metal olmayan parçacıkların yine metal ve metal olmayan matrislerle kombinasyonu şeklinde çeşitleri vardır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır [4]. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlarlar. Metal matris içinde seramik matris içeren yapıların (cermet), sertlikleri ve yüzey sıcaklık dayanımları yüksektir. Bunlar kollar, kulplar, elektrik parçaları, muhafazalar vb. gibi küçük parçaların yapımında kullanılırlar [1].

Parçacıklı kompozitler genelde büzülmeyi azaltmak, aşınma direnci, rijitlik gibi belli özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar. Birçok yerde parçacıklı yapılar özellikleri bozulmadan maliyeti düşürmek için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Ayrıca kauçuk parçacıklar kırılma yapılı bir polimer matris ile birleştirilerek kırılmaya karşı hassasiyeti azalmış, çatlak ve darbe dayanımı iyileşmiş bir kompozit elde edilebilmektedir.

Bu kompozitler döküm yoluyla üretilmektedirler. Bu kompozitlerde parçacıklar eklendiğinde karıştırılma zorlaşmakta ve eriyik viskozitesi düşmektedir. Bu kompozitlerin özellikleri bileşenlerin özelliklerine ve oranlarına bağlıdır [8].

Ayrıca parçacıklar sert ve kararlı bir yapıya sahip olarak dislokasyonların hareketine engel olmalıdır. Parçacık takviyeli kompozitlere örnek olarak beton verilebilir. Genel olarak bu tür kompozitlerin mekanik özellikleri zayıftır. Bu nedenle, daha çok mekanik dayanım gerektirmeyen süs ve dekoratif eşyalarda, genel amaçlı ürünlerde ve yük etkisinde kalmayacak türden malzemelerin yapımında kullanılırlar [4, 15, 16].

Parçacık takviyeli kompozitleri büyük parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozitler ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitler olarak 2 gruba ayırmak mümkündür [4].

---

### **3.5.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler**

Tabakalı kompozitler temel eksen doğrultusunda değişik yönlerde katmanların üst üste yerleştirilip bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit yapılarıdır. Tabakalar matris içine rastgele yerleşmiş elyaf, belli bir yönde yerleşmiş elyaf ya da elyaf yüzeylerden oluşabilmektedir [8].

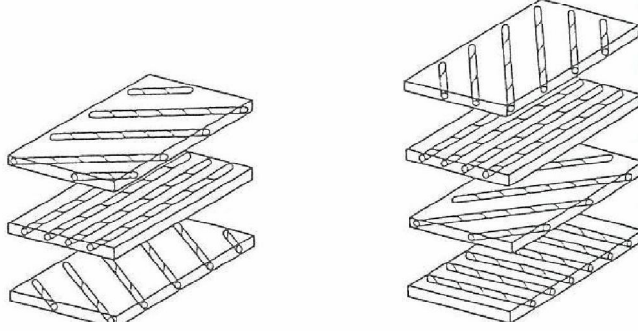
Tek yönlü lif haline aynı zamanda tek yönlü Lamia da denir. Farklı özelliklerdeki tabakalar bir araya getirilerek en iyi özellik elde edilmeye çalışılır. Tabakalar arası mesafe mikroskobik ölçülerdedir. Tabakalı kompozitler en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit çeşitidir. Çok değişik kombinasyonlarla üretimleri mümkündür. Tabakalı kompozitler, yapısal yönden taneli ve liflerle donatılı kompozitlerden farklılık göstermektedirler [4].

Her katman çok ince olduğundan tek başına kullanılamaz çok katlı olarak kullanılabilir. Bu katmanların her katını oluşturan malzemeler aynı ise bu yapılar izotropik yani laminant olarak adlandırılır. Çok katlı kompozit malzemeyi oluşturan katmanlar farklı malzemelerden oluşuyorsa bu yapılara karma ya da hibrit kompozit malzemeler denilmektedir [8].

Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir.

---

Tabakalı kompozitler uzay ve havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır [4, 16].



Şekil 3.12. Tabakalı kompozitler [4].

Bu yapılarda kompozit malzemenin maruz kalacağı yüke uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğinin doğrusal bağımlılığından faydalanılmaktadır [8].

Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma veya abrasiv aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısıl genişleme özelliklerini kapsamaktadır. Buna karşın korozyon ve aşınma direnci gibi önemli özelliklerin pek çoğu öncelikle kompoziti oluşturan elemanlardan birine bağlıdır.

Elektrik şarjını depolamak için kullanılan kondansatörler esas itibariyle dönüşümlü olarak bir iletken ve bir yalıtkan üst üste gelerek meydana getirdiği katmanlı kompozitlerdir. Katmanlı kompozitlerin sayısı öylesine fazla ve uygulamaları, amaçları öylesine çoktur ki davranışları hakkında genelleme yapılması mümkün değildir. Yaygın olarak kullanılanlar ise;

**Katmanlar:** Katmanlar organik bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış malzeme katmanlarıdır. En yaygın katman, her bir alternatif katta dik açılarla ağaç kaplama açılarının dizildiği kontrplaklardır. Bu katlar fenolik veya amine reçineler gibi bir yapıştırıcı ile birleştirilir.

**Emniyet gözlükleri:** Polivinil butiral gibi plastik bir yapıştırıcı ile iki cam malzemesinin birleştirildiği katman malzemelerdir. Cam kırıldığı zaman yapıştırıcı, cam parçacıklarının ayrılmasını önler. Katmanlar, motorlarda, yalıtım için dişlilerde, basılmış devre katlarında kullanılmaktadır. Yapıştırıcı katmanlar, mükemmel hafiflik, alevlenmeyi geciktirici darbe dayanımı, korozyon direnci, kolay şekillendirme ve işleme, sürtünme ısısının dağıtılması ve iyi yalıtım özelliklerini bünyesinde toplamaktadır.

Sert yüzey oluşturma: Sert, aşınmaya dirençli yüzeyler, sert yüzey oluşturma olarak bilinen ergitme kaynağı teknikleri daha yumuşak ve sünek malzemeler üzerinde biriktirilebilir. Sert yüzey alaşımlar, çeliğin sertleştirilebilen sınıflarını, sert karbürler oluşturan demir ve çelikleri, kobalt esaslı alaşımları ve belirli demir dışı alaşımları içermektedir. Kompozit tungsten karbür çubukları aynı zamanda aşınma yüzeyinde tungsten karbür oluşturmak için kullanılabilir. Bazen kaynak işlemleri yüzeyin korozyon ve ısıya karşı direncini artırır.

Giydirilmiş metaller: Metal- metal kompozitleridir. Genel bir örnek olarak ABD'deki gümüş paraları verilebilir. Bir Cu %80 Ni alaşımının her iki tarafına Cu %80 Ni alaşımı bağlanır. Yoğun olarak bakır bulunan çekirdek düşük maliyet temin ederken, yüksek nitelikli alaşım gümüş rengi vermektedir. Giydirilmiş malzemeler yüksek dayanım ile birlikte iyi korozyon direnci kombinasyonuna sahiptir. Alklod adı verilen giydirilmiş kompozit malzeme, ticari saflıktaki alüminyum, yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarına bağlanır. Saf alüminyum yüksek dayanımlı alüminyumu korozyondan korumaktadır. Saf alüminyum katmanının kalınlığı toplam kalınlığın yaklaşık %1-1,5'i kadardır. Alklod, korozyon direnci, dayanım ve hafifliğin arzu edildiği uçak gövdesinde, ısı dönüştürücülerinde, bina yapımında ve depolama tanklarında kullanılmaktadır.

İkili metaller: Sıcaklık göstergeleri ve kontrol edicileri, katmanlı kompozitteki iki metalin ısıl genleşme katsayısındaki farklılıktan yararlanmaktadır. İki metal parçası ısıtılırsa yüksek ısıl genleşme katsayısına sahip metal daha fazla uzamış olacaktır. Şeridin bir ucu sabit ise serbest olan uç hareket eder. Bu hareketin miktarı sıcaklığa bağlı olup, şeritteki bükülme ve sapmanın ölçülmesi ile sıcaklık tespit edilmektedir. Aynı şekilde şeridin serbest ucu, elektrik anahtarını hareket ettirirse düzenli sıcaklık elde etmek için bir fırının veya soğutucunun açılıp kapatılması mümkündür [1].

---

#### **3.5.4. Karma (Hibrit) Kompozitler**

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır; ancak, basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemetine sahip bir

elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de keklar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

---

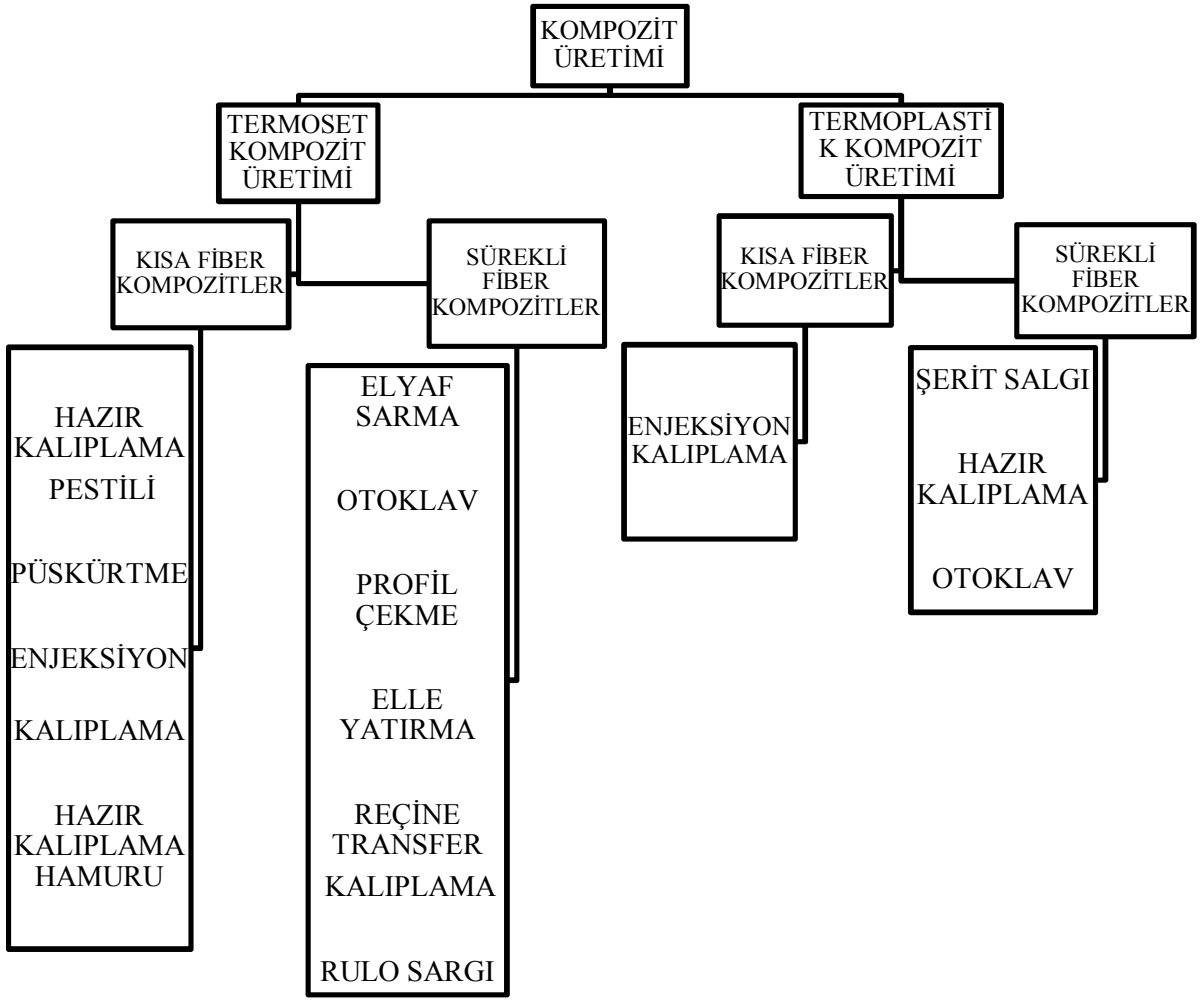
### **3.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri**

İstenilen biçim ve özellikleri taşıyan kompozit malzeme üretimi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır [4].

İstenilen özellikte bir kompozit üretimi için takviye ve matris dışında üretim şekli de önemli bir etkidir. Her malzeme kendine özgü bir karaktere sahip olduğundan dolayı malzemeye en uygun üretim tekniği belirlenerek, seçilmelidir. Üretim yönteminin seçiminde takviye elemanı, matris, üretim miktarı, maliyet, boyut/şekil gereksinimi faktörlerine göre belirlenmektedir [2, 8, 23].

Kompozit üretiminde her üretim tekniği için dört ana işlem mevcuttur. Bunlar; takviye malzemesi ve reçinenin birleştirilmesi yani emdirme işlemi, istenen yerleşim planının ayarlandığı yatırma işlemi, tabakalar arası sıkı bir bağlantının olduğu birleştirme işlemi ve kompozitin son halini aldığı sertleştirme işlemidir [2, 23].





Şekil 3.13. Kompozit malzeme üretim yöntemleri

Bu yöntemlerden başlıcaları şunlardır:

### 3.6.1. Elle Yatırma (hand lay-up) Yöntemi

Elle yatırma yöntemi, hem büyük boyutlu hem de küçük boyutlu kompozit malzeme üretiminde bilinen en eski, en basit ve en çok kullanılan metottur. Çoğunlukla epoksi ve polyster termoset reçinelerden elde edilen kompozit üretiminde kullanılmaktadırlar [2, 8, 11, 17]

Önceleri, elle yatırma yöntemi kompozit parça üretiminde baskın üretim metoduydu. Halen, denizcilik endüstrisinde, prototip parçaları yapımında yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu yöntemde emek yoğunudur ve açık kalıp nedeniyle, stiren yayılımı sorunu vardır [1].

Elle yatırma yönteminde tahta, metal, plastik ya da bu malzemelerin kombinasyonu ile oluşturulmuş bir malzemeden yapılan kalıp kullanılmaktadır [2, 8, 11]. Kullanılan kalıp istenilen şekilde hazırlanabilmekte ve tek veya çok parçalı olabilmektedir [2, 8].

Bu kompoziti hazırlamak için kullanılan kalıbın üretimi 3 ana kısımdan oluşur:

**1.Kalıbın hazırlanması:** Üretilecek malzemeye uygun kalıp seçilmelidir. Kalıp yüzeyi düzgün olmalı, yüzeyinde hava kabarcığı, çatlak, delik olmamalıdır. Kalıbın iç yüzeyi silindikten sonra üzerine plastik ve kalıbın birbirinden kolay ayrılmasını sağlayan ayırıcı malzeme (vaks) sürülür. Daha sonra ikinci ayırıcı olarak PVA sürülür. Elyafın yüzeyde görünmesi istenmiyorsa fırça ile viskozitesi yüksek reçine ( jelkot) sürülür.

**2.Kalıba keçe, kumaş ya da elyaf halindeki takviye malzemesinin yerleştirilmesi:** Jelkot üzerine kalıba uygun kesilmiş takviye malzemesi serilir. Genellikle keçe, dokuma biçimdeki elyaflar takviye elemanı olarak seçilir. Fakat ek dayanım ve elastik modülü kazandırmak için belirli konumlarda dokuma şeklindeki elyaflar yanında sürekli cam ve karbon elyaflar da yerleştirilir.

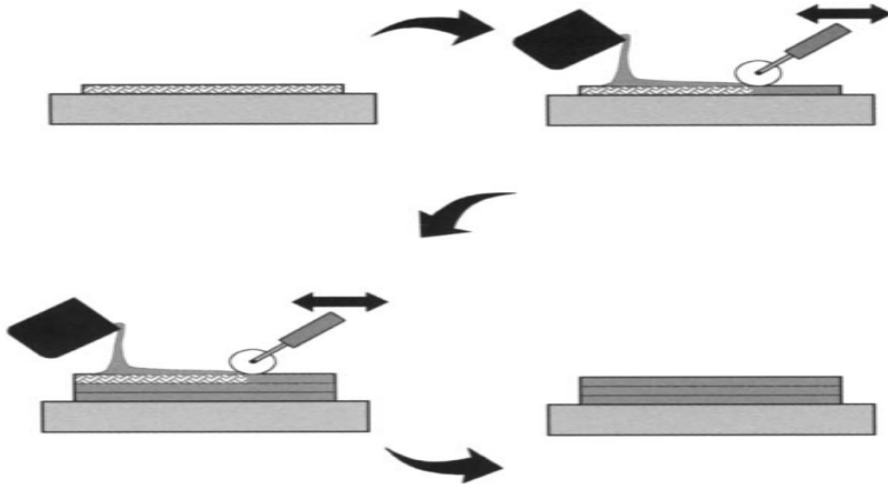
**3.Reçine tatbiki:** Serilen takviye malzemesinin üzerine reçine uygulanır ve fırça darbeleriyle reçine iyice emdirilir. Rulo kullanılarak hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır. İstenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir [4].

Çoğunlukla epoksi ve polyeater termoset reçinelerden elde edilen kompozit üretiminde kullanılmaktadırlar [8]. Ayrıca vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Ürünün kalıptan çıkarılıp kullanılabilmesi için belli bir sertliğe ulaşması gerekir. Sertleşme polimerizasyon derecesine bağlı olarak 3 aşamada gerçekleşir:

**Jelleşme:** Katalizör ve hızlandırıcı katılan reçinenin pıhtılaşmasıdır. 5-10 dakika sürebilir.

**Sertleşme:** Reçinenin pıhtılaştıktan sonra kalıptan çıkarılabilecek sertliğe ulaşması için gerekli süredir. 3-4 saat sürebilir.

**Olgunlaşma:** Ürünün ulaşabileceği max. sertlik için geçen süredir. Kullanılan katkı maddeleri, katalizör ve hızlandırıcıya bağlı olarak birkaç saat ile birkaç hafta arasında değişir [4]. Elle yatırma yöntemi Şekil 3.14' te gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Elle yatırma yöntemi

Bu yöntemde kullanılan araç ve gereçler az ve maliyeti düşük olduğu için en basit ve ucuz metottur. Ayrıca tasarım kolaylığı sağlamaktadır [2, 8].

Elle yatırma yönteminde kullanılan elyaf hacim oranı %30 civarında sınırlanmaktadır. Malzeme özelliklerinin önemli olduğu alanlarda ön gömülmüş elyaf kullanılarak elyaf hacim oranı artırılabilir [8].

---

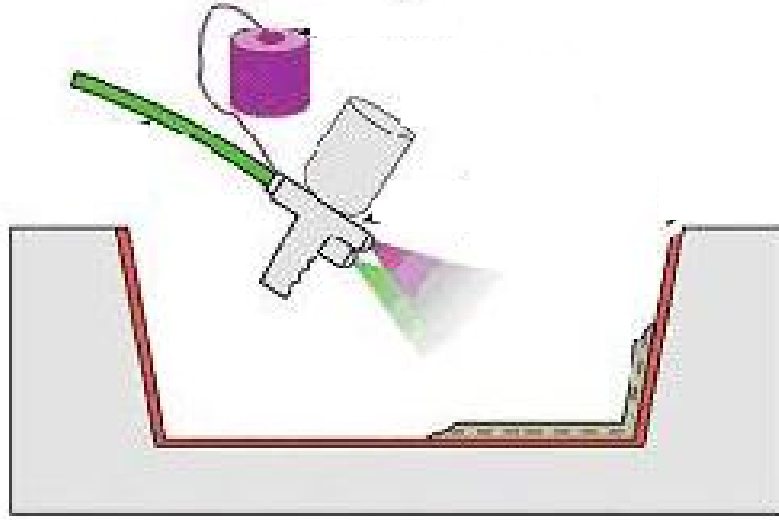
### 3.6.2. Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)

Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin kısmen otomatik hale getirilmiş bir biçimidir. Bu yöntemde de elle yatırmada olduğu gibi açık halde kalıplama yapılmaktadır [1, 2, 7, 8, 11, 17]. Kalıp hazırlanır, üzerine vaks ve polivinilalkol (PVA) sürülür [4].

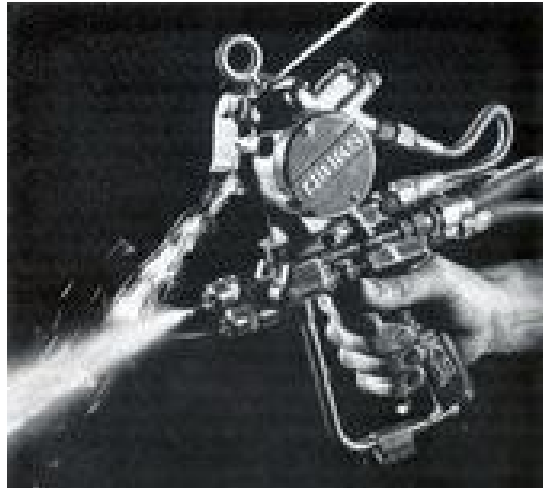
Bu yöntemde püskürtme tabancası bulunmaktadır. Bu tabanca ile reçine ve kırılmış lifler açık kalıba ayna anda püskürtülmektedirler. Liflerin kesilme işlemi tabanca üzerinde bulunan bıçaklar tarafından gerçekleştirilmektedir [1, 8, 11]. Reçine olarak yine polyesterler kullanılır [4].

Püskürtme işlemi yüzeye dik yapılmalı ve kalınlığın homojen olmasına dikkat edilmelidir. Hava kabarcıklarının kalmaması için yüzey bir rulo yardımı ile düzeltilir. Gerekli kalınlık elde edilinceye kadar işleme devam edilir. Katılma genellikle oda sıcaklığında yapılır veya ısı kullanılarak hızlandırılabilir.

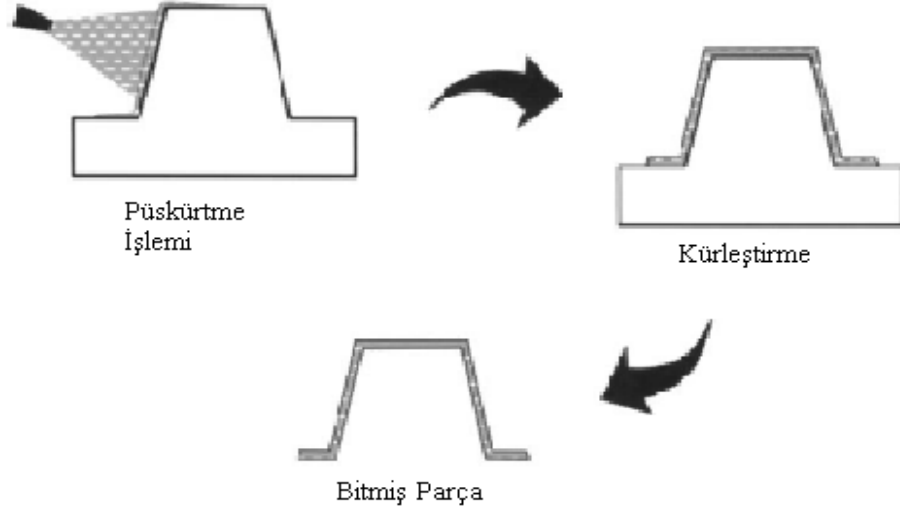
---



Şekil 3.15. Püskürtme yöntemi [7].



Şekil 3.16. Püskürtme tabancası [2, 7].



Şekil 3.17. Püskürtme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi [2].

Bu yöntem basit ve maliyeti düşüktür. Karmaşık yapılı parçalarda ve büyük ebatlı parçaların üretiminde avantajlı bir yöntemdir [2, 8, 11].

Elle yatırma ve püskürtme yöntemlerinin sağladığı avantajlar şunlardır:

- 
- Büyük ve karmaşık parçalar üretilebilmektedir.
  - Gerekli ekipman yatırımı minimum düzeydedir.
  - Yarı kalifiye işçiler kolaylıkla üretimi öğrenebilmektedir.
  - Tasarım çeşitliliği sağlamaktadır.
  - Sandviç yapıları elde etmek mümkündür.
- 

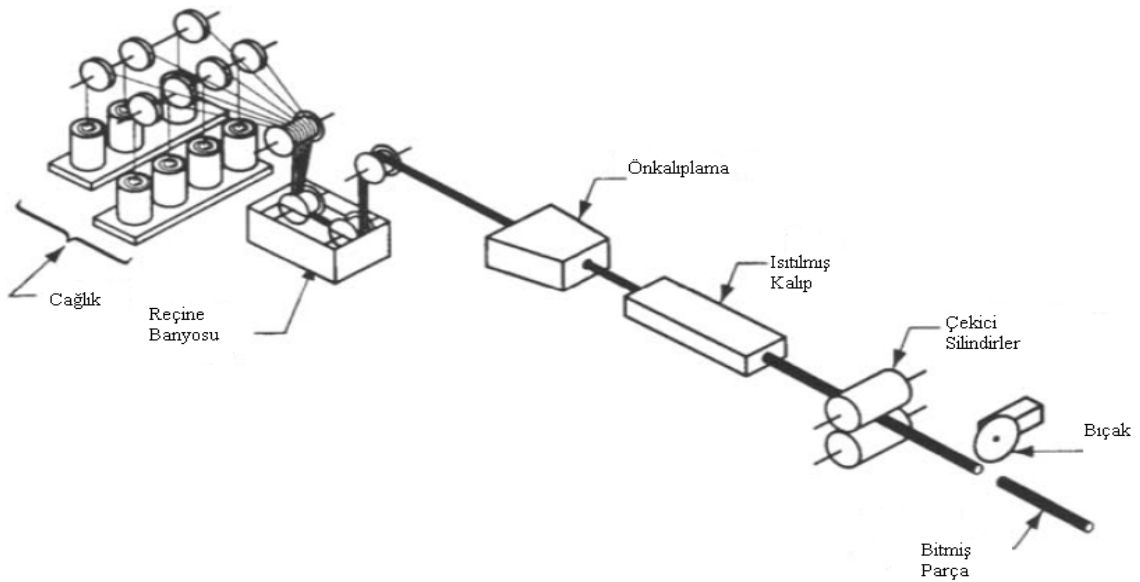
Sağladığı avantajların yanında bu yöntemlerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajlar şunlardır [2, 11].

- 
- İşlemler yoğun emek gerektirmektedir.
  - Üretim düşük hacimlidir.
  - Genellikle oda sıcaklığında bekletilerek sertleştirildiğinden uzun sertleşme işlemi zamanları gerekmektedir.
  - Tamamen aynı özellikte parçaların üretilmesi zordur.
  - Bir defada sadece bir tane kalıplanmış yüzey elde edilmektedir.
  - Fazla atık oluşmaktadır.
-

### 3.6.3. Profil Çekme / Pultruzyon (Pultrusion) Yöntemi

Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir [7]. Profil çekme yöntemi ile sabit kesitli ve sürekli malzemeler üretilebilmektedir. Çubuk, silindir ya da çeşitli şekillerde özel profiller büyük kapasitelerde üretilebilmektedir. Elyaf oranı % 60-65' e kadar çıkabilmektedir. Bu yöntem düşük maliyetli, basit ve otomatik bir işlemdir [2, 11]. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir [7, 17]. Bu yöntemde reçine malzemesi olarak genellikle polyester, vinil ester ve epoksi kullanılır. Takviye malzemesi olarak da sürekli fiber malzemesi kullanılır. Sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilmesine olanak sağlayan profil çekme yöntemi düşük maliyetlidir ve seri üretime uygundur. Ayrıca oluşan atıkların oranı oldukça düşüktür [4].

Bu yöntem ile elde edilen ürünler kanallar, tüpler gibi altyapı ürünlerinde, otomotiv diğer endüstriyel alanlarda kullanılmaktadırlar [2].



Şekil 3.18. Profil çekme işlemi

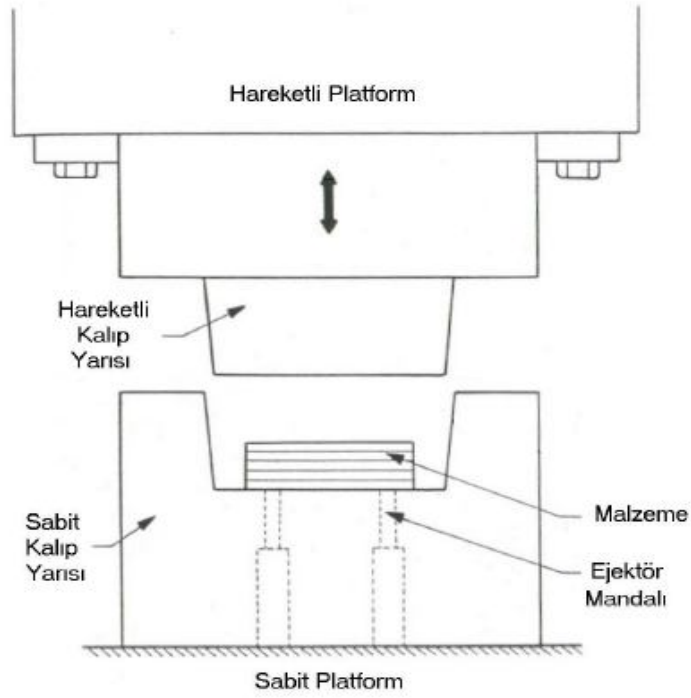
### 3.6.4. Reçine Basma ve Reçine Transfer Kalıplama (RTM) / Reçine Enjeksiyonu

Baskı kalıplama yönteminde tabaka kalıp bileşeni (SMC) ve hacimli kalıp bileşeni (BMC) kullanılmaktadır [2].

Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır [7].

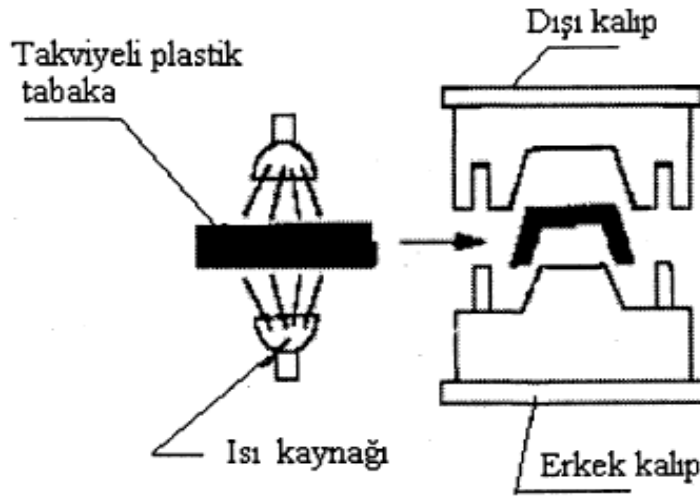
Kullanılan kalıp tek veya parçalı olabilmektedir. Kalıp için dökme demir, çelik döküm, alüminyum döküm üzerine krom kaplanmış malzemeler kullanılmaktadır [2, 8]. RTM yöntemi çoğunluk jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır.

Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğunu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir [4]. Yerleştirilen malzeme konulduğunda kalıbın yaklaşık % 30 ile % 90'ı arasında bir alanı kaplamaktadır. Boş kalan kısım kalıplama sonrasında malzemenin sıcaklık etkisiyle akışı ile kaplanmaktadır. Malzeme kalıba yerleştirildikten sonra alt ve üst kalıplar kapanır. 1- 14 MPa arasında 105-160°C arasında bir sıcaklıkta 1 ile 5 dakika arasında işleme tabi tutulur. İşlem zamanı istenilen kalınlık, ölçü ve parça şekline göre ayarlanmaktadır. İşlem sonunda kalıp açılarak hazır parça ejektör yardımıyla kalıptan çıkarılmaktadır [2, 8]. Elyafın kalıp içerisinde sürüklenmesinin önlenmesi için matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanır. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80 °C ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir. Kalıp kapalı olduğu için zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir [4].



Şekil 3.19. Basma kalıplama yöntemi [2]

Transfer kalıplama basma kalıplama benzeri bir yöntemdir. Basma kalıplamadan farklı olarak kalıp malzemesi farklı bir kısımda ısıtılmaktadır. Isıtılan malzeme daha sonra kalıp içerisine transfer edilir ve gerekli işlem koşulları ayarlanarak son mamul elde edilmektedir. Transfer kalıplama basma kalıplama ile üretimi zor olan küçük karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 3.20’de transfer kalıplama yönteminin şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Transfer kalıplama yöntemi [8]



### 3.6.5. Elyaf Sarma (Filament Winding) Yöntemi

Silindirik şekilli malzemelerin yüksek performansta üretilebildiği ana proses tekniklerinden birisidir. Bu yöntemde, sürekli elyafın dönen bir kalıp (mandrel) üzerine önceden belirlenmiş paternler boyunca oldukça hassas bir biçimde sarılması ile kompozitler elde edilmektedir. Proses sonrası, fiberler birbirlerine göre belli açılarda paketlenerek lamina yapısını oluşturarak yüksek mukavemet temin ederler [1].

Bu yöntemde cağlıklarda bulunan takviye malzemesi ilk olarak reçine tankının içerisine gelerek burada ıslatılır. Reçine ile ıslatılan elyaf sevk sistemi aracılığıyla mil üzerine belli bir düzen ve açı ile sarılır. Daha sonra mil çıkartılarak oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda sertleşme işlemi gerçekleşir [2, 8]. Katılma sonrası parça kalıptan ayrılır [4, 13].

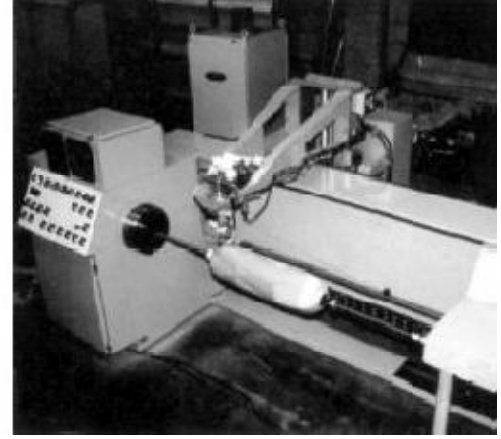
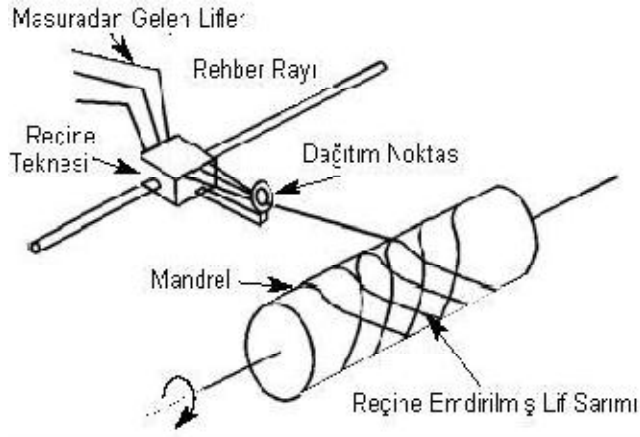
Kullanım yerine göre polyster, epoksi, silikon veya fenolik reçine kullanılabilir.

2 çeşit imalat tipi vardır:

- 
1. Yaş Sarma: Elyaf önce reçine banyosuna daldırılır sonra sarılır.
  2. Kuru Sarma: Elyaf önce sarılır sonra reçine banyosuna daldırılır [4].
- 

Bu yöntemin en önemli parametreleri; elyaf üzerindeki kuvvet, reçine ıslatma etkinliği ve sarma geometrisidir. Elyaf üzerindeki kuvvet, fiberin sarma sırasındaki pozisyonun belirlemesi yanında, kompozit üzerinde stres oluşturarak parçanın kompaktlanmasına yardımcı olacaktır. Eğer bu yükler çok düşük seviyelerde kalırsa, kompozit üzerindeki stres local olarak kalacak ve bunun sonucunda da elyaf katmanları arasında reçinece zengin tabakaların oluşumuna neden olacaktır. Bu reçine zengin bölgeler laminalar arası kırılma (delaminasyon) ve matris çatlıklarına açık bölgeler olarak yer alacaktır. Aynı zamanda elyaf üzerindeki kuvvetin gerekenden çok olması durumundan, bu stresler reçinenin katılma sırasında açığa çıkabilecek termal kalıcı (residual) stresler etkileşerek, kompozit yapının yük taşıma bakımından zayıflamasına neden olabilecektir. Filament sarma tekniği için oldukça yüksek otomasyona sahip makineler geliştirilmiş olup, bu yöntem ile yüksek mukavemetli, genelde içi boş silindirik veya 3-boyutlu ürünler; borular, depolama tankları, basınçlı kaplar v.b. üretmek mümkündür [1, 13].

---



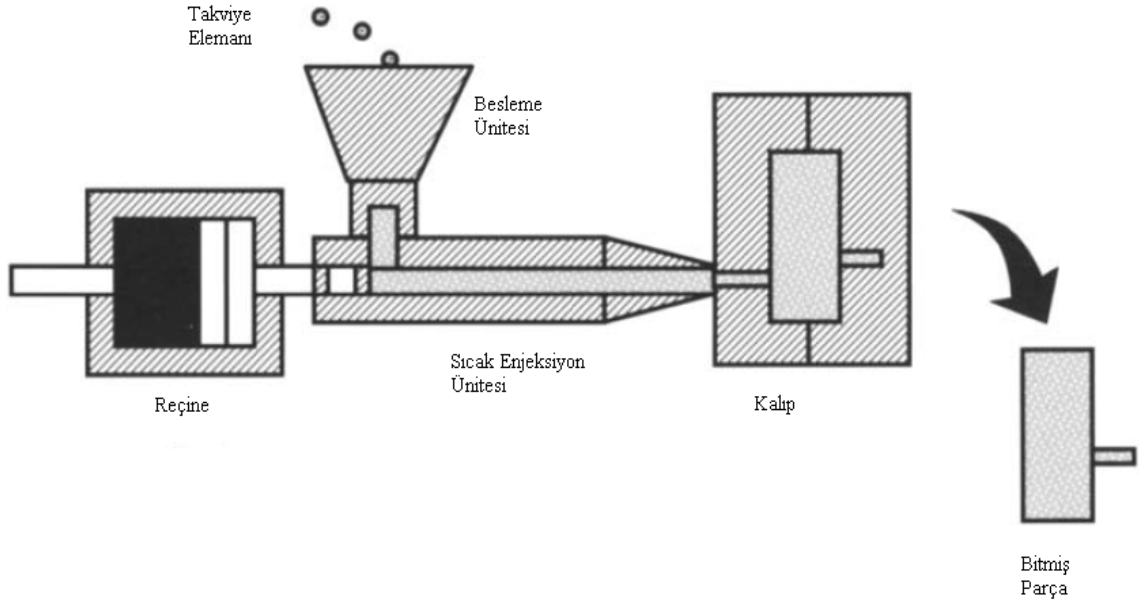
Şekil 3.21. Filament sarma yöntemi ve makinesi [2]

### 3.6.6. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi hem termoset özellikli hem de termoplastik özellikli reçineler ile kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek kapasiteli, karmaşık yapıli mamullerin üretimine imkân sağlamaktadır. Ayrıca işlem süresi en az olan kalıplama yöntemidir. Değişik reçinelerin kullanılmasıyla farklı kimyasal, fiziksel, mekanik özelliklere sahip malzemeler üretilebilmektedir [2, 8].

Kalıp içerisine hızlandırıcı ve sertleştirici reçine emdirilmiş kırılmış fiberler koyulur. Kalıp kendi ekseninde yüksek hızda yaklaşık 900 ile 2400 rpm arasında döner. Dönme ve dökme hızı dökümün boyutuna ve şekline bağlı olarak değişebilir. Merkezkaç kuvveti etkisi ile malzeme dışa doğru savrulur ve böylece kalıbın iç yüzeyini homojen bir şekilde tamamen kaplayabilir. Kalıp içerisine sıcak hava üflenerek daha hızlı sertleşme sağlanabilir. Silindirik parçaların üretimi için uygun bir yöntemdir [2, 4, 8, 11, 13].

Kalıp malzemesi olarak çelikten yapılmış tek veya parçalı malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 3.22’de enjeksiyon kalıplama yöntemi gösterilmektedir.



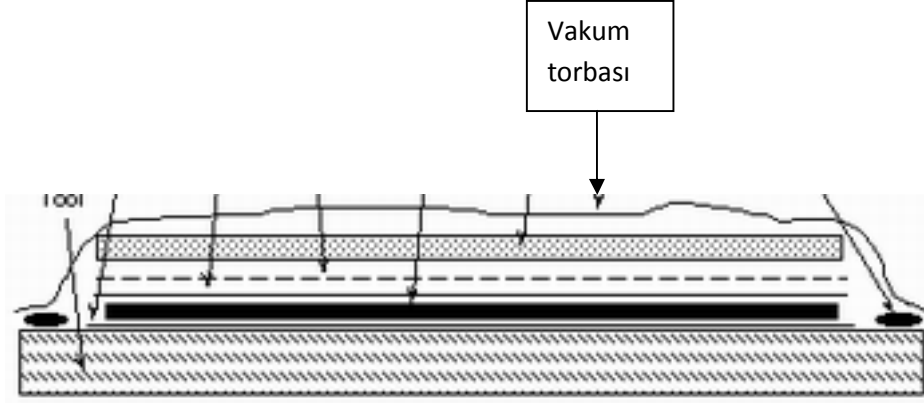
Şekil 3.22. Enjeksiyon kalıplama yöntemi [2]

Enjeksiyon prosesi için kullanılan reçine, çok düşük viskoziteli ve çok yoğun kullanımı olan poliizosiyanürattır. Enjeksiyon yönteminde kullanılan reçine viskozitesi (10 – 100cP) oldukça düşüktür.

Tamponlar, göğüs panelleri, pikapların taşıyıcı kabin kısımları gibi parçaların üretimi için kullanılmaktadırlar [1].

### 3.6.7. Vakum Bonding / Vakum Bagging

Kompozit malzeme önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası ile üzeri kapatılır. Vakum tatbik edilecek kanalların giriş yerlerine havayı geçirecek ve vakumu engellemeyecek parçalar konur. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine yapışır ve basınç uygular. Vakum torbası olarak naylon veya selefona kullanılır [4, 6]. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kuru işlemi için ısıtılır [1]. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak kompozit malzemenin kalitesini artırmak amacıyla uygulanır [4].



Şekil 3.23. Vakum bagging [7].

### 3.6.8. Otoklav / Autoclave Bonding

Vakum bagging yöntemi ile benzerdir. Malzemeye yüksek ısı ve basınç uygulanarak kalitesi artırılır. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Böylece yüksek kaliteli kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır [4, 7].

Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanır. Otoklav yavaşça ısıtılır. İlk önce reçine erimeye başlar sonra basınç ve sıcaklıkla bir gaz (genelde azot gazı) altında sertleşmesi sağlanır. Atmosfer basıncı kalıp içindeki havayı, sızan reçineyi ve laminattaki boşlukları yok eder [4, 16].

Yukarıda bahsedilen üretim yöntemlerinin dışında hazır kalıplama (SMC, BMC), preslenebilir takviyeli termoplastik/glass mat reinforced thermoplastics (GMT), kapalı döküm, metal matrisli kompozitlerin üretimi için; sıcak presleme, toz metalürjisi, sıvı metal emdirme, elektrolitik yöntem, buhar çöktürme, birlikte ekstrüzyon gibi yöntemler de bulunmaktadır [4, 6, 7, 16, 17].

## 3.7. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni bir çok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır [7].

### 3.7.1. Havacılık ve Uzay Sanayi

Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık ve uzay sanayinde çok geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerinin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekân değil yapısal parçalarını da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesine neden olmaktadır [4, 7].

Havacılık endüstrisinde, tasarımlar; emniyet, hız ve ekonomi kriterlerinin optimizasyonu ile gerçekleşir. Hava taşıtlarında, uzun hizmet ömrü, belirli navlun, mesafe seyir sürati, irtifa gibi performans değerlerini sağlayan malzemelerden en düşük ağırlığa sahip olanı en uygun dizaynı sağlayacaktır. Kompozitler bu amaçlar için uygun bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. Özgül mukavemet ve özgül rijitlik değerleri esas alındığında; düşük yoğunluklarından dolayı kompozit malzemeler de bu değerler konvensiyonel malzemelere üstünlük sağlamaktadır. Bunlardan dolayı kompozit malzemelerin, hava taşıtlarındaki kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır [7].

Kullanım alanları;

- B2 bombardıman uçağı gövde panelleri; karbon fiber+epoksi
- A380 yolcu uçağı kanat panelleri ve flapler; karbon fiber+epoksi
- A380 yolcu uçağı burun bölümü (radome); CTP
- A380 yolcu uçağı dikey stabilizer; Aramid fiber+epoksi
- Airbus A320 uçaklarında kanatlarda, spaylerde, eleronlarda, kuyruk takımlarında, silindirik motor kılıflarında, karbon takviyeli kompozitler kullanılmıştır.
- Zemin Plakası; Airbus 300/600 uçaklarında kullanılan karbon takviyeli Polieterimid
- Uçak EAPS kapağı; (Karbon Elyafı+PEEK)
- F-14 uçaklarında, yatay dengeleyiciler, F-15 lerde ise yatay ve dikey dengeleyiciler, bor-epoksi kompozit malzemesinden yapılmıştır.
- F-16 larda, yatay ve dikey dengeleyicilerin yanısıra kontrol yüzeyleri de karbon/epoksidir.
- F/A-18 uçaklarında kanat yüzeyleri, yatay ve dikey dengeleyiciler, hız frenleri ve kontrol yüzeyleri,
- AV-8B uçaklarında; kanatlar, yatay dengeleyiciler, ön gövde ve kontrol yüzeyleri karbon-epoksi olarak yapılmıştır.

- Boing 757 ve 767 lerde; kontrol yüzeyleri karbon-epoksi motor kaportaları karbon/aramid-epoksidir.

### 3.7.2. Otomotiv Sanayi

Otomobil firması müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek çevresel şartların baskısı altında daha hafif otomobiller üretmektedirler. Hafif otomobiller daha çabuk hızlanabilen, daha çabuk durabilen ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az benzine ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir [7]. Kompozitler otomobillerde ilk olarak aksesuar amaçlı kullanılmaktayken günümüzde yapısal parçalarda da kullanılmasıyla bu endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahip olmuşlardır.

Kompozit malzemelerin otomotiv sanayisinde kullanımını iki temelde toplanabilir:

1. Metal parçaların birebir kompozitlerle değiştirilmesi,
  2. Kompozit malzemeden yeni tasarımlar yapılarak parça sayısının azaltılması [4].
- Cam Sileceği; %30 Cam+PBT
  - Fitre Kutusu; Mercedes, %35 Cam+Poliamid 66
  - Pedallar; %40 Cam+Poliamid 6
  - Dikiz Aynası; %30 Cam+ABS
  - Far Gövdesi; BMW, %30 Cam+PBT
  - Hava Giriş Manifoldu; BMW, Ford, Mercedes, %30 Cam+Poliamid 6
  - Otomobil Gösterge Paneli; GMT
  - Otomobil Spoiler; CTP
  - Otomobil Yan Gövde İskeleti; Ford, CTP
  - Otomobil kaporta; Corvette, SMC CTP [7].

Ağırlığın ve mukavemetin çok önemli olduğu Formula 1 araçlarında birçok parça için karbon fiber takviyeli kompozit malzeme kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerin hafifliğinden dolayı daha çabuk hızlanabilen ve durabilen daha küçük bir motora ve daha az benzine ihtiyaç duyan taşıtların imali mümkün olmaktadır [4].

### 3.7.3. Günlük ve Ticari Hayatta Kullanım

Bu amaçla, yaygın şekilde cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Cam elyaf oranı % 30– 40 arasındadır. Çay tepsisi, masa–sandalye, depo, küvet, tekne, bot ve otomotiv sanayi bu kompozitlerin uygulama örnekleridir. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve araç şarjı atlama sıırıkları, kaynak takımı, tenis raketi, yarış kanoları değişik birleşik malzemelerden yapılan ürünlerdir [15].

### 3.7.4. Denizcilik Sanayi

Kompozit malzemeler, korozyon direncinin iyi olması, hafifliği, yakıt tasarrufu sağlaması, daha hızlı hareket olanağı sağlaması ve daha konforlu olmasından dolayı deniz endüstrisinde çeşitli uygulama alanlarında yer bulmuştur [4].

- Yelkenli Gövdesi; CTP, Balsa ve polimer köpük üstüne cam, aramid karbon dokumaları ile kaplanması
- Yat, Tekne Arkası Platform
- Basamaklar; CTP
- Yelken Direği; Kevlar+Epoksi [7].

### 3.7.5. Spor Araçları

Kompozit malzemelerin popüler olduğu yeni sektörler arasında spor araç ve gereçleri her geçen gün daha da öne çıkmaktadır. Özellikle ağırlığın azalması, dolayısıyla hareket kabiliyetinin artması ve dayanıklılığın artmasına neden olan cam ve karbon elyafı takviyeli kompozitler kullanılmaktadır [4, 7].

Kompozitler kano, sörf ve yatlar için çok önemli olan malzeme yoğunluğu ve darbe dayanımı konusunda üstün özelliklere sahiptirler. Dağ bisikletleri en iyi katılık/ağırlık oranı ve en düşük ağırlık özellikleri kazanmak için karbon elyafı ile üretilmektedir. Korozyona dayanım, şok emme ve sağlamlık gibi üstün özellikler kazandırmaktadır. Ayrıca golf sopası, tenis raketi gibi spor ürünlerinde ağırlığı düşürmek için karbon elyafı takviyeli kompozit malzemelerden üretilmektedirler.

- Su kayağı; Termoplastik prepreg
- Kar kayağı; Ahşap üzerine sarılmış karbon, aramid, cam elyafı karışımı+epoksi
- Kano küreği; (%33 Cam+Poliftalamid)
- Su kaydırakları; CTP
- Sörf Tahtaları; CTP
- Bisiklet; (Karbon+Poliamid 6), yaklaşık 1kg ağırlığında
- Reebok Spor Ayakkabı; termoplastik poliüretan, petek (honeycomb)
- Golf Sopası; Karbon Fiber+Epoksi
- Tenis Raket; Aramid (Kevlar)+Epoksi
- Zıpkın Gövdesi; Karbon Fiber+Epoksi
- Palet; Karbon Fiber+Epoksi [4, 7].

### 3.7.6. Sağlık

- Tekerlekli sandalye; Cam veya Karbon Elyaf takviyeli Polyester
- Tıbbi Tetkik Cihazları Dış Muhafazaları; CTP [7].

### 3.7.7. Yapı-İnşaat Sektörü ve Şehircilik

Bu alanda kompozitler, toplu konut yapımında, cephe korumalarında, büfelerde, otobüs duraklarında, soğuk hava depolarında, inşaat kalıplarında, seyyar tuvaletler gibi kabinlerin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca çevre güzelleştirme çalışmalarında, heykeller, banklar, elektrik direkleri, çocuk parkı gereçleri, çöp bidonları gibi araçların üretiminde de kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Hafiflik, yüksek mekanik dayanım, tasarım esnekliği ve kolaylığının yanında nakliye ve montajda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. İzolasyon sorunlarını ve bakım giderlerini azaltmaktadır [4, 16].

Ayrıca köprülerde, yürüme yollarında, kapılarda, yüzme havuzlarında, yer karolarında, sokak lambalarında, küvetlerde ve lavabolarda kompozit malzemelere rastlamak mümkündür [4].

- Köprü Tabanı; CTP
- Tırabzanı; CTP



- Yürüme yolları; CTP
- Taşıyıcı Konstrüksiyon; CTP
- Bina Balkon Korkuluğu; CTP
- Kapı; CTP
- Taşıyıcı Konstrüksiyon, Yüzme Havuzu, Kapı Saçağı, Yer karoları; SMC
- Bina Kaplama Panelleri: CTP
- Küvet; CTP
- Lavabo; CTP
- Sokak Lambası; CTP [7].

### **3.7.8. Müzik aletleri**

London College of Furniture ve diğer bazı yerlerde ileri kompozit malzemelerle müzikal enstrümanlar yapılması üzerine çalışmalar bulunmaktadır. İleri kompozit malzemelerle yapılan yaylı sazlarda boyun kısmının tellerin gerilmesinden dolayı deforme olması karşılaşılan temel sorunlardandır.

- Keman; Karbon Fiber+Epoksi
- Gitar; Karbon lamine tabakalar arası polimer köpük
- Akustik Gitar; Grafit-Epoksi
- Çello; Karbon + Epoksi [7].

### **3.7.9. Diğer Alanlar**

Kompozit malzemeler üstün performans özellikleri nedeniyle yukarıda sayılan alanlar dışında ev aletlerinde, iş makinelerinde, elektronik malzemelerde, teleferiklerde, rüzgar tribünlerinde, silahlarda, dişli çarklarda kısacası hayatımızın her alanında kullanılan vazgeçilmez bir malzeme haline gelmişlerdir [4, 16].

## 4. KARBON LİFLERİ

Karbon lifleri insanların tekstilden beklentilerinin değişmesiyle yeni ve kullanışlı malzeme arayışıyla ortaya çıkmış olan sentetik inorganik bir lifdir [4].

Karbon lifi ilk defa 1879 yılında Edison tarafından, elektrikli lambalarda ampul teli olarak kullanabilmek için, selüloz esaslı liflerden (bambu lifi) lif yapısını bozmadan karbon lifleri elde edilmiştir ancak diğer kullanım amaçları için, bu lifler kırılğan ve mekanik dayanımlarının düşük olması nedeniyle kullanılmamıştır.

1950 yılında sentetik liflerden ve özellikle poliakrilnitril liflerinden elde edilen yüksek kaliteli karbon lifleri, “Siyah Orlon (Black Orlon)” adıyla piyasaya çıkmıştır.

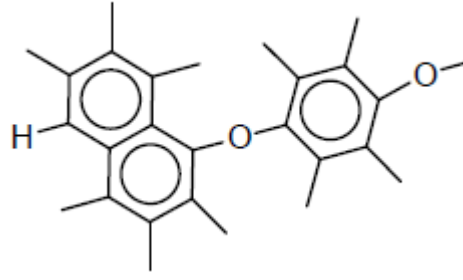
1960 yılından beri ise yüksek dayanımlı, flexible karbon lifleri üretilmeye başlanmıştır [18].

1990 yıllarına kadar kullanımı oldukça sınırlı kalmıştır. Fakat 1990 yıllarından itibaren fiyatlarında meydana gelen düşüşler ve kullanıma uygunluğunun artmasıyla kullanımı artış göstermektedir [2, 8, 11].

Karbon liflerinin çoğunluğu Japonya’da üretilmekte Amerika’da tüketilmektedir [4].

Genellikle karbon yerine grafit de denilmektedir. Bu iki terim aynı materyali tanımlamak için kullanılmaktadır. Fakat karbon lifleri % 95 civarında karbon içeren ve 900°C ile 1500°C arasında karbonlaşırken; grafit elyaflar %99 civarında karbon içeren ve 1900-3000°C sıcaklıklar arasında karbonlaşan malzemelerdir [2].

Karbon liflerinin nitelikleri, lif mikro yapısına ve atom yapısına bağlıdır. Bu etmenler, kullanılan başlangıç hammaddesi, üretim ortam ve şartları, ısıl işlemin sıcaklığı tarafından belirlenir.



Şekil 4.1. Karbon lifinin birim hücresi

Lifin enine kesiti, yuvarlak, düzensiz hatta kemik biçiminde olabilir. Yüzey görünüşü, başlangıç lifine bağlı olarak değişir. Örneğin; poliakrilonitrilli lifte pürüzsüz; rayonlarda boydan boya oluklu olur. Reçinelere yapışma özelliklerini artırma amacıyla, lif yüzeyleri genellikle işlenir. Bu amaçla ya gaz ve sıvı yükseltgeme (çukur oluşturma) ya da iplikleştirme (yüzeyde silikon nitrür billurlarının oluşması) yöntemlerinden yararlanılır [4].

Karbon lifleri piyasada 2 şekilde bulunur:

1.Sürekli Elyaflar: Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda ve prepreg'larda kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

2.Kırpılmış Elyaf: genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler [17, 20, 21, 22].

#### 4.1. Karbon Liflerinin Özellikleri

Karbon lifleri,

- 3650°C'de yüksek süblimasyon sıcaklığına sahip,
- Hızlı temperatur değişmelerine karşı dayanıklı,
- Düşük genleşme katsayısına sahip,
- Korozyona ve elektriksel dayanıklılığı yüksek,
- Kopma dayanımı ve E-modülü yüksek [18, 19],

- Mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları yüksek,
- Isıya karşı boyutsal stabilitesi yüksek,
- Erime noktası yüksek,
- Katılıkları yüksek,
- Elyaf yoğunluğu düşük
- Hafiflik ve Rijitlik

gibi özelliklere sahiptir.

Normal sıcaklıklarda elastik olduğundan sürtünme direnci yüksektir ve çabuk yorulmazlar. Karbon lifleri güçlü oksidasyon ortamları ya da erimiş metallere etkileşim haricinde kimyasal olarak ilgisizdirler. Karbon liflerinin olağanüstü termofiziksel özellikleri ve mükemmel sönümlenme karakteristikleri vardır. Ancak sınırlı uzama özellikleri bazı darbe sorunlarına neden olmaktadır ve elektrik iletkenliği de kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Karbon liflerinin genel özellikleri Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1,75 - 2,20
Gerilme Dayanımı (MPa)	2500 – 3500
Gerilme Modülü (GPa)	200 – 900
Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	3000 – 3500
Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	220000

Şekil 4.2. Karbon liflerinin genel özellikleri

#### 4.2. Karbon Liflerinin Üretimi

Her geçen gün önemleri artan bu liflerin üretimleri iki grup altında toplanabilir:

1. Mekanik özellikleri yüksek lifler: Bu liflerin kopma dayanımları 200-250 kg/mm<sup>2</sup>, elastik modülleri 20,000-60,000 kg/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Bu tip liflerin üretimleri 4 grup altında toplanabilmektedir:

- Poliakrilnitril liflerinin karbonizasyonu
- Polivinilidenklorür veya polivinilidenklorür kopolimer liflerin karbonizasyonu

- Taş kömürü katranı tortusunun pirolizinden elde edilen anisotrop mesofaz (likid kristal) dan çekilen liflerin karbonizasyonu
- Özellikleri kısmen düşük selüloz türevlerinden, taş kömürü katranı tortusu veya kömür ekstraksiyonundan elde edilen, lifleri 2500°C ve daha yüksek sıcaklıklarda işleme sokulması veya %100 oranında gerdirilmesi sonucu elde edilmektedirler.

Bu tip liflerin ham maddelerinin pahalı olması, verimin düşük, yüksek sıcaklıklarda gerdirme işleminin endüstriyel olarak uygulanması zorlukları nedeniyle pahalı liflerdir.

Bu lifler çeşitli plastik ve metal bileşiklerinin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar.

**2. Mekanik özellikleri düşük lifler:** Bu liflerin kopma dayanımları 50-100 kg/mm<sup>2</sup>, elastik modülleri ise yaklaşık 5000 kg/mm<sup>2</sup> civarındadır. Bu lifler genellikle, selülozdan, kömür tortusundan, petrol bitümünden, taş kömürü ekstraktından elde edilirler. Mekanik özelliklerinin düşük olması nedeniyle birinci tiplere göre ucuz lifler olup, kimyasal inertlikleri, ısı dirençleri, elektrik kondüktiviteleri, termik izolasyon maddesi olarak kullanılabilirleri, yalıtkan bileşik eldesinde kullanılabilirleri açısından birinci tiplerle aynı özelliktedir [18, 19].

Katran temelli karbon fiber üretimi dünya üretiminde %6 iken, PAN temelli karbon fiber üretimi %94'ü bulmaktadır. Katran temelli üretimi özellikle Japonlar, PAN temelli üretimi ise Amerikanlar yapmaktadır [25].

#### **4.2.1. Poliakrilnitril (PAN) Liflerinin Karbonizasyonu ile Karbon Elyaf Üretimi**

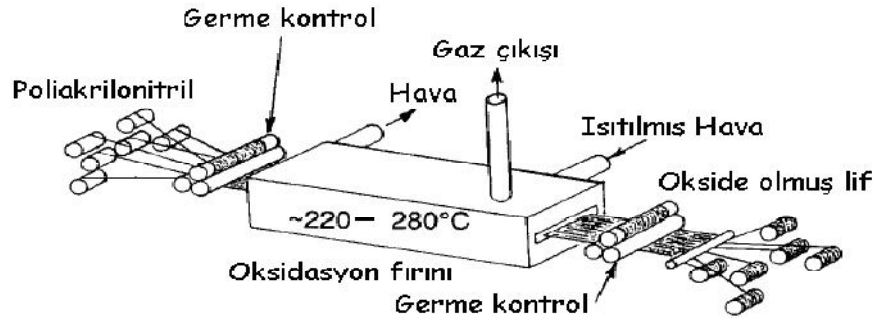
PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. PAN elyafı Oksidasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon işlemlerinden geçirilerek karbon elyafına dönüştürülmektedir.

##### **1. Oksidasyon:**

Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300°C'de ısıtılır. Bu işlem, elyaftan Hidrojen'in ayrılmasını daha uçucu olan Oksijen'in eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek grafit teknelerine konur. Polimer, merdiven

yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyah olur [17, 21, 22].

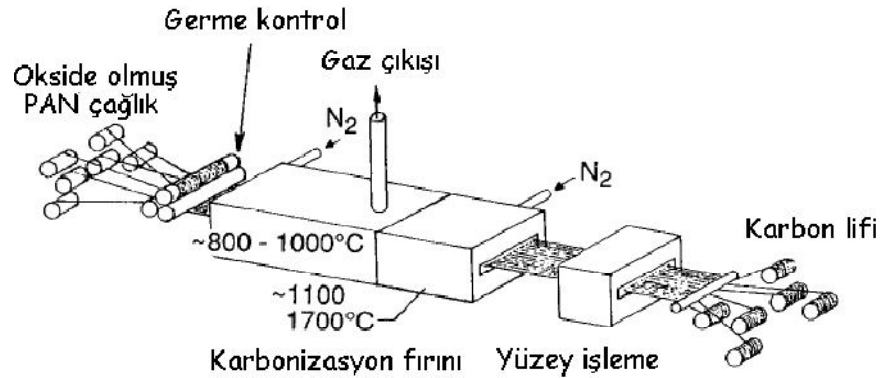
Oksidasyon işlemi esnasında lifte bir büzülme gözlenmektedir.



Resim 4.1. Pan liflerinin oksidasyonu [4].

## 2. Karbonizasyon:

Yaklaşık 1200-1600°C de karbonizasyon işlemi yapılır. Bu işlem inert gaz, azot gazı, karbon monoksit gazı veya hidrojen gazı atmosferinde gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda lifin ilk ağırlığına göre %50-65 oranında ağırlık kaybına uğrar [18, 19]. Bunun nedeni de lif yapısında bulunan su, azot, hidrojen, amonyak, karbon monoksit, karbondioksit gibi gazların serbest kalmasıdır [2, 8].



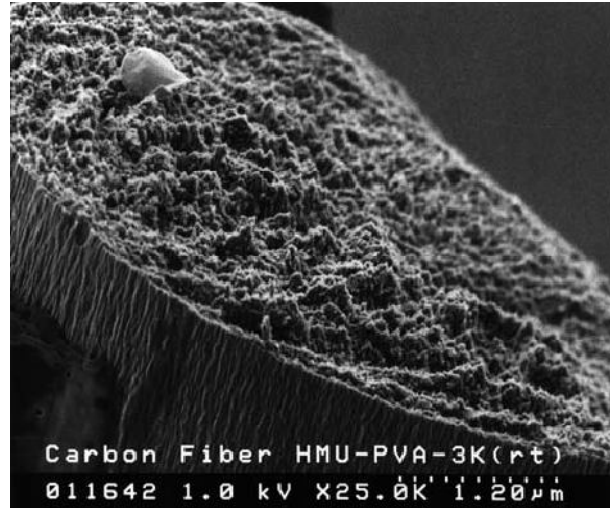
Resim 4.2. Pan liflerinin karbonizasyonu [4].

## 3. Grafitizasyon:

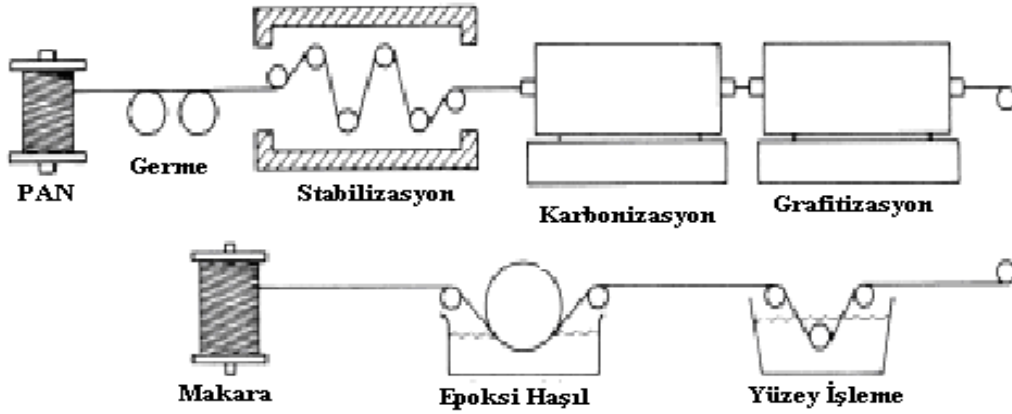
Lifin özelliklerini geliştirmek için 3000°C civarında işleme tabi tutulurlar. Grafitizasyon işlemi ile elde edilen kristal yapı geliştirilir ve yönelim özelliği iyileştirilmektedir [2, 18, 19].

Grafitizasyon işleminin ardından isteğe bağlı olarak yüzey iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler ile yüzey pürüzlülüğü ve yüzeydeki oksitlenmiş fonksiyonel grup yoğunluğu artırılmaktadır. Böylece kompozit kullanımlarında lif ile matris arasındaki bağ kuvveti arttırılmaktadır

Yüzey işleminden sonra liflerin ıslanabilirliğini artırmak amacıyla düşük moleküllü epoksi ile haşılama işlemi gerçekleştirilmektedir [2].



Resim 4.3. Karbon lifinin yüzey görüntüsü [4].



Şekil 4.3. PAN esaslı karbon lif üretimi [2]

#### **4.2.2. Polivinildenklorür veya Polivinildenklorür Kopolimerlerinden Karbon Lifi Üretimi**

Vinilidenklorürün polimerizasyonu ile elde edilen polivinilidenklorür liflerinin en önemli özellikleri tutuşmaz ve ısı iletmez olmalarıdır. Bu nedenle ısı izolasyonunda kullanıldıkları gibi, tutuşmaz karbon lifleri üretiminde de kullanılmaktadırlar.

Filament halindeki polivinilidenklorür lifleri, azot içeren organik bir bileşik içerisinde, nemsiz ortamda düşük sıcaklıklarda işlemden geçirilmektedir. Daha sonra 90°C den 1500°C ye kadar düzgün bir ısı artışı ile en az 5 dakika karbonize ederek, karbon lifi elde edilmektedir

Filament olarak saf polivinilidenklorür lifleri kullanılabileceği gibi %15-20 oranında kopolimer içeren polivinilidenklorür kopolimer lifleri de kullanılabilir. Polivinilidenklorür liflerinin kopma dayanımlarının çok fazla düşmemesi için kopolimer miktarı %40'ı geçmemelidir.

Bu şekilde elde edilen karbon lifleri 1500-3000°C de, ısı işleme tabi tutularak grafitize edilebilirler. Bu amaçla karbon liflerinin en az 10 saniye bu sıcaklıkta beklemesi gerekir [18].

#### **4.2.3. Taş Kömürü Katranı Tortusu veya Petrol Zifti Pirolizinden Elde Edilen Karbon Lifi Üretimi**

Taş kömürü katranının yüksek sıcaklıkta destilasyonu sonucu geri kalan tortu, birçok kompleks hidrokarbonların karışımıdır. Bu tortu içerisinde belirli miktarda çözünmeyen karbon partikülleri de bulunmaktadır. Bu karbon partiküllerinin giderilmesi için filtrasyon işlemi uygulanır. Bu işlem için katran tortusu birkaç barlık basınç altında 170°C deki kızgın plakalar üzerinden geçirilerek filtre edilir.

Petrol kaynaklı reçinemsiz madde (zift) içerisinde ise katı maddeler bulunmamaktadır.

Lif çekimini kolaylaştırmak için ve elde edilecek karbon lifinin yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini geliştirebilmek için, filtre edilmiş katran tortusu veya zift içerisine katkı maddeleri ilave edilmelidir. Katkı maddelerinin ilavesinden sonra katran tortusu veya zift karıştırılarak 400°C nin üstüne kadar ısıtılır. Bu işlem sırasında hafif



bileşikler uçar. Geriye kalan hammadde lif çekimiyle lifler elde edilmektedir. Fakat bu lifler eriyebilen liflerdir. Bu nedenle bu özelliği ortadan kaldırmak için liflere sırayla oksidasyon ve karbonizasyon işlemleri uygulanır [18].

#### **4.2.4. Bitkisel Esaslı Hammaddelerden Karbon Lifi Üretimi**

Bitkisel esaslı hammaddeler ucuz olmaları nedeniyle karbon lifleri üretiminde kullanılmaya başlanmıştır.

##### **4.2.4.1. Lignin'den Karbon Lifi Üretimi**

Lignin organik bir polimer maddedir. Lignin hammaddesi olarak kâğıt endüstri artıkları kullanılacak ise bunların nötralize edilmesi gerekmektedir. Nötralizasyon ast ilave edilerek yapılır ve sonra yıkanarak alkol ile ekstrakte edilir. Eğer hammadde olarak talaş veya işlem görmemiş odun hamuru kullanılacak ise ekstraksiyon organik çözügenle yapılır. Ekstraksiyondan amaç, karbon lifi üretiminde kullanılacak ligninin saf olması gerekmesindedir.

Ekstraksiyon sonucu elde edilen lignin ekstraktı, ligninin polimerizasyonunu sağlayabilmek için 180-210°C de ilk ısıl işleme tabi tutulur. Isıl işlem süresi 30 dakika ile 12 saat arasında değişebilir. Viskozite istenilen seviyeye ulaştıktan sonra lif çekimi yapılır. Bu şekilde elde edilen lifler, 1500-1800°C de karbonizasyona tabi tutulur bu işlemin süresi 10 dakika ile 2 saat arasında değişebilir. Bu ikinci ısıl işlem sırasında lifler gerdirme işlemine tabi tutulur.

##### **4.2.4.2. Selüloz Maddesi ve Rejenere Selüloz Liflerinden Karbon Lifi Üretimi**

Bu üretim sisteminde selüloz maddesinden önce, rejenere selüloz lifleri elde edilir ve lifler kurutulduktan sonra azot veya argon bulunan ortamda yavaşça 400°C ye kadar ısıtılır daha sonra 1000°C ye kadar ısıtılarak tamamen karbonize edilir. Eğer mekanik özellikleri yüksek karbon lifi elde edilmek istenirse 3000°C de ısıl işleme sokularak germeyle grafitleştirme işlemi yapılır [18].

#### 4.2.5. Karbon Liflerinin Kullanım Alanları

Karbon lifleri kompozit yapılardan inşaat sektörüne kadar, peyzajdan tıba kadar oldukça değişik alanlarda kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemet değerleri sayesinde oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Tablo 1’de karbon liflerinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları verilmektedir.

Tablo 1. Karbon liflerinin karakteristikleri ve uygulama alanları [26].

1. Fiziksel dayanım, özel tokluk ve düşük ağırlık	Uzay, yol ve liman yapımlarında, spor malzemelerinde
2. Yüksek boyut stabilitesi, düşük termal uzama katsayısı ve düşük aşınma	Füze, uçak frenlerinde, uzay antenlerinde ve destek yapılarda, büyük teleskoaplarda
3. İyi mukavemet	İşitsel ekipmanlar, Hi-fi ekipmanları için hoparlör, pikap kolu, robot kolu
4. Elektriksel iletkenlik	Otomobil, elektronik ekipmanlar için kaplamalar, EMI ve RF koruyucu kılıf, fırçalar
5. X-ray geçirgenliği ve biyolojik hareketsizlik	Protez gibi tıbbi uygulamalar, araştırma ve x-ray cihazları, implantlar, tendonlar
6. Yorulma direnci, kendi kendini yağlama, yüksek sönüm	Tekstil makineleri
7. Kimyasal hareketsizlik, yüksek korozyon direnci,	Kimyasal endüstri, nükleer alan, valfler, yelkenler, pompa bileşenleri
8. Elektromanyetik özellik	Zincir koparan büyük jeneratörler, radyolojik ekipmanlar

Karbonlar filament iplik ve kablo olarak yüksek mekanik sağlamlıklarından dolayı çeşitli sentetik maddelerin takviyesinde kullanılır. Ancak karbon liflerinin yüzeyleri, bu sentetik reçinelerle bağ oluşturmaya elverişli olmadığından, yüzeysel özelliklerinin geliştirilmesi için %1-5 oranında su içeren azot atmosferinde 1400-1500°C de 28 saniye kadar ısıtılmalıdır. Bu işlem sonucunda lif yüzeyi aktif hale geldiği gibi, lif özelliklerindeki bozulma da minimuma indirilmektedir. Daha sonra epoksi veya poliimid reçineleriyle kaplanmasıyla kompozit bir yapıya dönüştürülerek uzay endüstrisinde kullanılmaktadır.

Uzay ve uçak sanayinde kullanılan alüminyum gibi hafif metallerin takviyesinde, spor malzemelerinin (tenis, buz hokeyi, kayak gibi) çok hareketli kısımlarında karbon lifleri kullanılmaktadır. Yurdumuzda ortopedik malzeme yapımında sağlamlığı ve yanmazlığı arttırmak amacı ile kullanılmaktadır.

Karbon yünü ve keçeleri üstün ısı izolasyon maddesi olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan, agresif gaz ve sıvılar için filtre, katalizör taşıyıcısı, yakıt kabı, akümülatör için elektrot olarak kullanılmaktadır.

Karbon kumaşlar elektrik izolasyonunda, elektrik ile ısınan fırınlarda kullanılmaktadır.

Ses hızının üstünde uçan uçakların fren disklerinde takviye maddesi olarak karbon dokumalar büyük önem taşımaktadır.

Otomobil endüstrisinde ve sürtme balatalarının yapımında da kullanılmalarıyla üretim ve tüketim miktarı daha da artmaktadır [18, 26].

Rüzgar türbinlerinde spesifik dayanım ve sertlik çok önemlidir. Bu yüzden karbon lifi kullanımı bunlarda da çok avantajlı olmaktadır.

Yakıt hücrelerinde de karbon lifi kullanılmaktadır. Karbon lifi zorunlu elektriksel özellikleri ve tanımlanan kütle özellikleriyle yarı geçirgen bir membran olarak kolayca yapılandırılabilirdiği için polimer elektrolit yakıt hücrelerinde elektrot olarak tercih edilen bir materyal olmaktadır.

Yakıt filtrelerinde de ısıya ve basınca dayanımı yüksek olduğu için tercih edilmektedir.

Dijital kamera ve laptop iskeleti olarak kullanılan karbon lifi termoplastik bir reçine ile oluşturduğu kompozit malzemelerle notebook parçalarında ve elektronik parçalarda da kullanılmaktadır.

Karbon lifi ile takviyelendirilmiş polimerler sensör olarak kullanılmaktadır.

Karbon lifinin, bilinen bütün malzemeler içinde en iyi biyouyumluluğa sahip olduğu ve kemik, yumuşak doku ve kanla uyumlu olduğu bilinmektedir.

Karbon lifi ile kuvvetlendirilmiş polibütilentereftalat implantasyon sırasında kemik kayıplarını azaltmak için çeşitli kemik yapılarında kemik içerisine yerleştirilerek kullanılmaktadır.

Suni eklem, suni tendon, suni karaciğer yapımında, X-ray cihazları ve tekerlekli sandalyede de karbon lifleri kullanılmaktadır [4].

## 5. MATERİYAL ve METOT

### 5.1. Kompozit Plaka Üretimi

Bu tez çalışmasında kompozit malzeme üretimi için Akxa Akrilik Kimya A.Ş.'nin karbon elyaf üretimi esnasında ortaya çıkan karbon telefleri kullanılmıştır. Lifler Uşak Üniversitesi araştırma laboratuvarında bulunan zaman ve ısı kontrollü hidrolik pres kullanılarak kompozit plakaya dönüştürülmüştür. Kompozit malzemelerin boyutu 80cmX100cm.dir. Üretilen kompozit malzemeler farklı lif ağırlığına sahiptir. Hidrolik pres Resim 5.1'de gösterilmiştir.



Resim 5.1. Zaman ve ısı kontrollü hidrolik pres

Kompozit yapıların hazırlanmasında elle yatırma metodu kullanılmıştır. Kompozitlerin üretiminde öncelikle kalıplar temizlenmiştir. Temizlenen kalıp üzerine

kompozit yapının kalıptan kolay bir şekilde çıkarılabilmesi için folyo serilmiştir. Daha sonra folyo üzerine karbon telefleri rastgele fakat kalıbın her tarafına olabildiğince eşit olacak şekilde serilmiştir. Karbon teleflerinin üzerine DTE 1100 epoksi reçine ve DST 1105 hızlandırıcı karışımı dökülmüştür. Karışımın %76'sı epoksi reçine, %24'ü hızlandırıcı malzeme olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu karışım mümkün olduğunca her tarafa eşit olacak şekilde elle dağıtılmıştır.

Daha sonra dağıtılan liflerin üzerine tekrar folyo serilmiş ve en son üstüne kalıp kapatılarak hidrolik prese yerleştirilmiştir. Yerleştirilen malzeme 113°C sıcaklık ve 80 bar basınç altında 100 dakika bekletilmiştir. Daha sonra makineden çıkarılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Kompozit plakanın üretim aşamaları Resim 5.2, Resim 5.3 ve Resim 5.4'te gösterilmiştir. Elde edilen plakalardan test numuneleri su jeti yardımı ile kesilmiştir.



Resim 5.2. Kompozit malzeme üretim masası





Resim 5.3. Kompozit malzeme üretimi (Liflerin serilmesi)



Resim 5.4. Kompozit malzeme üretimi (Reçinenin sürülmesi)

## 5.2. Mekanik Testler

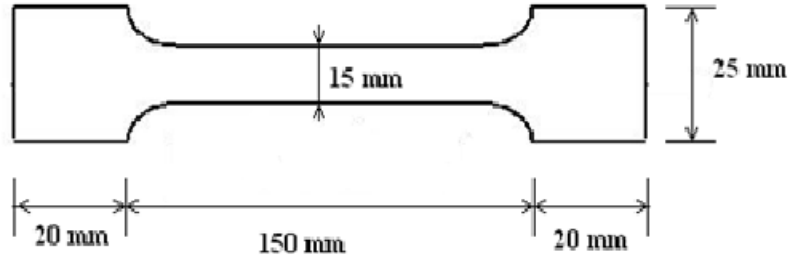
Üretilen numunelerin mekanik testleri Uşak Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Fiziksel Tekstil Laboratuvarı'nda, Üniversal Test Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numunelere mekanik testlerden çekme ve kayma testleri oda sıcaklığında uygulanmıştır. Her numune için 8 test yapılmıştır. Kullanılan test cihazı Resim 5.5'te gösterilmiştir.



Resim 5.5. Üniversal test cihazı

### 5.2.1. Çekme Testi

Bu tez çalışması için çekme testleri ASTM D3039-76 standartları kullanılarak yapılmıştır. Numuneler standartlara uygun olarak su jeti yardımıyla kesilmiş olup, numuneler arası boyut farkı ihmal edilecek seviyededir. Kesilen kompozit yapılar Üniuersal test cihazında sabit bir hızla tek eksenle artan kuvvet uygulanmaktadır. Bu test için kullanılan cihazda sabit bir alt çene ile hareketli üst çene bulunmaktadır. Numuneler 0,5 mm/dk, 5 mm/dk ve 10 mm/dk olmak üzere üç ayrı hızla çekilmiştir. Çekme deneyinde kullanılan numunenin boyutları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



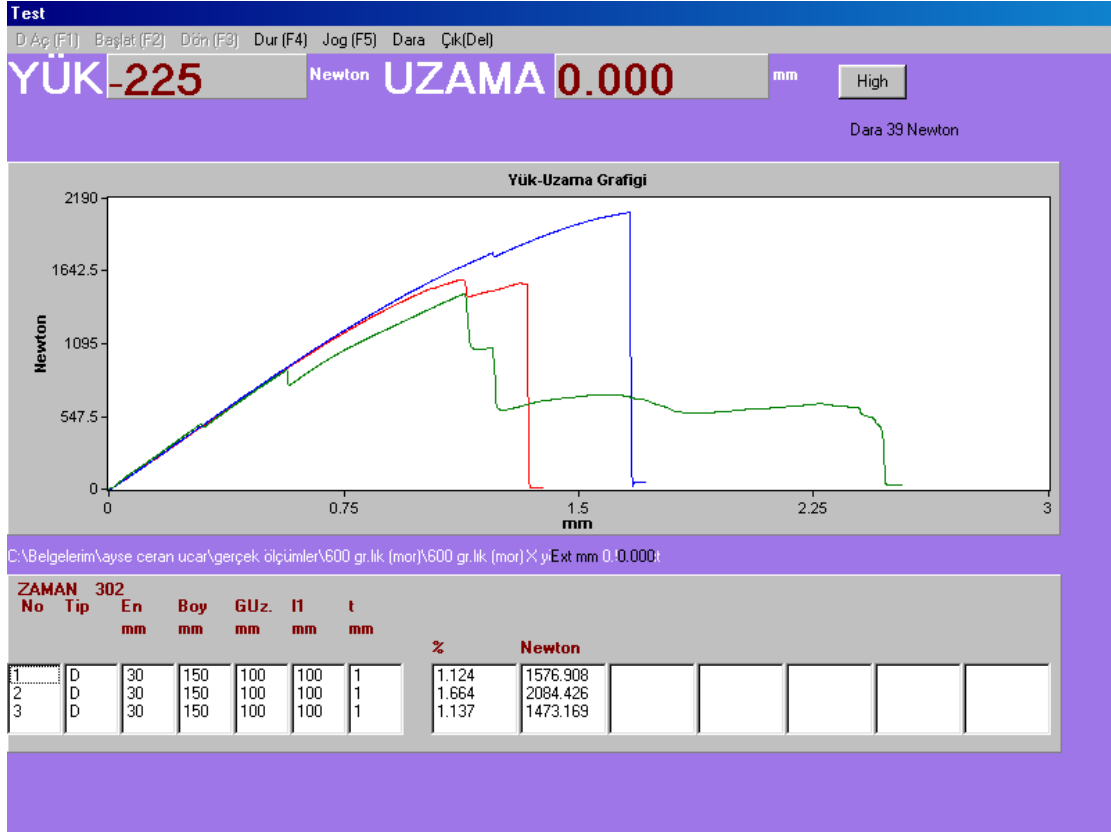
Şekil 5.1. Çekme testi için kullanılan numune boyutları



Resim 5.6. Kompozit plakaların çekme testi için belirlenen boyutlarda kesilmiş hali

Deneyi gerçekleştirmek için öncelikle numune çenelere yerleştirilmiştir. Sonra test cihazının bilgisayar bölümünde hız ve diğer gerekli ayarlamalar yapılmış ve çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem kopma meydana gelene kadar sürmüştür ve test sonucunda çekme diyagramı elde edilmiştir.





Resim 5.7. Çekme deneyi diyagramı

Çekme testi sonucunda malzemelerde meydana gelen hasarlar Resim 5.8 ve Resim 5.9'da gösterilmiştir.



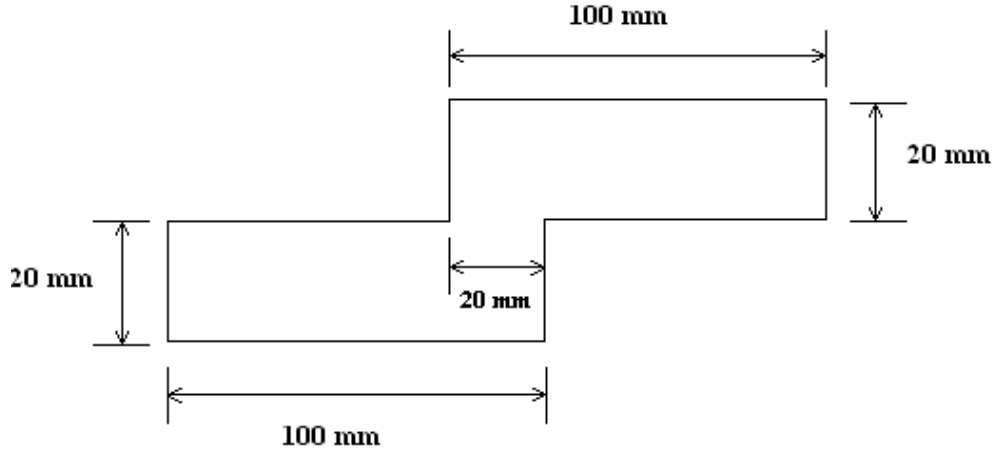
Resim 5.8. Çekme testi öncesi



Resim 5.9. Çekme testi sonrası

### 5.2.2. Kayma Testi

Kayma testleri, çekme testlerinin yapıldığı deney cihazında yapılmıştır. Uygulanan işlemler çekme deneyinde yapılanlarla aynıdır. Kayma deneyi için kullanılan numuneler ASTM D3846-79 standardına göre hazırlanmıştır. Kullanılan numunenin boyutları Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

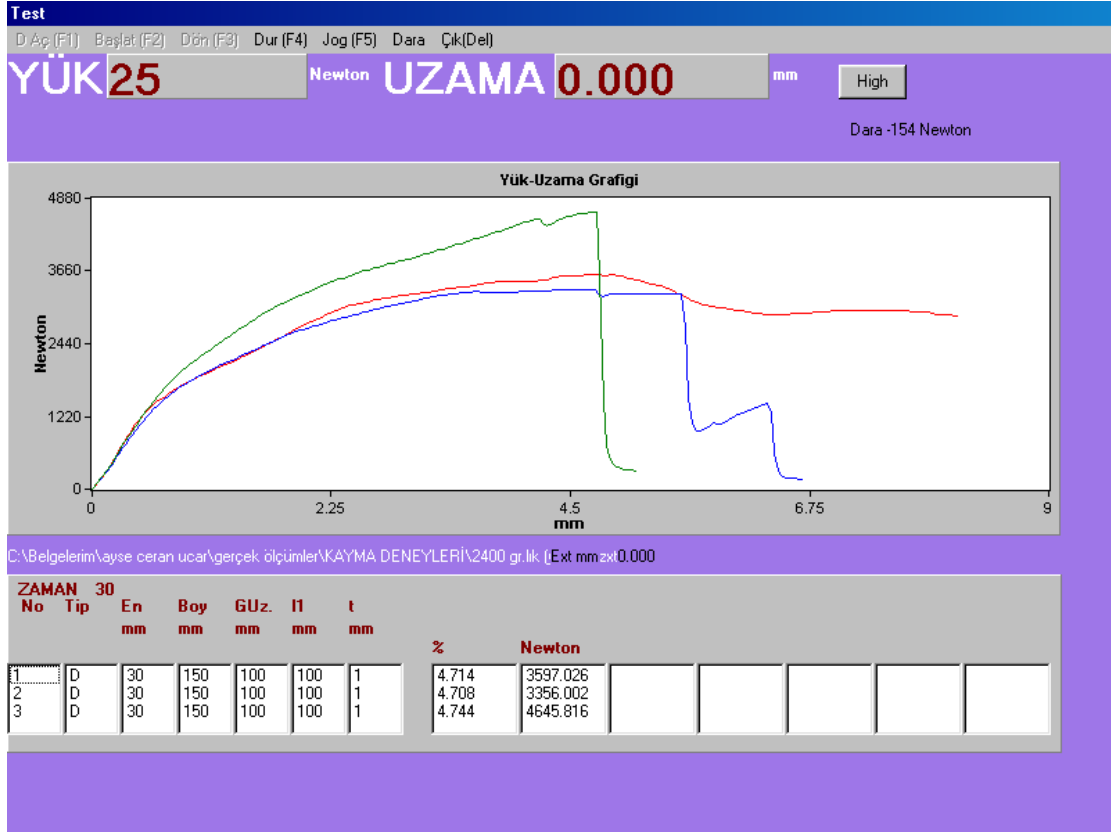


Şekil 5.2. Kayma testi için kullanılan numune boyutları



Resim 5.10. Kompozit plakaların kayma testi için belirlenen boyutlarda kesilmiş hali

Deneyi gerçekleştirmek için öncelikle standartlara göre su jeti yardımıyla kesilmiş olan numune düzgün bir şekilde çenelere yerleştirilmiştir. Sonra çekme testinde olduğu gibi test cihazının bilgisayar bölümünde hız ve diğer gerekli ayarlamalar yapılmış ve çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 0,5 mm/dk, 5 mm/dk ve 10 mm/dk olmak üzere üç ayrı hızla çekilmiştir. Bu işlem kayma meydana gelene kadar sürmüştür. Test sonucunda kayma diyagramı elde edilmiştir.



Resim 5.11. Kayma deneyi diyagramı

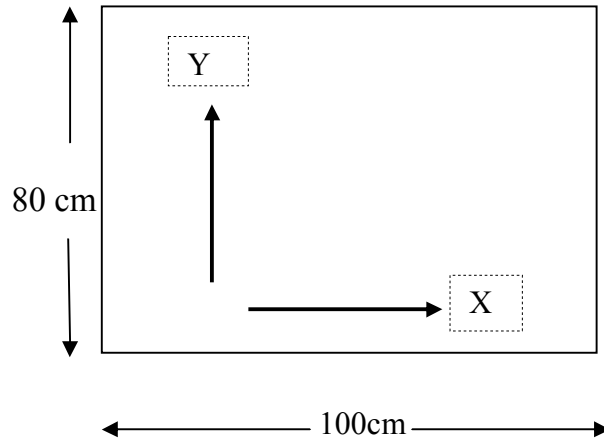
Kayma testi sonucunda malzemelerde meydana gelen hasarlar Resim 5.12'de gösterilmiştir.



Resim 5.12. Kayma testi sonrası malzemedeki hasarlar

## 6. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

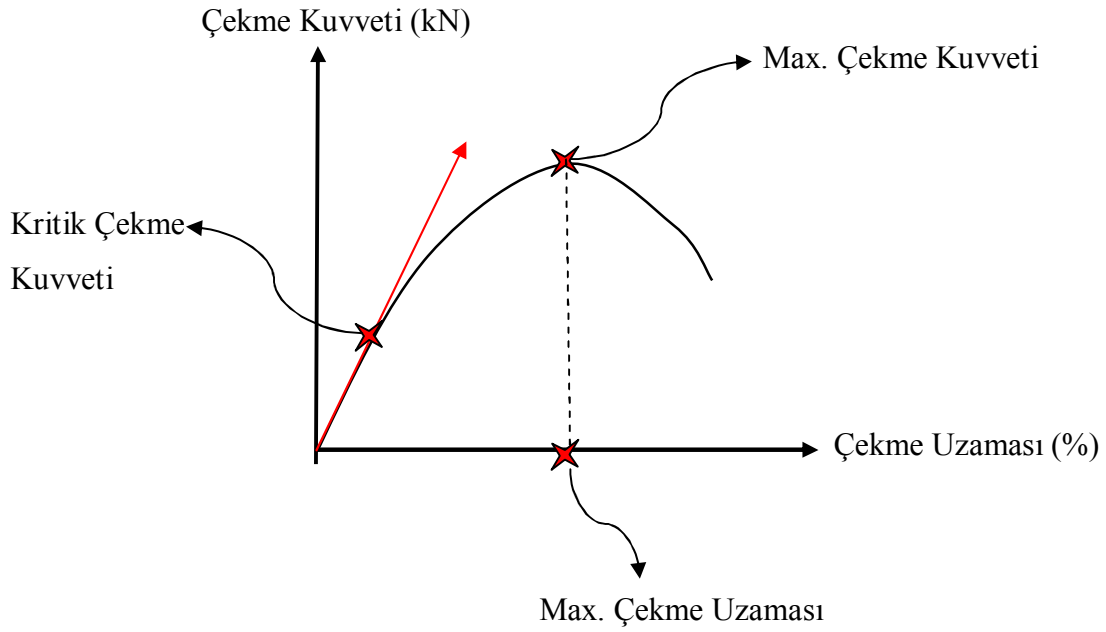
Numunelerin lif ağırlığı, çekme hızı ve yön etmenlerinin mukavemete etkisini araştırmak amacıyla teste tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda kompozit malzemelerin kritik çekme kuvveti, maksimum çekme kuvveti, çekme uzaması, kritik kayma kuvveti, maksimum kayma kuvveti ve kayma uzaması değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiş ve verilerin istatistiksel karşılaştırmaları yapılmıştır. İstatistiksel analizler SPSS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.1’de numune yönü gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Numune yönü

### 6.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi sonucunda maksimum çekme kuvveti, çekme uzaması ve kritik çekme kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Çekme deneyi sonucunda elde edilen değerler

Elde edilen deney sonuçları ve ortalama değerleri tablolar halinde verilmiştir. Çizelge 6.1’de numunelerin maksimum çekme kuvveti değerleri ve istatistikleri verilmiştir. Maksimum çekme kuvveti değerleri Kilo Newton (kN) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 6.1. Numunelerin ortalama maksimum çekme kuvveti değerleri

LİF AĞIRLIĞI (g)	NUMUNE YÖNÜ					
	X yönü			Y yönü		
	ÇEKME HIZI (mm/dak)					
	0,5	5	10	0,5	5	10
600	1,321	1,886	1,935	1,995	1,843	2,465
1200	3,526	2,163	2,841	2,618	3,494	3,714
2400	4,002	5,068	4,932	4,512	3,666	5,317

Çizelgedeki ortalama değerlere bakıldığında en yüksek maksimum çekme kuvveti değerinin 5,317 kN olarak lif ağırlığı en yüksek (2400g) olan kompozitin Y yönündeki numunelerinden 10mm/dak hızla çekilende olduğu görülmektedir. En düşük değer de 1,321 kN'la lif ağırlığı en düşük (600g) olan kompozitin X yönündeki numunelerinden 0,5mm/dak hızla çekilende olduğu görülmektedir. Çizelgeden lif ağırlığı yüksek olan numunelerin kuvvet değerlerinin diğer iki lif ağırlığındaki numunelerin kuvvet değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumdan da, lif ağırlığının kompozitin maruz kaldığı yükleri taşımaya katkısı açısından önemli bir faktör olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te sırasıyla lif ağırlığına, numune yönüne ve çekme hızına göre ortalama çekme kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Numunelerin lif ağırlığına göre maksimum çekme kuvveti değerleri

<b>LİF AĞIRLIĞI (g)</b>	<b>ORTALAMA MAX. ÇEKME KUVVETİ (kN)</b>
<b>600</b>	1,908
<b>1200</b>	3,059
<b>2400</b>	4,583

Çizelge 6.3. Numune yönüne göre maksimum çekme kuvveti değerleri

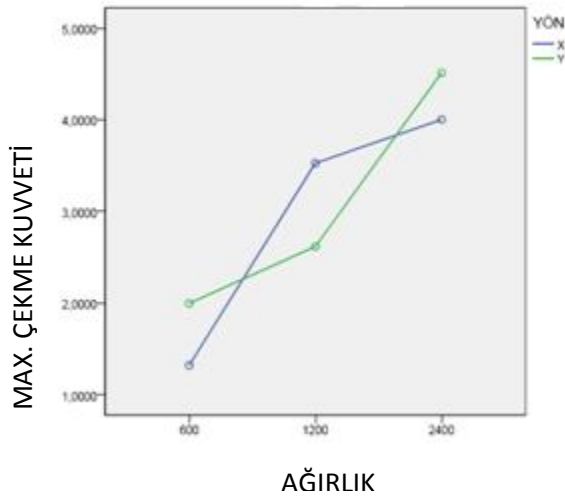
<b>NUMUNE YÖNÜ</b>	<b>ORTALAMA ÇEKME KUVVETİ (kN)</b>
<b>X</b>	3,075
<b>Y</b>	3,292

Çizelge 6.4. Çekme hızına göre maksimum çekme kuvveti değerleri

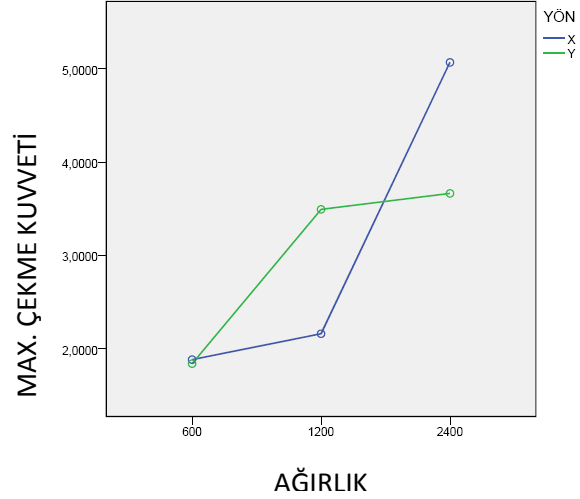
<b>ÇEKME HIZI (mm/dak)</b>	<b>ORTALAMA ÇEKME KUVVETİ (kN)</b>
<b>0,5</b>	2,996
<b>5</b>	3,020
<b>10</b>	3,534

Çizelgelerde de görüldüğü gibi lif ağırlığının, numune yönünün ve çekme hızının maksimum çekme kuvvetine etkisi bulunmaktadır. Çizelgelerden lif ağırlığı veya çekme hızı arttıkça kuvvet değerlerinin de arttığı görülmektedir. Buradan lif ağırlığının ve çekme hızının maksimum çekme kuvvetine etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca çizelgelerde Y yönündeki çekme kuvvetinin X yönündeki çekme kuvveti değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Buradaki değişimin bir nedeni olarak, elyaf yerleşimi manuel olarak yapıldığından dolayı elyafın yük taşıma yönündeki oryantasyonunun eşit dağılmadığı sonucuna varılabilir. Eğer elyaf yerleşimi Y ve X istikametinde eşit şekilde yapılabilseydi, bu değerlerin birbirine yakın çıkması beklenirdi.

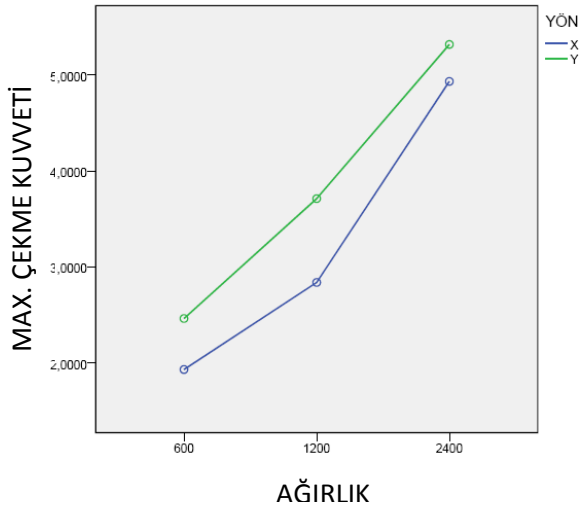
Çizelgelerdeki tüm değerler sonucunda kompozit malzemelerin 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlarında, lif ağırlıkları ile X ve Y yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sırasıyla hız 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak da üretilen ve hız miktarı önemsenmeksizin kompozit malzemenin X ve Y yönündeki maksimum çekme kuvveti değerlerinin ağırlık ile olan ilişkisi gösterilmektedir.



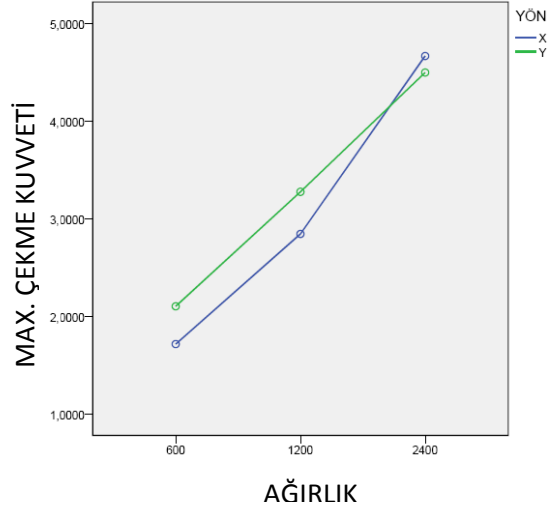
Şekil 6.3. 0,5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi



Şekil 6.4. 5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi

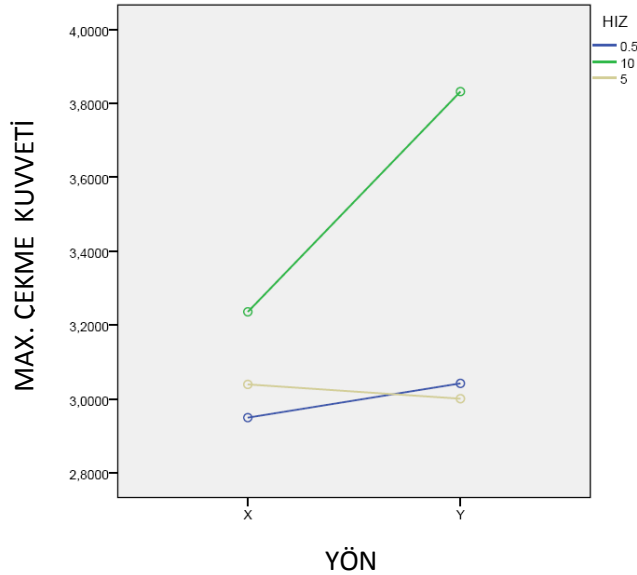


Şekil 6.5. 10mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi



Şekil 6.6. Ağırlık değerinin maksimum çekme kuvvetine etkisi

Şekillerde de görüldüğü üzere tüm hızlarda X ve Y numune yönünde lif ağırlığı arttıkça maksimum çekme kuvveti değeri de artmaktadır. Yani kompozit yapının içerisinde takviye elemanı olarak bulunan karbon teleflerinin miktarının artması kompozitin dayanımını arttırmaktadır ki bu normalde de beklenen bir durumdur. Şekil 6.7’de lif yönünün maksimum çekme kuvvetine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Numune yönünün maksimum çekme kuvvetine etkisi



X ve Y yönüne göre çizilen şekilde 0,5mm/dak hızda Y yönündeki numunelerin maksimum çekme kuvvetinin X yönündeki numuneye göre aradaki fark çok az da olsa daha fazla olduğunu görmekteyiz. 10mm/dak hızda ise Y yönündeki numunelerin maksimum çekme kuvvetinin X yönündekine göre aradaki farkın çok daha fazla olduğunu görmekteyiz. 5mm/dak hızda ise Y yönündeki numunelerin maksimum çekme kuvvetinin X yönündekine göre daha az olduğunu görmekteyiz. Çizelge 6.5'te malzemelerin kritik çekme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Kritik çekme kuvveti değeri malzemenin bu kuvvet esnasında bir değişikliğe (lif kırılmaları, lif kopmaları, uzama... vb.) uğradığını göstermektedir. Kritik çekme kuvveti değeri kN cinsinden verilmektedir.

Çizelge 6.5. Numunelerin ortalama kritik çekme kuvveti değerleri (kN)

LİF AĞIRLIĞI (g)	NUMUNE YÖNÜ					
	X yönü			Y yönü		
	ÇEKME HIZI (mm/dak)					
	0,5	5	10	0,5	5	10
600	0,767	1,269	1,331	1,130	1,231	1,738
1200	2,042	1,667	2,027	1,778	2,265	2,282
2400	2,360	3,098	3,173	2,634	2,421	3,808

Çizelgeye göre en yüksek kritik çekme kuvveti değeri 3,808 kN olarak lif ağırlığı en yüksek (2400g) olan kompozitin Y yönündeki 10mm/dak.da gözlenmiştir. En düşük kritik çekme kuvveti değeri 0,767 kN olarak lif ağırlığı en düşük (600g) olan kompozitin X yönündeki 0,5mm/dak.da gözlenmiştir. Bu çizelgeye göre kritik çekme kuvveti değerlerinin maksimum çekme kuvveti değerlerine paralel değiştiğini söyleyebiliriz. Yani malzeme ne kadar yüksek bir kuvvette değişikliğe uğramışsa, çekme dayanımının da o kadar yüksek olabileceği sonucuna varılabilir. Çizelge 6.6, Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8'de sırasıyla lif ağırlığına, numune yönüne ve çekme hızına göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.6. Numunelerin lif ağırlığına göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri

<b>LİF AĞIRLIĞI (g)</b>	<b>ORTALAMA KRİTİK ÇEKME KUVVETİ (kN)</b>
<b>600</b>	1,244
<b>1200</b>	2,010
<b>2400</b>	2,916

Çizelge 6.7. Numune yönüne göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri

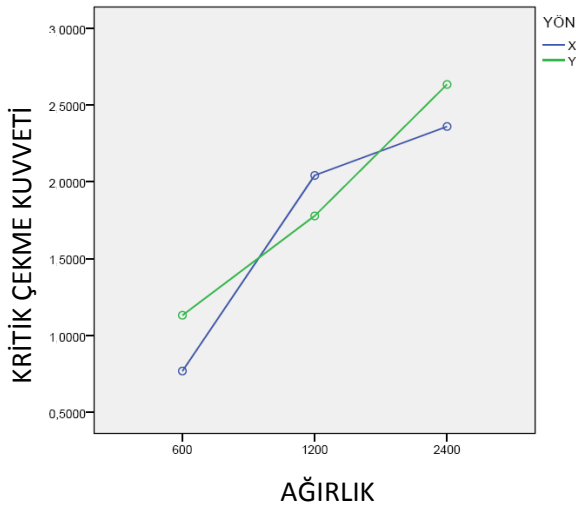
<b>NUMUNE YÖNÜ</b>	<b>ORTALAMA KRİTİK ÇEKME KUVVETİ (kN)</b>
<b>X</b>	1,970
<b>Y</b>	2,143

Çizelge 6.8. Çekme hızına göre ortalama kritik çekme kuvveti değerleri

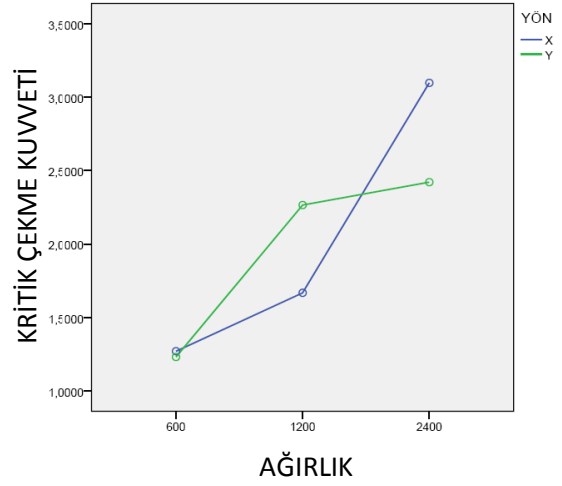
<b>ÇEKME HIZI (mm/dak)</b>	<b>ORTALAMA KRİTİK ÇEKME KUVVETİ (kN)</b>
<b>0,5</b>	1,785
<b>5</b>	1,992
<b>10</b>	2,393

Çizelgelerde de görüldüğü gibi lif ağırlığının, numune yönünün ve çekme hızının kritik çekme kuvvetine etkisi bulunmaktadır. Çizelgelerden lif ağırlığı veya çekme hızı arttıkça kritik kuvvet değerinin de arttığı görülmektedir. Buradan lif ağırlığının ve çekme hızının kritik çekme kuvvetine etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca çizelgelerde numune yönü olarak da Y yönünde X yönüne göre kritik çekme kuvveti değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Buradan da numune yönünün ve üretim esnasında elyafın yerleştirilmesinin çekme kuvvetine etkisi olduğu düşüncesine varılabilir.

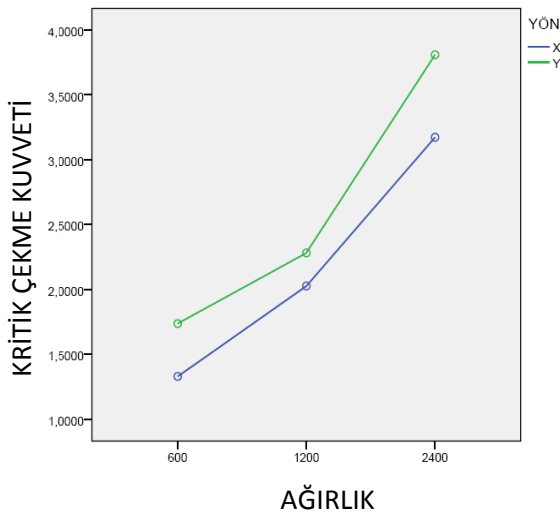
Çizelgelerdeki tüm değerler sonucunda kompozit malzemelerin 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlarında, lif ağırlıkları ile X ve Y yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de sırasıyla hız 0,5mm/dak, hız 5mm/dak, hız 10mm/dak da üretilen ve hız miktarı önemsenmeksizin kompozit malzemenin X ve Y yönündeki kritik çekme kuvveti değerlerinin ağırlık ile olan ilişkisi gösterilmektedir.



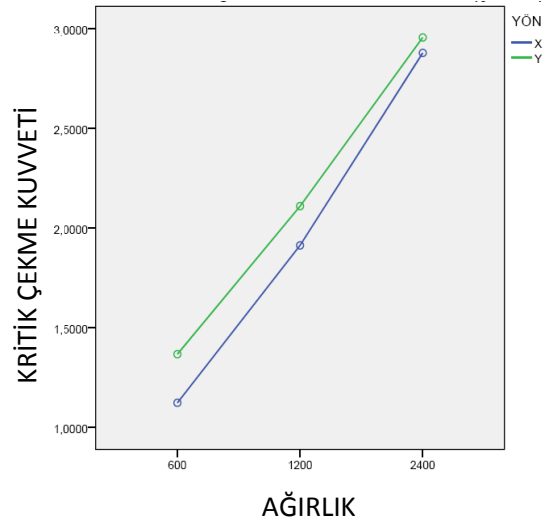
Şekil 6.8. 0,5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi



Şekil 6.9. 5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi

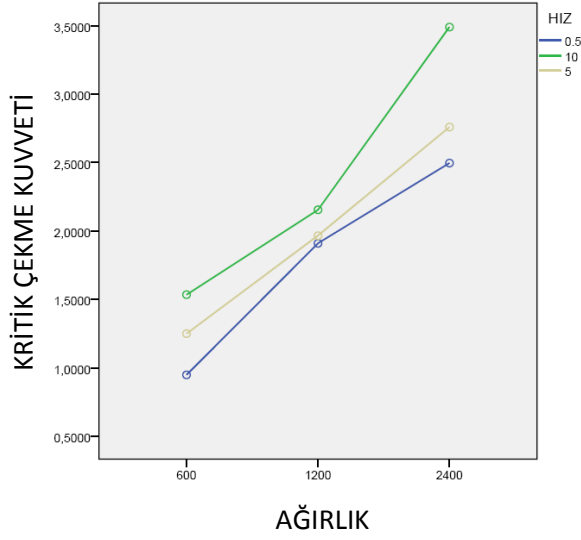


Şekil 6.10. 10mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi

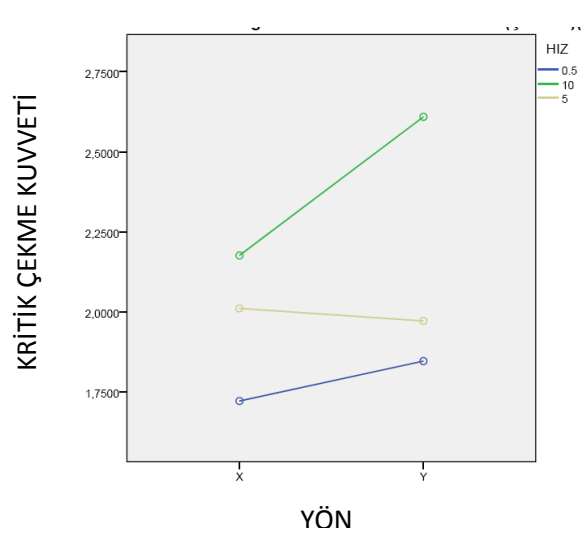


Şekil 6.11. Ağırlık değerlerinin kritik çekme kuvvetine etkisi

Şekillerde de görüldüğü üzere tüm hızlarda X ve Y yönünde lif ağırlığı arttıkça kritik çekme kuvveti değeri de artmaktadır. Yani kompozit yapının içerisinde takviye elemanı olarak bulunan karbon teleflerinin miktarının artması kompozitin kritik dayanımını arttırmaktadır. Şekil 6.12’de 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki lif ağırlığının kritik çekme kuvvetine etkisi gösterilmektedir. Şekil 6.13’te 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki numune yönünün kritik çekme kuvvetine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.12. Üç farklı hızlardaki lif ağırlığının kritik çekme kuvvetine etkisi



Şekil 6.13. Numune yönünün kritik çekme kuvvetine etkisi

Şekil 6.12’de tüm hızlarda lif ağırlığı arttıkça kritik çekme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Bu artış 5mm/dak doğrusal iken 0,5mm/dak ve 10mm/dak da doğrusal değildir. Sonuç olarak her iki numune yönünde ve tüm hızlarda lif ağırlığı arttıkça kritik çekme kuvvetinin de arttığını söyleyebiliriz.

X ve Y yönüne göre çizilen Şekil 6.13’te ise hız 0,5mm/dak.da Y yönündeki numunelerin kritik çekme kuvvetinin X yönündekine göre aradaki fark çok az da olsa daha fazla olduğunu görmekteyiz. Hız 10mm/dak.da ise Y yönündeki numunelerin çekme kuvvetinin X yönündekine göre aradaki farkın çok daha fazla olduğunu görmekteyiz. Bu sonuçların aksine hız 5mm/dak.da ise Y yönündeki numunelerin çekme kuvvetinin X yönündekine göre daha az olduğunu görmekteyiz.

Çizelge 6.9’da malzemelerin maksimum çekme uzaması değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 6.9. Maksimum çekme uzaması

LİF AĞIRLIĞI (g)	NUMUNE YÖNÜ					
	X yönü			Y yönü		
	ÇEKME HIZI (mm/dak)					
	0,5	5	10	0,5	5	10
600	1,500	1,619	1,618	1,840	1,593	1,825
1200	2,612	1,429	2,132	1,971	2,315	2,419
2400	2,329	2,624	2,010	2,390	2,093	2,263

Çizelgeye göre en yüksek çekme uzaması değeri % 2,624 olarak en yüksek lif ağırlığına sahip (2400g) olan kompozit malzemenin X yönündeki 5mm/dak hızda gözlenmiştir. En düşük uzama değeri ise %1,429 olarak lif ağırlığı 1200g olan numunenin X yönündeki 5mm/dak hızda gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre maksimum çekme uzaması değerlerinin maksimum çekme kuvveti değerlerine paralel değişmediği görülmüştür. Bunun nedeni olarak da malzemenin yüksek çekim kuvvetlerinde iyi bir dayanım gösteremediği için çok fazla uzayamadan kopmuş olabileceğini söyleyebiliriz. Çizelge 6.10.'da, Çizelge 6.11.'de ve Çizelge 6.12.'de sırasıyla lif ağırlığına, lif yönüne ve hıza göre ortalama çekme uzaması değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.10. Numunelerin lif ağırlığına göre ortalama çekme uzaması değerleri

<b>LİF AĞIRLIĞI (g)</b>	<b>ORTALAMA ÇEKME UZAMASI (%)</b>
<b>600</b>	1,666
<b>1200</b>	2,146
<b>2400</b>	2,285

Çizelge 6.11. Numune yönüne göre ortalama çekme uzaması değerleri

<b>NUMUNE YÖNÜ</b>	<b>ORTALAMA ÇEKME UZAMASI (%)</b>
<b>X</b>	1,986
<b>Y</b>	2,079

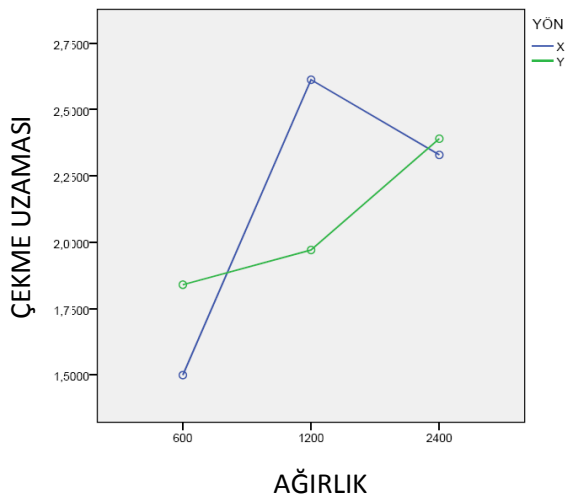
Çizelge 6.12. Çekme hızına göre ortalama çekme uzaması değerleri

<b>ÇEKME HIZI (mm/dak)</b>	<b>ORTALAMA ÇEKME UZAMASI (kN)</b>
<b>0,5</b>	2,107
<b>5</b>	1,945
<b>10</b>	2,044

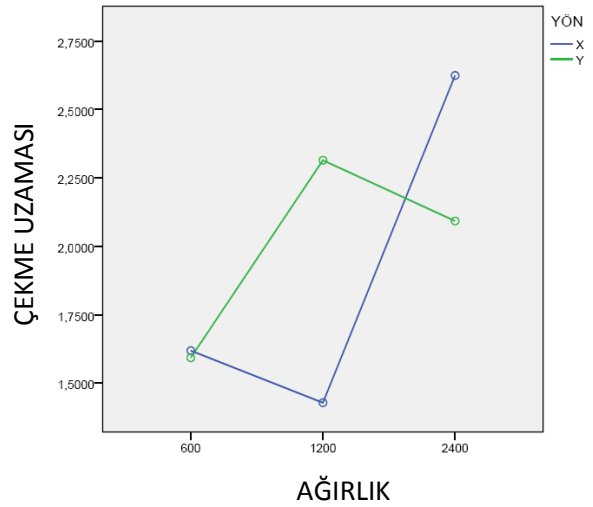
Çizelgelere göre lif ağırlığının, numune yönünün ve çekme hızının çekme uzaması değerlerine etkisi bulunmaktadır. Örneğin, lif ağırlığı arttıkça çekme uzaması değerinin de arttığı görülmektedir. Buradan lif ağırlığı arttıkça malzemenin kuvvet karşısındaki

dayanımının da arttığı ve kopmayan malzemenin uzadığı sonucuna varılabilir. Çizelgelerde numune yönü olarak da Y yönünde X yönüne göre maksimum çekme uzama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Eğer elyaf yerleşimi X ve Y yönünde eşit şekilde yapılabilsen, bu farkın oluşmayıp değerlerin birbirine yakın çıkması beklenirdi. Çizelgede çekim hızının artmasıyla uzamanın artmadığını, 0,5mm/dak.dan 5mm/dak.ya çıkıldığında uzamanın azaldığı, 5mm/dak.dan 10mm/dak.ya çıkıldığında ise uzamanın artmış olduğu görülmektedir.

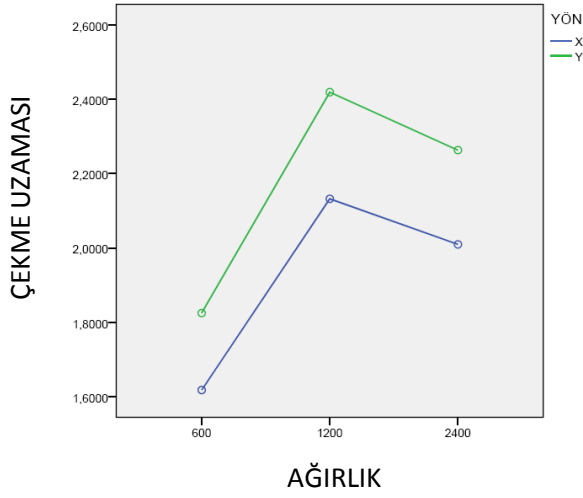
Çizelgelerdeki tüm değerler sonucunda kompozit malzemelerin 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlarında, lif ağırlığı ile X ve Y yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de sırasıyla hız 0,5mm/dak, 5mm/dak, 10mm/dak.da üretilen ve hız miktarı önemsiz olan kompozit malzemenin X ve Y yönündeki çekme uzaması değerlerinin ağırlık ile olan ilişkisi gösterilmektedir.



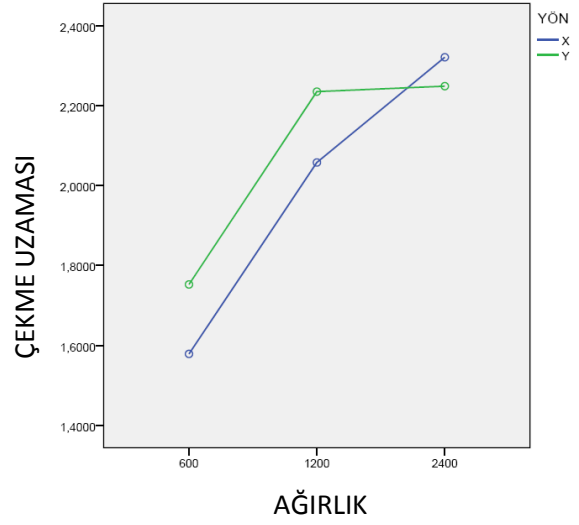
Şekil 6.14. Ağırlığın 0,5mm/dak hızdaki çekme uzamasına etkisi



Şekil 6.15. Ağırlığın 5mm/dak hızdaki çekme uzamasına etkisi



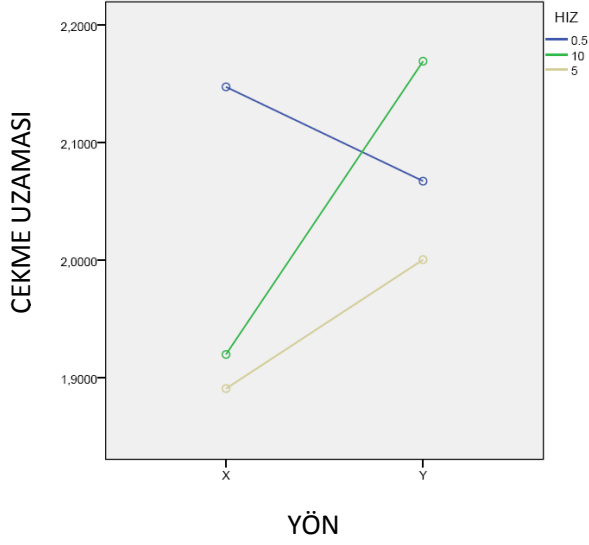
Şekil 6.16. Ağırlığın 10mm/dak hızdaki çekme uzamasına etkisi



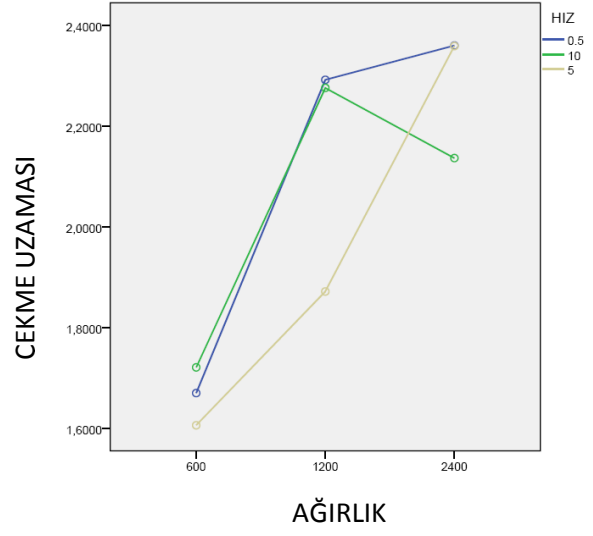
Şekil 6.17. Ağırlık değerlerinin çekme uzamasına etkisi

Hız 0,5mm/dak ve hız 10mm/dak iken X yönünde lif ağırlığı 600g.dan 1200g.a çıktığında çekme uzamasında artış meydana gelmiş, fakat lif ağırlığı 1200g.dan 2400g.a çıktığında çekme uzamasında azalma meydana geldiği görülmüştür. Yani hız 0,5mm/dak ve 10mm/dak iken X yönündeki numunenin lif ağırlığının artması belli bir değerden sonra çekme uzamasına olumsuz etki ediyor. Hız 5 mm/dk iken X yönünde lif ağırlığı 600g.dan 1200g.a çıktığında çekme uzamasında düşüş meydana gelmiş, fakat lif ağırlığı 1200g.dan 2400g.a çıktığında çekme uzamasında artış meydana geldiği görülmüştür. Y yönünde ise hız 5 mm/dak ve 10mm/dak iken lif ağırlığı 600g.dan 1200g.a çıktığında çekme uzamasında artış meydana gelmiş, fakat lif ağırlığı 1200g.dan 2400g.a çıktığında çekme uzamasında düşüş meydana geldiği görülmüştür. Hız 0,5mm/dak.da ise Y yönünde lif ağırlığı arttıkça çekme uzamasının da arttığı görülmüştür. Fakat tüm hızların ortalama değerlerine bakıldığında X yönünde, lif ağırlığı arttıkça çekme uzamasının da arttığını; Y yönünde ise 1200g.a kadar büyük bir artışın olduğunu, 2400g.a bakıldığında da çok küçük bir artışın meydana geldiğini görmekteyiz.

Şekil 6.18'de 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki numune yönünün çekme uzamasına etkisi gösterilmektedir. Şekil 6.19'da ise 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki lif ağırlığının çekme uzamasına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.18. Üç farklı hızlardaki numune yönünün çekme uzamasına etkisi



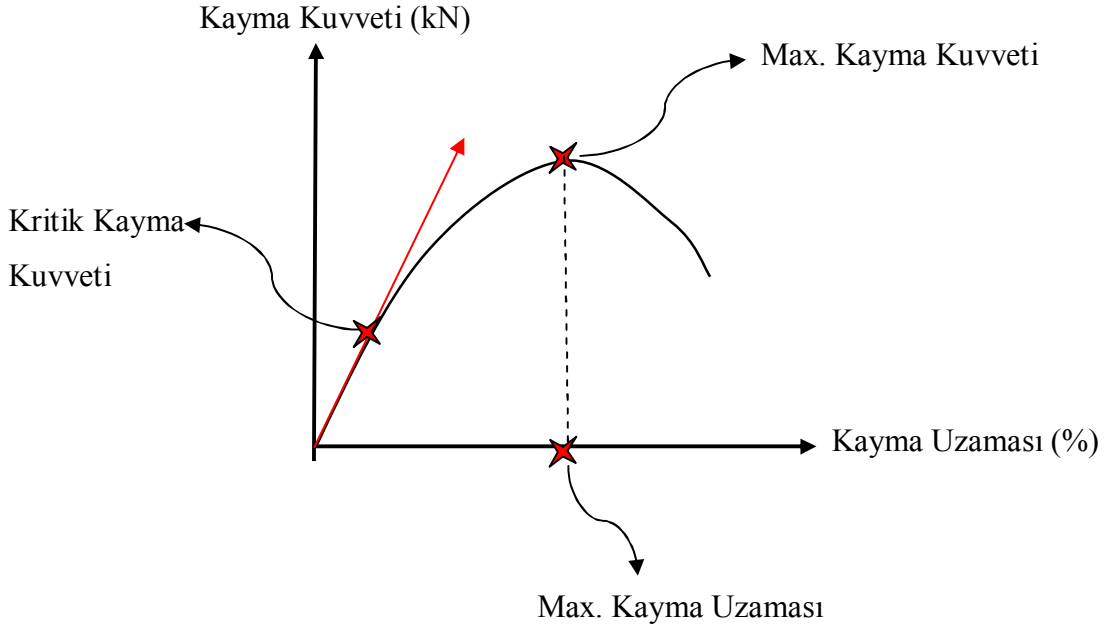
Şekil 6.19. Üç farklı hızlardaki lif ağırlığının çekme uzamasına etkisi

Şekil 6.18'de 5mm/dak ve 10mm/dak.daki hızlarda X yönünden Y yönüne geçerken çekme uzamasında artış meydana gelirken 0,5mm/dak.daki hızda X yönünden Y yönüne geçerken çekme uzamasında azalma görülmektedir. Sonuç olarak hızı arttırmanın X yönündeki numunenin uzama miktarını azalttığı sonucuna varılabilir. Şekil 6.19'da 0,5mm/dak ve 5mm/dak.da lif ağırlığı arttıkça çekme uzaması artış gösterirken, 10mm/dak.da 600g.dan 1200g.a çıkarken çekme uzaması artmış; fakat 1200g.dan 2400g.a çıkarken çekme uzaması azalmıştır.

## 6.2. Kayma Deneyi Sonuçları

Kayma deneyi sonucunda maksimum kayma kuvveti, maksimum kayma uzaması ve kritik kayma kuvveti değerleri elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları ve ortalama değerleri tablolar halinde verilmiştir. Şekil 6.18'de kayma deneyi sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir.





Şekil 6.20. Kayma deneyi sonucunda elde edilen değerler

Çizelge 6.13'te numunelerin maksimum kayma kuvveti değerleri ve istatistikleri verilmiştir.

Maksimum kayma kuvveti değerleri Kilo Newton (kN) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 6.13. Numunelerin ortalama maksimum kayma kuvveti değeri (kN)

LİF AĞIRLIĞI (g)	NUMUNE YÖNÜ					
	X yönü			Y yönü		
	ÇEKME HIZI (mm/dak)					
	0,5	5	10	0,5	5	10
600	1,126	1,208	1,230	1,070	1,386	1,285
1200	3,177	3,548	3,359	2,413	2,196	2,974
2400	4,574	3,780	4,933	4,574	3,010	3,990

En yüksek kayma kuvveti değeri 4,933 kN olarak en yüksek lif ağırlığına sahip (2400g) olan kompozit malzemenin X yönündeki 10mm/dak hızda gözlemlenmiştir. En düşük maksimum kayma kuvveti değeri 1,070 kN olarak lif ağırlığı en düşük (600g) olan numunenin Y yönündeki 0,5mm/dak hızda gözlenmiştir. Çizelgeye bakıldığında lif

ağırlığı arttıkça maksimum kayma kuvveti değerinin de arttığı görülmektedir. Bu durumda liflerin miktarı arttıkça kuvvet karşısındaki dayanımı da artmaktadır. Ayrıca X yönündeki değerlerin de Y yönündeki değerlere göre yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.14, Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16'da sırasıyla lif ağırlığına, numune yönüne ve çekme hızına göre ortalama kayma kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.14. Lif ağırlığına göre ortalama kayma kuvveti değerleri

<b>LİF AĞIRLIĞI (g)</b>	<b>ORTALAMA MAX. KAYMA KUVVETİ (kN)</b>
<b>600</b>	1,218
<b>1200</b>	2,944
<b>2400</b>	4,143

Çizelge 6.15. Numune yönüne göre ortalama maksimum kayma kuvveti değerleri

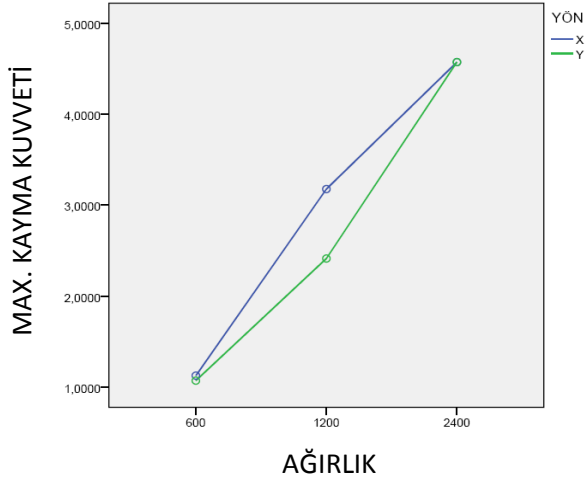
<b>NUMUNE YÖNÜ</b>	<b>ORTALAMA MAX. KAYMA KUVVETİ (kN)</b>
<b>X</b>	2,993
<b>Y</b>	2,544

Çizelge 6.16. Çekme hızına göre ortalama maksimum kayma kuvveti değerleri

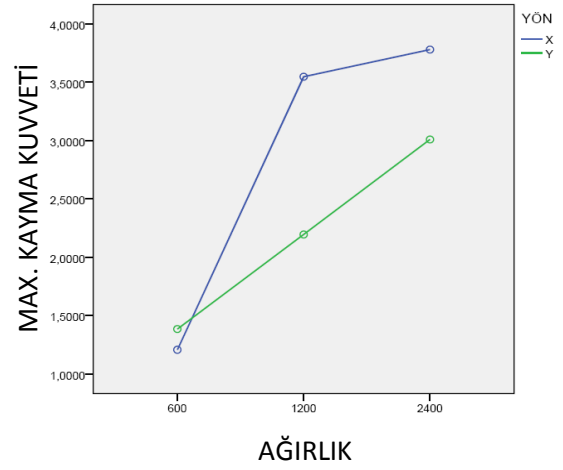
<b>ÇEKME HIZI (mm/dak)</b>	<b>ORTALAMA ÇEKME UZAMASI (kN)</b>
<b>0,5</b>	2,822
<b>5</b>	2,521
<b>10</b>	2,962

Çizelgelerden lif ağırlığının, numune yönünün ve çekme hızının maksimum kayma kuvveti değerlerine etkisi bulunmaktadır. Çizelgelerden lif ağırlığı arttıkça kayma kuvveti değerinin de arttığı görülmektedir. Buradan lif ağırlığı arttıkça malzemenin kuvvet karşısındaki dayanımının arttığını söyleyebiliriz. Numune yönü olarak da X yönünde Y yönüne göre maksimum kayma kuvveti değerlerinin yüksek olduğu ve numune yönünün kayma kuvvetine etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca çekme hızının artmasıyla uzamanın artmadığını, 0,5mm/dak.dan 5mm/dak.ya çıkıldığında kuvvetin azaldığı, 5mm/dak.dan

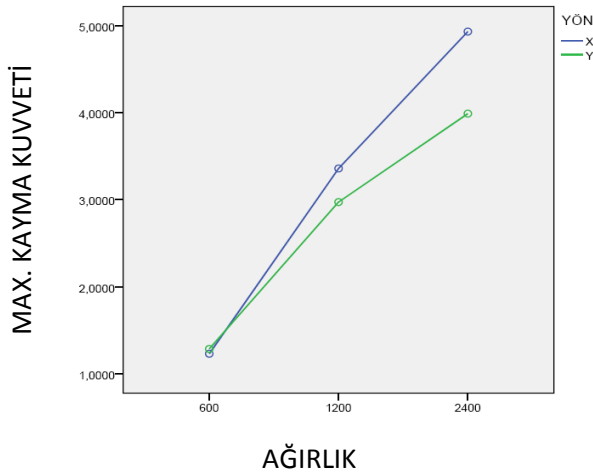
10mm/dak.ya çıkıldığında ise kuvvetin artmış olduğu görülmektedir. Çizelgelerdeki tüm değerler sonucunda kompozit malzemelerin 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlarındaki, lif ağırlıkları ile X ve Y yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'te sırasıyla hız 0,5mm/dak, 5mm/dak, 10mm/dak.da üretilen ve hız miktarı önemsenmeksizin kompozit malzemenin X ve Y yönündeki kayma kuvveti değerlerinin ağırlık ile olan ilişkisi gösterilmektedir.



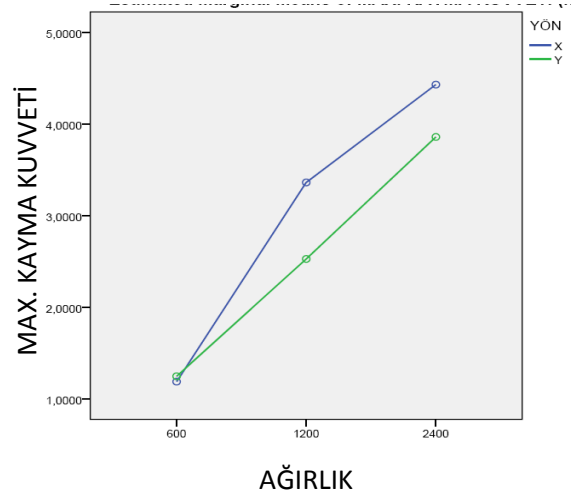
Şekil 6.21. Ağırlığın 0,5mm/dak hızdaki max. kayma kuvvetine etkisi



Şekil 6.22. Ağırlığın 5mm/dak hızdaki max. kayma kuvvetine etkisi



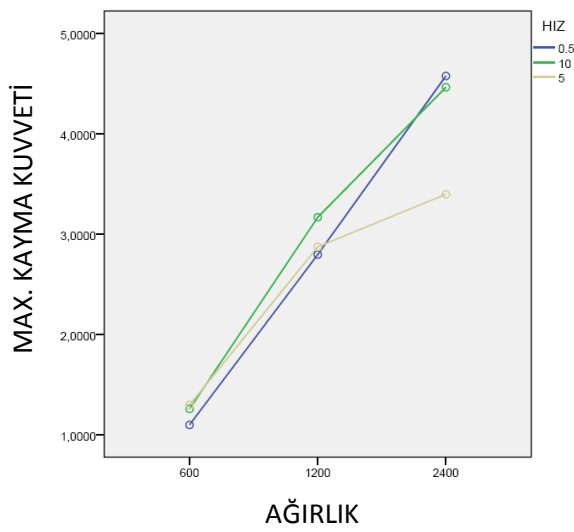
Şekil 6.23. Ağırlığın 10mm/dak hızdaki max. kayma kuvvetine etkisi



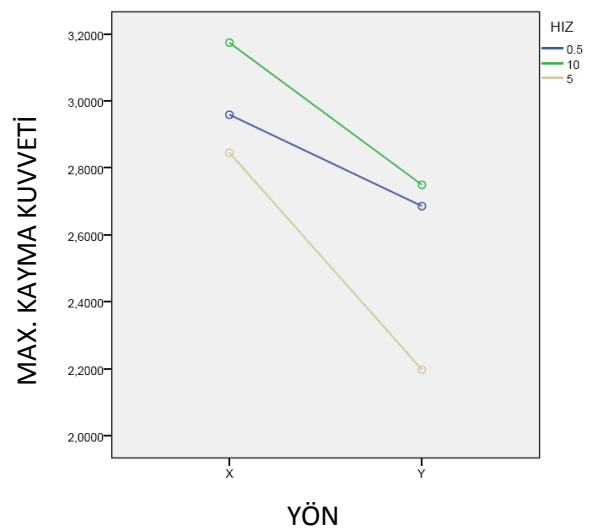
Şekil 6.24. Ağırlık değerlerinin max. kayma kuvvetine etkisi

Şekillerden de anlaşılacağı üzere tüm hız değerlerinde de lif ağırlığı arttıkça kayma kuvveti değerlerinin de artmış olduğu görülmektedir. Yani kompozit materyal içerisinde bulunan lif miktarı arttıkça kompozitin yük karşısındaki dayanımı da artmaktadır. Bu da karbon liflerinin yük karşısında çok dayanıklı olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 6.25'te 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki lif ağırlığının maksimum kayma kuvvetine etkisi gösterilmektedir. Şekil 6.26'da ise 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki numune yönünün çekme uzamasına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.25. Üç farklı hızdaki lif ağırlığının max. kayma kuvvetine etkisi



Şekil 6.26. Numune yönünün max. kayma kuvvetine etkisi

Şekil 6.25'te tüm hızlarda lif ağırlığının artmasıyla kayma kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Şekil 6.26'da ise X yönündeki kayma kuvveti değerleri Y yönündekilerden daha yüksektir. Bu da kompozit üretimi esnasında liflerin manuel şekilde serildiği için X ve Y yönünde eşit olarak dağıtılmadığını gösteriyor.

Çizelge 6.17'de numunelerin ortalama kritik kayma kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.17. Kritik kayma kuvveti (kN)

LİF AĞIRLIĞI (g)	NUMUNE YÖNÜ					
	X yönü			Y yönü		
	ÇEKME HIZI (mm/dak)					
	0,5	5	10	0,5	5	10
600	0,566	0,581	0,637	0,562	0,930	0,789
1200	1,146	1,483	1,747	0,766	0,949	1,588
2400	1,695	1,655	2,148	1,639	1,420	1,804

En yüksek kritik kayma kuvveti değeri 2,148 kN olarak lif ağırlığı en yüksek (2400g) olan kompozitin X yönündeki 10mm/dak.da gözlenmiştir. En düşük kritik kayma kuvveti değeri 0,562 kN olarak lif ağırlığı en düşük (600g) olan kompozitin Y yönündeki 0,5mm/dak.da gözlenmiştir. Bu çizelgede en yüksek ve en düşük değerlere bakılarak kritik kayma kuvveti değerlerinin maksimum kayma kuvveti değerlerine paralel değiştiğini görmekteyiz.

Yani lif ağırlığı ve çekme hızı arttıkça kritik kayma kuvvet değeri de artmaktadır. Ayrıca çizelgeye göre X yönündeki kritik kayma değerleri Y yönündeki değerlere göre daha yüksektir. Çizelge 6.18., Çizelge 6.19., ve Çizelge 6.20.'de sırasıyla lif ağırlığına, numune yönüne ve çekme hızına göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.18. Lif ağırlığına göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri

LİF AĞIRLIĞI (g)	ORTALAMA KRİTİK KAYMA KUVVETİ (kN)
600	0,678
1200	1,280
2400	1,727

Çizelge 6.19. Numune yönüne göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri

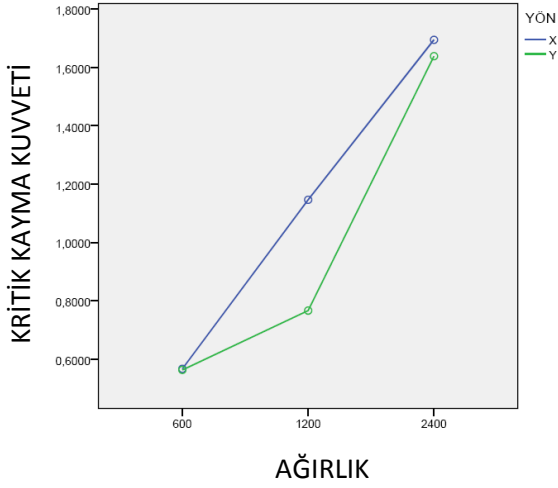
<b>NUMUNE YÖNÜ</b>	<b>ORTALAMA KRİTİK KAYMA KUVVETİ (kN)</b>
<b>X</b>	1,295
<b>Y</b>	1,161

Çizelge 6.20. Çekme hızına göre ortalama kritik kayma kuvveti değerleri

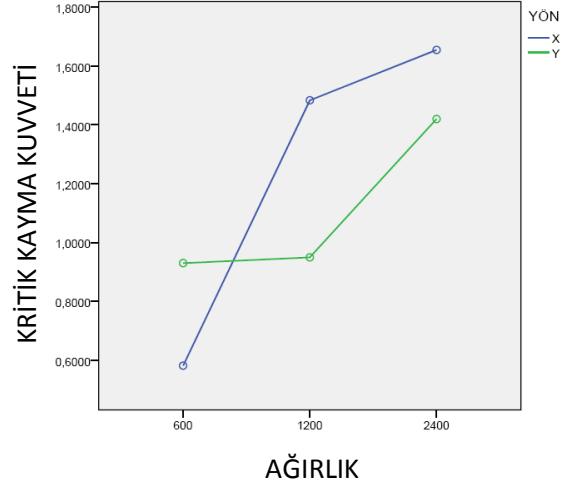
<b>ÇEKME HIZI (mm/dak)</b>	<b>ORTALAMA MAX. KAYMA KUVVETİ (kN)</b>
<b>0,5</b>	1,062
<b>5</b>	1,170
<b>10</b>	1,452

Çizelgelerde de görüldüğü gibi lif ağırlığının, numune yönünün ve çekme hızının kritik kayma kuvveti değerlerine etkisi bulunmaktadır. Çizelgelerden lif ağırlığı veya çekme hızı arttıkça kritik kuvvet değerinin de arttığı görülmektedir. Buradan lif ağırlığının ve çekme hızının kritik kayma kuvvetine etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca çizelgelerde numune yönü olarak da X yönündeki kritik kayma kuvveti değerlerinin Y yönüne göre yüksek olduğu görülmektedir. Buradan da numune yönünün ve üretim esnasında elyafın yerleştirilmesinin kayma kuvvetine etkisi olduğu sonucuna varılabilir.

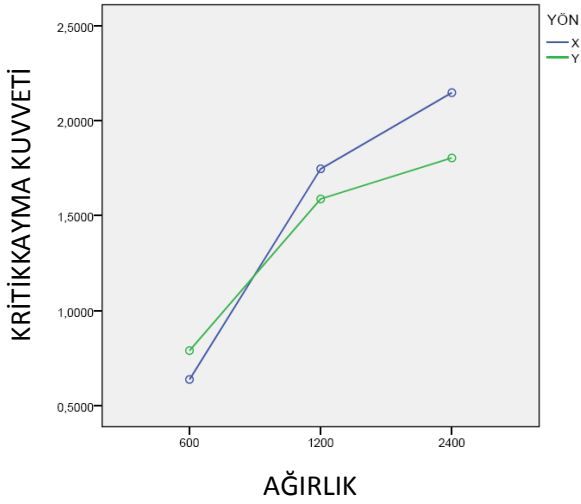
Çizelgelerdeki tüm değerler sonucunda kompozit malzemelerin 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlarında, lif ağırlıkları ile X ve Y yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 6.27, Şekil 6.28, Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da sırasıyla hız 0,5mm/dak, 5mm/dak, 10mm/dak.da üretilen ve hız miktarı önemsenmeksizin kompozit malzemenin X ve Y yönündeki kritik kayma kuvveti değerlerinin ağırlık ile olan ilişkisi gösterilmektedir.



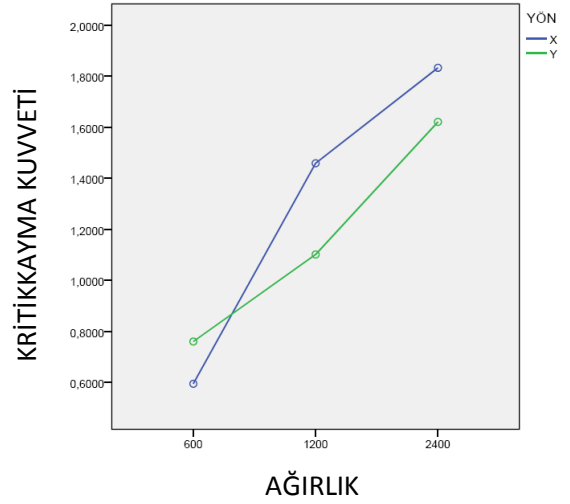
Şekil 6.27. 0,5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi



Şekil 6.28. 5mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi

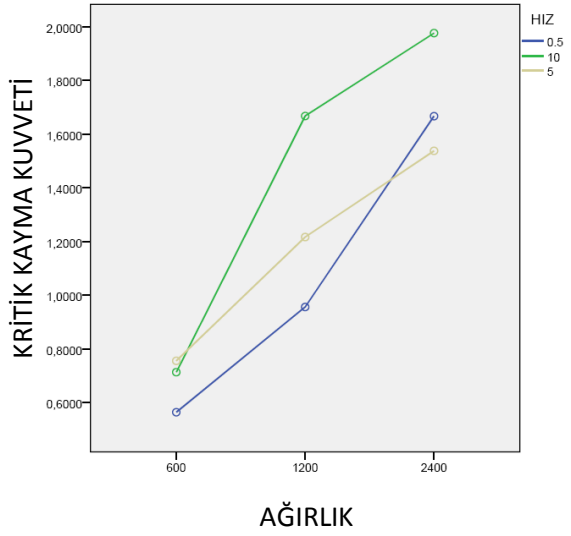


Şekil 6.29. 10mm/dak hızdaki ağırlık değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi

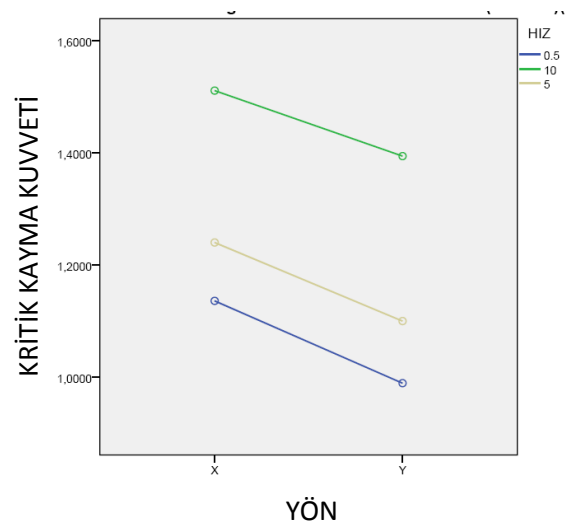


Şekil 6.30. Ağırlık değerlerinin kritik kayma kuvvetine etkisi

Şekillerde de görüldüğü üzere tüm hızlarda X ve Y yönünde lif ağırlığı arttıkça kritik kayma kuvveti değeri de artmaktadır. Yani kompozit yapının içerisinde takviye elemanı olarak bulunan karbon teleflerinin miktarının artması kompozitin kritik dayanımını arttırmaktadır. Şekil 6.31’de 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki lif ağırlığının kritik kayma kuvvetine etkisi gösterilmektedir. Şekil 6.32’de 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki numune yönünün kritik kayma kuvvetine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.31. Üç farklı hızdaki lif ağırlığının kritik kayma kuvvetine etkisi



Şekil 6.32. Numune yönünün kritik kayma kuvvetine etkisi

Şekil 6.31’de tüm hızlarda ağırlık arttıkça kritik kayma kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Şekil 6.32’de ise tüm hızlarda Y yönündeki kritik kayma kuvvetinin X yönündeki kritik kayma kuvvetinden daha düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 6.21’de malzemelerin maksimum kayma uzaması değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 6.21. Maksimum kayma uzaması (%)

LİF AĞIRLIĞI (g)	NUMUNE YÖNÜ					
	X yönü			Y yönü		
	ÇEKME HIZI (mm/dak)					
	0,5	5	10	0,5	5	10
600	1,483	1,370	1,512	1,446	1,342	1,355
1200	3,125	3,265	2,927	2,766	2,180	2,852
2400	4,236	4,502	4,545	4,236	3,449	4,400

En yüksek kayma uzaması değeri % 4,545 olarak en yüksek lif ağırlığına (2400g) sahip olan kompozit malzemenin X yönündeki 10mm/dak hızda gözlenmiştir. En düşük uzama değeri %1,342 olarak lif ağırlığı 600g olan numunenin Y yönündeki 5mm/dak hızda gözlenmiştir. Burdan lif ağırlığı ve numune yönünün kayma uzaması değerini büyük oranda etkilediği kanısına varılabilir. Ayrıca en yüksek değer maksimum kayma



kuvvetiyle paralel olduğunu görmekteyiz. Bu da lif ağırlığı fazla olan numunenin kuvvet karşısında kayma dayanımının yüksek olduğunu ve kaymadığı için de uzamış olduğunu gösterir. Çizelge 6.22, Çizelge 6.23 ve Çizelge 6.24'te sırasıyla lif ağırlığına, numune yönüne ve çekme hızına göre ortalama kayma uzaması değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.22. Lif ağırlığına göre ortalama kayma uzaması değerleri

<b>LİF AĞIRLIĞI (g)</b>	<b>ORTALAMA KAYMA UZAMASI (%)</b>
<b>600</b>	1,418
<b>1200</b>	2,852
<b>2400</b>	4,228

Çizelge 6.23. Numune yönüne göre ortalama kayma uzaması değerleri

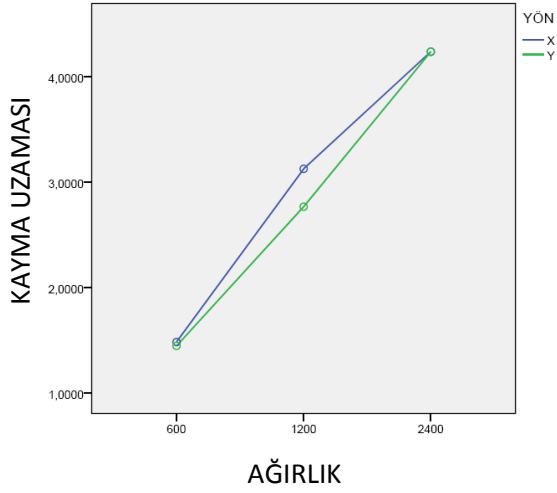
<b>NUMUNE YÖNÜ</b>	<b>ORTALAMA KAYMA UZAMASI (%)</b>
<b>X</b>	2,996
<b>Y</b>	2,670

Çizelge 6.24. Çekme hızına göre ortalama kayma uzaması değerleri

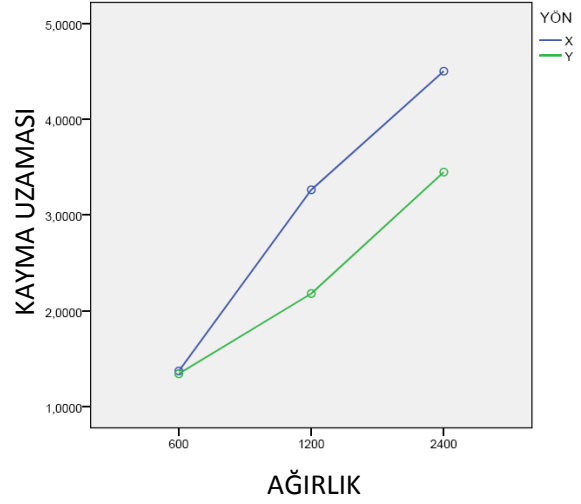
<b>ÇEKME HIZI (mm/dak)</b>	<b>ORTALAMA KAYMA UZAMASI (%)</b>
<b>0,5</b>	2,882
<b>5</b>	2,685
<b>10</b>	2,932

Çizelgelere göre lif ağırlığının, çekme yönünün ve çekme hızının kayma uzaması değerlerine etkisi bulunmaktadır. Çizelgelerden lif ağırlığı arttıkça kayma uzaması değerinin de arttığı görülmektedir. Buradan lif ağırlığı arttıkça malzemenin kuvvet karşısındaki dayanımının da arttığını ve kaymayan malzemenin uzadığını söyleyebiliriz. Çizelgelerde numune yönü olarak da X yönünde Y yönüne göre kayma uzama değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca çizelgeye göre çekme hızının artmasıyla uzamanın artmadığını, 0,5mm/dak.dan 5mm/dak.ya çıkıldığında uzamanın azaldığı, 5mm/dak.dan 10mm/dak.ya çıkıldığında ise uzamanın artmış olduğu görülmektedir.

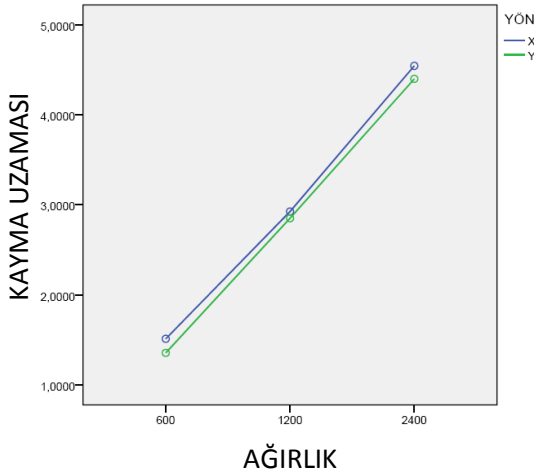
Çizelgelerdeki tüm değerler sonucunda kompozit malzemelerin 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlarında, lif ağırlıkları ile X ve Y yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 6.33, Şekil 6.34, Şekil 6.35 ve Şekil 6.36'da sırasıyla hız 0,5mm/dak, 5mm/dak, 10mm/dak.da üretilen ve hız miktarı önemsenmeksizin kompozit malzemenin X ve Y yönündeki kayma uzaması değerlerinin ağırlık ile olan ilişkisi gösterilmektedir.



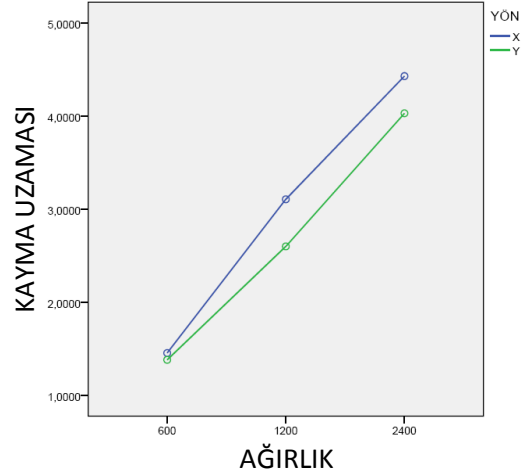
Şekil 6.33. Ağırlığın 0,5mm/dk hızdaki kayma uzamasına etkisi



Şekil 6.34. Ağırlığın 5mm/dk hızdaki kayma uzamasına etkisi



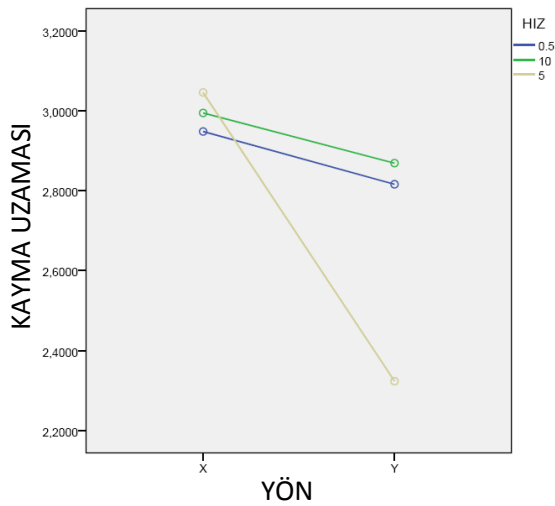
Şekil 6.35. Ağırlığın 10mm/dk hızdaki kayma uzamasına etkisi



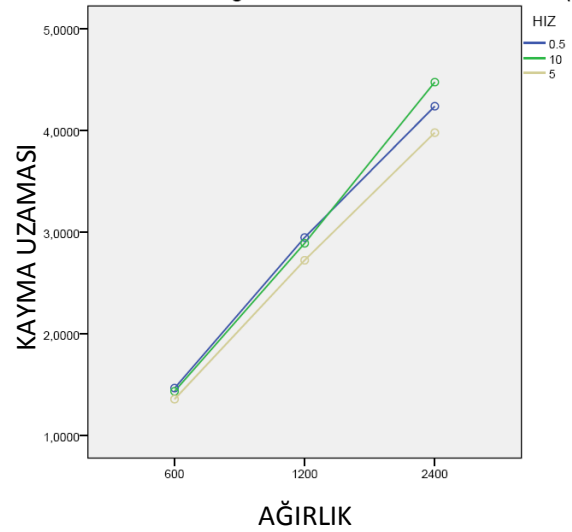
Şekil 6.36. Ağırlık değerlerinin kayma uzamasına etkisi

Şekillerden tüm hızlarda lif ağırlığının artmasıyla kayma uzamasının da artmış olduğunu görmekteyiz. Bu durumda lif ağırlığı artışının malzemenin kaymasına engel olarak uzamasına neden olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 6.37’de 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki numune yönünün kayma uzamasına etkisi gösterilmektedir. Şekil 6.38’de ise 0,5mm/dak, 5mm/dak ve 10mm/dak hızlardaki lif ağırlığının kayma uzamasına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.37. Üç farklı hızdaki numune yönünün kayma uzamasına etkisi



Şekil 6.38. Üç farklı hızdaki lif ağırlığının kayma uzamasına etkisi

Şekil 6.37’de tüm hızlarda X yönündeki kayma uzaması değerlerinin Y yönündeki kayma uzaması değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Yani Y yönündeki numuneler kuvvet karşısında dayanım gösteremiyor ve kayıyor diyebiliriz. Şekil 6.38’de tüm hızlarda lif ağırlığının artışı kayma uzamasında da artışa neden oluyor. Yani lif ağırlığı numunenin kuvvet karşısındaki dayanımını arttırıyor.

Tüm bu sonuçlardan Y yönündeki numunelerin dayanımın daha az olduğunu, lif ağırlığı arttıkça da numunenin kuvvete karşı dayanımının yüksek olduğunu söyleyebiliriz.

### 6.3. İstatistiksel Hesaplamalar

Yapılan mekanik testler sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Lif ağırlığı, X-Y yönü ve çekme hızının numunelerin maksimum çekme kuvveti, kritik çekme kuvveti, çekme uzaması, maksimum kayma kuvveti, kritik kayma kuvveti ve kayma uzaması değerleri üzerinde etkisi olup olmadığı yapılan ANOVA testi (Varyans analizi)yle araştırılmıştır.

Analiz sonuçları Çizelge 6.25, Çizelge 6.26, Çizelge 6.27, Çizelge 6.28, Çizelge 6.29 ve Çizelge 6.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.25. Maksimum çekme kuvveti ANOVA tablosu

VARYANS KAYNAĞI	KARELER TOPLAMI	SERBESTLİK DERECEŚİ (df)	ORTALAMA KARE (MS)	F	F <sub>kritik</sub>
Ağırlık	172,874	2	86,437	134,940	3,00
Yön	1,691	1	1,691	2,640	3,84
Hız	8,864	2	4,435	6,923	3,00
Ağırlık X Yön	2,691	2	1,346	2,101	3,00
Ağırlık X Hız	2,274	4	0,568	0,887	2,37
Yön X Hız	2,694	2	1,347	2,103	3,00
Ağırlık X Yön X Hız	18,812	4	4,703	7,342	2,37
Hata	80,710	126	0,641		
Toplam	1749,775	144			

İstatistik hesaplamada maksimum çekme mukavemeti için kullanılan F<sub>kritik</sub> değerleri; F<sub>2,126</sub> için 3,00, F<sub>1,126</sub> için 3,84, F<sub>4,126</sub> için 2,37'dir. F<sub>kritik</sub> değerlerinden daha büyük olan F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler.

Çizelge 6.25'e bakıldığında ağırlık için F değerinin 134,940 ve hız için F değerinin 6,923 olduğu görülmüştür. Bu değerlerin de F<sub>kritik</sub> değeri olan 3,00'dan büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Yön X Hız etkileşim

faktörü için F değerinin 7,342 olduğu ve bu F değerinin de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den büyük olduğu, dolayısıyla bu faktörün de %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.

Ayrıca yön için F değerinin 2,640 olduğu ve bu değer  $F_{kritik}$  değeri olan 3,84'den küçük olduğu için %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Yön için F değerinin 2,101 ve Yön X Hız için F değerinin 2,103 olduğu görülmüştür. Bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan küçük olduğu için %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Hız faktörü için F değerinin 0,887 olduğu ve bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den küçük olduğu için %5 seviyesinde maksimum çekme kuvveti üzerinde anlamsız olduğu gözlemlenmiştir. Yani kompozitin çekme kuvveti, analiz sonucunda %5 seviyede anlamlı olan ağırlık ve hız faktörlerinden ayrıca Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktöründen etkilenmektedir ancak %5 seviyede anlamsız olan yön faktörü, Ağırlık X Yön, Ağırlık X Hız ve Yön X hız etkileşim faktörlerinden etkilenmemektedir.

Çizelge 6.26. Maksimum çekme uzaması ANOVA tablosu

VARYANS KAYNAĞI	KARELER TOPLAMI	SERBESTLİK DERESESİ (df)	ORTALAMA KARE (MS)	F	$F_{kritik}$
Ağırlık	10,130	2	5,065	12,047	3,00
Yön	0,311	1	0,311	0,739	3,84
Hız	0,637	2	0,319	0,758	3,00
Ağırlık X Yön	0,492	2	0,246	0,585	3,00
Ağırlık X Hız	1,810	4	0,453	1,076	2,37
Yön X Hız	0,655	2	0,328	0,779	3,00
Ağırlık X Yön X Hız	5,696	4	1,424	3,387	2,37
Hata	52,979	126	0,420		
Toplam	667,444	144			

İstatistik hesaplamada maksimum çekme uzaması için kullanılan  $F_{kritik}$  değerleri;  $F_{2,126}$  için 3,00,  $F_{1,126}$  için 3,84,  $F_{4,126}$  için 2,37'dir.  $F_{kritik}$  değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler.

Çizelge 6.26.'ya bakıldığında ağırlık için F değerinin 12,047 olduğu ve bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktörü için F değerinin 3,387 olduğu ve bu F

değerinin de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den büyük olduğu, dolayısıyla bu faktörün de %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.

Ayrıca yön için F değerinin 0,739 olduğu ve bu değer  $F_{kritik}$  değeri olan 3,84'den küçük olduğu için %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Hız için F değerinin 0,758 olduğu, Ağırlık X Yön için F değerinin 0,585 olduğu ve Yön X Hız için F değerinin 0,779 olduğu görülmüştür. Bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan küçük olduğu için %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Hız faktörü için F değerinin 1,076 olduğu ve bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den küçük olduğu için %5 seviyesinde çekme uzaması üzerinde anlamsız olduğu gözlemlenmiştir. Yani kompozitin çekme uzaması, analiz sonucunda %5 seviyede anlamlı olan ağırlık faktörü ve Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktöründen etkilenmektedir ancak %5 seviyede anlamsız olan yön ve hız faktörleri, Ağırlık X Yön, Ağırlık X Hız ve Yön X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmemektedir.

Çizelge 6.27. Kritik çekme kuvveti ANOVA tablosu

VARYANS KAYNAĞI	KARELER TOPLAMI	SERBESTLİK DERECESESİ (df)	ORTALAMA KARE (MS)	F	$F_{kritik}$
Ağırlık	67,190	2	33,595	89,983	3,00
Yön	1,073	1	1,073	2,874	3,84
Hız	9,179	2	4,589	12,292	3,00
Ağırlık X Yön	0,176	2	0,088	0,236	3,00
Ağırlık X Hız	2,579	4	0,645	1,727	2,37
Yön X Hız	1,377	2	0,689	1,845	3,00
Ağırlık X Yön X Hız	4,286	4	1,072	2,870	2,37
Hata	47,042	126	0,373		
Toplam	742,032	144			

İstatistik hesaplamada kritik çekme kuvveti için kullanılan  $F_{kritik}$  değerleri;  $F_{2,126}$  için 3,00,  $F_{1,126}$  için 3,84,  $F_{4,126}$  için 2,37'dir.  $F_{kritik}$  değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler.

Çizelge 6.27.'ye bakıldığında ağırlık için F değerinin 89,983 olduğu ve hız için F değerinin 12,292 olduğu bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Yön X Hız için F değerinin 2,87

olduğu bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.

Ayrıca yön için F değerinin 2,874 olduğu ve bu değer  $F_{kritik}$  değeri olan 3,84'den küçük olduğu için %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Yön X Hız faktörü için F değerinin 1,845 olduğu ve Ağırlık X Yön faktörü için F değerinin 0,236 olduğu görülmüştür. Bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan küçük olduğu için %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Hız faktörü için F değerinin 1,727 olduğu ve bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den küçük olduğu için %5 seviyesinde kritik çekme kuvveti üzerinde anlamsız olduğu gözlemlenmiştir. Yani kompozitin kritik çekme kuvveti, analiz sonucunda %5 seviyede anlamlı olan ağırlık ve hız faktörlerinden ayrıca Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktöründen etkilenmektedir ancak %5 seviyede anlamsız olan yön faktörü, Ağırlık X Yön, Ağırlık X Hız ve Yön X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmemektedir.

Çizelge 6.28. Maksimum kayma kuvveti ANOVA tablosu

VARYANS KAYNAĞI	KARELER TOPLAMI	SERBESTLİK DERECESİ (df)	ORTALAMA KARE (MS)	F	$F_{kritik}$
Ağırlık	207,661	2	103,831	219,123	3,00
Yön	7,251	1	7,251	15,302	3,84
Hız	4,869	2	2,435	5,138	3,00
Ağırlık X Yön	5,056	2	2,528	5,335	3,00
Ağırlık X Hız	10,261	4	2,565	5,414	2,37
Yön X Hız	0,854	2	0,427	0,901	3,00
Ağırlık X Yön X Hız	3,172	4	0,793	1,673	2,37
Hata	59,705	126	0,474		
Toplam	1402,489	144			

İstatistik hesaplamada maksimum kayma kuvveti için kullanılan  $F_{kritik}$  değerleri;  $F_{2,126}$  için 3,00,  $F_{1,126}$  için 3,84,  $F_{4,126}$  için 2,37'dir.  $F_{kritik}$  değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler. Çizelge 6.28'e bakıldığında ağırlık için F değerinin 219,123 olduğu, hız için F değerinin 5,138 olduğu ve Ağırlık X Yön faktörü için F değerinin 5,335 olduğu bulunmuştur. Bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Yön faktörü için F değerinin 15,302 olduğu ve

bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,84'ten büyük olduğu için %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Ağırlık X Hız faktörü için de F değerinin 5,414 olduğu ve yine bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den büyük olduğu için %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.

Fakat Yn X Hız faktörü için F değerinin 0,901 olduğu bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan küçük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ayrıca Ağırlık X Yn X Hız için F değerinin 1,673 olduğu ve bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den küçük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Yani kompozit malzemenin kayma mukavemeti, analiz sonucunda %5 seviyede anlamlı olan ağırlık, yn ve hız faktörlerinden ayrıca Ağırlık X Yn ve Ağırlık X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmektedir ancak %5 seviyede anlamsız olan Yn X Hız ve Ağırlık X Yn X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmemektedir.

Çizelge 6.29. Kayma uzaması ANOVA tablosu

VARYANS KAYNAğI	KARELER TOPLAMI	SERBESTLİK DERECESİ (df)	ORTALAMA KARE (MS)	F	$F_{kritik}$
Ağırlık	189,542	2	94,771	115,167	3,00
Yn	3,837	1	3,837	4,663	3,84
Hız	1,638	2	0,819	0,995	3,00
Ağırlık X Yn	1,218	2	0,609	0,740	3,00
Ağırlık X Hız	0,869	4	0,217	0,264	2,37
Yn X Hız	2,816	2	1,408	1,711	3,00
Ağırlık X Yn X Hız	2,003	4	0,501	0,609	2,37
Hata	103,685	126	0,823		
Toplam	1461,144	144			

İstatistik hesaplamada kayma uzaması için kullanılan  $F_{kritik}$  değerleri;  $F_{2,126}$  için 3,00,  $F_{1,126}$  için 3,84,  $F_{4,126}$  için 2,37'dir.  $F_{kritik}$  değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler.

Çizelge 6.29'a bakıldığında ağırlık için F değerinin 115,167 olduğu ve bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Yn faktörü için F değerinin 4,663 olduğu ve bu değerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,84'ten büyük olduğu için %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.



Fakat hız için F değerinin 0,995 olduğu, Ağırlık X Yön faktörü için F değerinin 0,740 olduğu ve Yön X Hız faktörünün de F değerinin 1,711 olduğu bulunmuştur. Bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan küçük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ayrıca Ağırlık X Hız faktörü için de F değerinin 0,264 olduğu ve Ağırlık X Yön X Hız için F değerinin 0,609 olduğu bulunmuştur. Bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den küçük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Yani kompozit materyalin kayma uzaması, analiz sonucunda %5 seviyede anlamlı olan ağırlık ve yön faktörlerinden etkilenmektedir ancak %5 seviyede anlamsız olan hız faktörü, ağırlık X Yön, Ağırlık X hız, Yön X Hız ve Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmemektedir.

Çizelge 6.30. Kritik kayma kuvveti ANOVA tablosu

VARYANS KAYNAĞI	KARELER TOPLAMI	SERBESTLİK DERECEŚİ (df)	ORTALAMA KARE (MS)	F	$F_{kritik}$
Ağırlık	26,607	2	13,304	108,891	3,00
Yön	0,652	1	0,652	5,336	3,84
Hız	3,893	2	1,946	15,932	3,00
Ağırlık X Yön	1,749	2	0,874	7,157	3,00
Ağırlık X Hız	2,199	4	0,550	4,500	2,37
Yön X Hız	0,006	2	0,003	0,024	3,00
Ağırlık X Yön X Hız	0,698	4	0,175	1,428	2,37
Hata	15,394	126	0,122		
Toplam	268,373	144			

İstatistik hesaplamada kritik kayma kuvveti için kullanılan  $F_{kritik}$  değerleri;  $F_{2,126}$  için 3,00,  $F_{1,126}$  için 3,84,  $F_{4,126}$  için 2,37'dir.  $F_{kritik}$  değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler.

Çizelge 6.30'a bakıldığında ağırlık için F değerinin 108,891 olduğu, hız için F değerinin 15,932 olduğu, Ağırlık X Yön faktörü için F değerinin 7,157 olduğu ve bu değerlerin de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan büyük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur. Yön faktörü için F değerinin 5,336 olduğu ve bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 3,84'ten büyük olduğu için %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.

Ayrıca Ağırlık X Hız faktörü için de F değerinin 4,500 olduğu ve bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den büyük olduğu için %5 seviyesinde anlamlı olduğu bulunmuştur.

Fakat ve Yön X Hız faktörünün F değerinin 0,024 olduğu ve bu değer  $F_{kritik}$  değeri olan 3,00'dan küçük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Ayrıca Ağırlık X Yön X Hız için F değerinin 1,428 olduğu bulunmuştur bu değer de  $F_{kritik}$  değeri olan 2,37'den küçük olduğu, dolayısıyla %5 seviyesinde anlamsız olduğu bulunmuştur. Yani kompozit materyalin kritik kayma kuvveti, analiz sonucunda %5 seviyede anlamlı olan ağırlık, yön ve hız faktörlerinden ayrıca Ağırlık X Yön ve Ağırlık X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmektedir ancak %5 seviyede anlamsız olan Yön X Hız ve Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktörlerinden etkilenmemektedir.

## 7. SONUÇLAR / ÖNERİLER

Atık malzemelerin kullanımıyla oluşturulan farklı formlardaki yeni malzemeler hem çevresel, hem de ekonomik açıdan birçok yarar sağlamaktadır. Günümüzde tekstil sanayi atığı olarak nitelendirilen lif, iplik ve kumaş atıklarının bir bölümü atık borsalarında ticari değer kazanıp farklı işlem basamaklarından geçerek yeni ürün olarak tekrar tüketime sunulabilirken, bir bölümü de çeşitli yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Bu kapsamda tekstil atıklarının takviye olarak kullanıldığı kompozit malzemelerin tasarımı, atıkların değerlendirilmesi adına alternatif bir yöntem olma özelliği taşımaktadır.

Bu çalışmada tekstil atıklarının geri kazanımı amacı ile liflerin takviye malzemesi olarak kullanıldığı polimer matrisli kompozit yapılar ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiş, kompozit malzemeler hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Yapılan çalışmada karbon telefleriyle elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozit malzemeler karbon telefleri ve epoksi reçine kullanılarak elle yatırma metodu ile elde edilmiştir. Elde edilen malzemelerin bazı mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme ve kayma testleri uygulanmış ve elde edilen deney verileri istatistiksel olarak yorumlanmıştır.

Sonuç olarak;

- Maksimum çekme kuvveti için en yüksek değer lif ağırlığı en yüksek (2400g) olan kompozitin Y yönündeki numunesinin 10mm/dak hızla çekilende olduğu görülmektedir. En düşük değer de lif ağırlığına en düşük (600g) olan kompozitin X yönündeki numunelerin 0,5 mm/dak hızla çekilende olduğu görülmektedir. İstatistiksel analizlerde de ağırlık ve hız faktörlerinin ve Ağırlık X Yön X Hız etkileşimlerinin kompozitin çekme kuvvetini etkilediği anlaşılmıştır. Burada lif takviyeli kompozitlerin farklı lif ağırlığında farklı özellikler gösterdiği gözlenmiştir.
- Çekme uzaması için en yüksek değer en yüksek lif ağırlığına sahip olan kompozit malzemenin X yönündeki 5mm/dak hızda gözlenmiştir. En düşük uzama değeri lif ağırlığı 1200g olan numunenin X yönündeki 5mm/dak hızda gözlenmiştir. İstatistiksel analizde de çekme uzaması için ağırlık faktörünün ve Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktörünün etkili olduğu yapılan istatistiksel test ile bulunmuştur.

Sonuç olarak da çekme uzamasının çekme kuvvetine büyük ölçüde paralel değiştiği yani geç kopan numunelerin daha fazla uzadığı söylenebilir.

- Kritik çekme kuvveti için en yüksek değer lif ağırlığı en yüksek olan kompozitin Y yönündeki 10mm/dak.da gözlenmiştir. En düşük değer de lif ağırlığı en düşük olan kompozitin X yönündeki 0,5mm/dak.da gözlenmiştir. İstatistiksel analiz ile de ağırlık ve hız faktörlerinin ve Ağırlık X Yön X Hız etkileşim faktörlerinin kritik çekme kuvvetini etkilediği görülmüştür. Burdan lif miktarının artmasından dolayı yükleri aktarmalarının daha kolay olacağı sonucu çıkarılabilir.
- Maksimum kayma kuvveti için en yüksek değer en yüksek lif ağırlığına sahip olan kompozit malzemenin X yönündeki 10mm/dak hızda gözlemlenmiştir. En düşük kayma kuvveti değeri de lif ağırlığı en düşük (600g) olan numunenin Y yönündeki 0,5mm/dak hızda gözlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizle ağırlık, yön ve hız faktörlerinin ayrıca Ağırlık X Hız ve Ağırlık X Yön etkileşim faktörlerinin maksimum kayma kuvveti üzerinde etkilerinin olduğu kanıtlanmıştır. Burdan lif oranının artmasından dolayı elyafların birbirine tutunmasının kaymayı zorlaştırmış olabileceği kanısına varılmıştır.
- Kayma uzaması için en yüksek değer en yüksek lif ağırlığına (2400g) sahip olan kompozit malzemenin X yönündeki 10mm/dak hızda gözlenmiştir. En düşük uzama değeri lif ağırlığı en düşük (600g) olan numunenin Y yönündeki 5mm/dak hızda gözlenmiştir. Kayma uzaması için sadece ağırlık ve yön faktörlerinin etkili olduğu yapılan istatistiksel test ile bulunmuştur. Bu sonuçtan da lif ağırlığı artan numunenin kuvvet karşısında göstermiş olduğu dirençten dolayı kopmayarak uzamış olduğunu söyleyebiliriz.
- Kritik kayma kuvveti için en yüksek değer lif ağırlığı en yüksek olan kompozitin X yönündeki 10mm/dak.da gözlenmiştir. En düşük kritik kayma kuvveti değeri de lif ağırlığı en düşük olan kompozitin Y yönündeki 0,5mm/dak.da gözlenmiştir. İstatistiksel analiz ile de ağırlık, yön ve hız faktörlerinin ayrıca Ağırlık X Yön ve Ağırlık X Hız etkileşim faktörlerinin kritik kayma kuvvetini etkilediği görülmüştür.

İleride bu konuda çalışacak araştırmacılara, kompozit üretimi esnasında lifleri X ve Y istikametinde düzgün bir yerleşimle yönlendirilmeleri tavsiye edilir. Ayrıca yaptığımız incelemede malzemenin lif yoğunluğu ve elastisite modülü özellikleri üzerine bir araştırma

yapılmadığı için bu konuda çalışacak araştırmacıların bu özellikleri de incelemeleri tavsiye edilir.

Bunun yanında telef olmayan karbon liflerinin de aynı yöntem kullanılarak rastgele dağıtımıyla oluşturulan kompozit materyalin incelenmesi de kompozit sektörü için yararlı ve zaman kazandırıcı olabilir.

Karbon elyafın yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve düşük ısıl genleşme gibi özellikleri sayesinde bu malzemenin inşaat alanları, uçak ve uzay araçları parçaları gibi alanlarda kullanımı artmaktadır. Yapılan bu çalışmada da karbon miktarının artmasıyla kompozitin dayanımının arttığı görülmüştür. Bu nedenle örneğin inşaat alanında rögar kapağı olarak kullanımı için daha fazla lif kullanılarak yüksek dayanıma sahip daha kalın bir ürün yapılabilir. Böylece karbon elyafın çevreye ve insana verdiği zararlar düşünüldüğünde teleflerinin bertaraf edilerek doğaya zarar vermesini önleyip yararlı bir yerde kullanımını sağlayabiliriz. Ayrıca bu elyaflar çok pahalı oldukları için teleflerinin değerlendirilmesi ekonomiye de büyük katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Kasarcı H., Coşkun B., 2008, “Tekstil Kompozitlerine Uygulanan Deneyleler”, Bitirme Tezi, *Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Uşak, 1-25
2. Sevensan G., 2011, “1x1 Rib Örgü Yapısındaki Karbon ve Cam Elyafından Elde Edilen Hibrit Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak
3. Aral N., Berkalp Ö. B., Bakkal M., Sadıkoğlu T. G., 2009, “Atık Kumaş Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe ve Çekme Davranışlarının İncelenmesi”, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi* 2, 139-144.
4. Turhan E., 2011, “1x1 Rib Örgü Yapısındaki Karbon Elyafından Elde Edilen Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak
5. Erden, S., Yıldız, H., 2008, *12th International Materials Symposium*, “Karbon Fiber Hidrofilitesinin Plazma Oksidasyonu ile Arttırılması”, Denizli, s.693.
6. Yılmaz T., 2009, “Kompozit Malzemeler ve Kompozit Malzemelerin Aşınma Deneyi Performansının İncelenmesi” Bitirme Tezi, *Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Uşak, 9-17
7. Arıcasoy, O., 2006, “Kompozit Sektör Raporu”, *İstanbul Ticaret Odası*, Aralık
8. Şahin, Y., 2006, “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Ankara*, 27-108, 135-144.
9. Ersoy H. Y., 2001, “Kompozit Malzeme”, *İstanbul*, 95-127.
10. Agarwall B.D., Broutman L.J., 1980, “Analysis and Performance of Fiber Composites”. JOHN WILEY & SONS, *New York*, 355s
11. Agarwal B.D. , Broutman L.J., Chandrashekhara K., 2006, “Analysis and Performance of Fiber Reinforced Composite”, *New Jersey, Canada*, 1-61.
12. Daniel B., Donaldson Miracle., Donaldson S., L., 2001, “Introduction to composites ”, *Composites*, 21:29-64.
13. Tanoğlu, M., Toğulga, M., “Kompozit Malzemeler Ve Jeotermal Uygulamaları”, *Jeotermal Enerji Semineri*, [http://geocen.iyte.edu.tr/teskon/2003/teskon2003\\_18.pdf](http://geocen.iyte.edu.tr/teskon/2003/teskon2003_18.pdf)
14. Enşici A., 2006, “Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler ve Ürün Tasarımında Kullanımları” [ensicia@itu.edu.tr](mailto:ensicia@itu.edu.tr) , *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul
15. Yapı Malzemesi Ders Notları Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

16. Demirel, A., 2007, “Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
17. Yavuz A., Akıncı Gülseren, 2008, “Kompozit malzemeler”, Bitirme tezi, *Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Uşak, 5-24
18. Seventekin, N., 2003, “Kimyasal Lifler”, *İzmir*, 107-121
19. Sır G., Demirpehlivan E., 2009, “Isıya Dayanıklı Tekstiller, Üretim Teknolojileri ve Uygulamaları”, Bitirme tezi, *Uşak Üniversitesi mühendislik Fakültesi*, Uşak, 30-34
20. Karabulut H., 2010, “Yanma Dayanımı Yüksek Tekstil Malzemelerinin Kullanım Alanları”, Bitirme tezi, *Uşak Üniversitesi mühendislik Fakültesi*, Uşak, 24-36
21. Aydınhan İ., 2008, “Yüksek Performanslı Lifler”, Bitirme tezi, *Uşak Üniversitesi mühendislik Fakültesi*, Uşak, 12-19
22. Çelik L., 2008, “Yüksek Performanslı Anorganik Lifler”, Bitirme tezi, *Uşak Üniversitesi mühendislik Fakültesi*, Uşak, 1-10
23. Ersoy M. S., 2005, “Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*, Kahramanmaraş, 11-37.
24. İnternet: [http://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon\\_fiber](http://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon_fiber) (18 Ocak 2012)
25. İnternet: [http://www.nkyinsaat.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=25&Itemid=42](http://www.nkyinsaat.com/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=42) (24 Şubat 2012)
26. Seventekin, N., Öktem, T., Yaman, N., 2007, “Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları”, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 2, 90-95.
27. Mahieux, C. A., 2001, “Cost effective manufacturing process of termoplastic matrix composites for the traditional industry: the example of a carbon-fiber reinforced thermoplastic flywheel”, *Composite Structures* 52: 517-521.
28. Sookay, N.K., Klemperer, C.J., Verijenko, V.E., 2003, “Environmental testing of advanced epoxy composites”, *Composite Structures* 62: 429-433
29. Singh, K.S., Singh P.N., Rmvgk, R., 1991, “Hygrothermal effects on chopped fibre/woven fabric reinforced epoxy composites”, *Part B: Degradation studies. J Reinforced Plastic Composites*; 10(September): 457-62.
30. Wright, W.W., 1979, “A review of the influence of absorbed moisture on the properties of composite materials based on epoxy resins” *RAE Technical Memorandum*, Mat324.
31. Kinloch, A.J., 1983, “Durability of Structural Adhesives”, *Applied Science Publishers*.

32. Gabrys, C.W., Bakis, C.E., 1996, "Filament wound elastomeric matrix composites for flywheel energy storage systems", *Proceedings of the American Society for Composites, October 7-9*, pg: 729-37
33. Tezvergil, A., Lassila, L.V.J., Vallittu, P.K., 2003, "The effect of fiber orientation on the thermal expansion coefficients of fiber-reinforced composites", *Dental Materials* 19: 471-477
34. Dirikoğlu M. H., Aktaş A., 2000, "A comparative study on the stress intensity factor of carbon epoxy composite plates having central holes", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2-3): 109-112.
35. Wonderly C., Grenstedt J., Fernlund G., Čepus E., 2005, "Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites", *Composites*, 36 (Part B): 417-426
36. Dutra R. C. L., Soares B. G., Campos E. A., Silva J. L. G., 2000, "Hybrid composites based on polypropylene and carbon fiber and epoxy matrix", *Polymer*, 41: 3841-3849.
37. Park S. J., Seo M. K., Lee D. R., "Studies on the mechanical and mechanical interfacial properties of carbon-carbon composites impregnated with an oxidation inhibitor", 2003, *Carbon*, 41 (15): 2991-3002.
38. Yuan Q., Bateman S. A., Friedrich K., 2008, "Thermal and mechanical properties of pan- and pitch-based carbon fiber reinforced peek composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21: 323-336.
39. Suresha B., Chandramohan G., Samapthkumaran P., Seetharamu S., Vynatheya S., 2006, "Friction and Wear Characteristics of Carbon-epoxy and Glass-epoxy Woven Roving Fiber Composites ", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25: 771-782.
40. Phua Y. J., Mohd Ishak Z. A., Senawi R., 2010, "Injection Molded Short Glass and Carbon Fibers Reinforced Polycarbonate Hybrid Composites: Effects of Fiber Loading", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (17): 2592-2603.
41. Yusriah L., Mariatti M., Abu Bakar A., 2010, "The properties of vinyl ester composites reinforced with different types of woven fabric and hollow phenolic microspheres", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (20): 3066-3073.
42. Zenasni R., Saadi B. A., 2006, "Moisture effects on the interlaminar resistance of woven fabric thermoplastic composite", *Journal of Thermoplastic Composite*, 19 (6): 715-729.
43. Elarabi, S. M., Weidong Y., 2005, "The Effect of Transversely Aligned Fibers on the Axial Tensile Strength of Carbon Epoxy Composites", *Journal of Industrial Textiles*, 35: 39-45



44. Taniguchi, N., Nishiwaki, T., Hirayama, N., Nishida, H., Kawada, H., 2009, "Dynamic Tensile Properties of Carbon Fiber Composite Based on Thermoplastic Epoxy Resin Loaded in Matrix-Dominant Directions", *Composites Science and Technology*, 69: 207–213
45. Baral, N., Guezenoc, H., Davies, P., Baley, C., 2008, "High Modulus Carbon Fibre Composites: Correlation Between Transverse Tensile and Mode I Interlaminar Fracture Properties", *Materials Letters*, 62: 1096–1099
46. Agrawal, S., Prasad, R. C., 2005, "Influence of Environment on the Mechanical Properties of Carbon/Epoxy Composite", *Corrosion*
47. Gliesche, K., Hußner, T., Orawetz, H., 2005, "Investigations Of In-Plane Shear Properties Of  $\pm 45^\circ$ -Carbon/Epoxy Composites Using Tensile Testing And Optical Deformation Analysis", *Composites Science and Technology*, 65: 163–171
48. Zhang, M., Mason, S. E., 1999, "The Effects of Contamination on the Mechanical Properties of Carbon Fibre Reinforced Epoxy Composite Materials", *Journal of Composite Materials*, 33: 1363-1374
49. Ogasawara, T., Ishida, Y., Kasai, T., 2009, "Mechanical Properties of Carbon Fiber/Fullerene-Dispersed Epoxy Composites", *Composites Science and Technology*, 69: 2002–2007
50. Sadeghian, P., Rahai, A. R., Ehsani M. R., 2009, "Effect of Fiber Orientation on Nonlinear Behavior of CFRP Composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28: 2261-2272
51. Cérny, M., Glogar, P., Manocha, L. M., 2000, "Resonant Frequency Study of Tensile and Shear Elasticity Moduli of Carbon Fibre Reinforced Composites (CFRC)", *Carbon*, 38: 2139–2149
52. Bilisik, K., 2010, "Multiaxis 3D Woven Preform and Properties of Multiaxis 3D Woven and 3D Orthogonal Woven Carbon/Epoxy Composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29: 1173-1186
53. Reis, P. N. M., Ferreira, J. A. M., Antunes, F. V., Richardson, M. O. W., 2009, "Effect of Interlayer Delamination on Mechanical Behavior of Carbon/Epoxy Laminates", *Journal of Composite Materials*, 43: 2609-2621
54. Wang, R., Song, D., Liu, W., He, X., 2010, "Effect of Arc Spraying Power on The Microstructure and Mechanical Properties of Zn–Al Coating Deposited onto Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites", *Applied Surface Science*, 257: 203-209
55. Toygar, M. E., Toparlı M., Uyulgan B., 2006, "An Investigation of Fracture Toughness of Carbon/Epoxy Composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25: 1887-1895

56. Suresha, B., Chandramohan, G., 2007, "Effect of Normal Load and Sliding Velocity on Friction and Wear Behavior of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26: 1695-1703
57. Papargyris, D.A.; Day, R.J.; Nesbitt, A.; Bakavos, D., 2008, "Comparison of the Mechanical and Physical Properties of a Carbon Fibre Epoxy Composite Manufactured by Resin Transfer Moulding Using Conventional and Microwave Heating", *Composites Science and Technology*, 68: 1854–1861
58. Davis, D. C., Wilkerson, J. W., Zhu, J., Ayewah, D. O. O., 2010, "Improvements in Mechanical Properties of a Carbon Fiber Epoxy Composite Using Nanotube Science and Technology", *Composite Structures*, 92: 2653-2662
59. Djordjevic, I., Sekulic, D. P., Stevanovic, M., 2007, "Carbon Fiber Composites, Main Engineering Elastic Constants and Macromechanical Characterization", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26: 1193-1199
60. Tsotra, P., Friedrich, K., 2003, "Electrical and Mechanical Properties of Functionally Graded Epoxy-Resin/Carbon Fibre Composites", *Composites*, 34: 75–82
61. Suresha, B., Ramesh, B.N., Subbaya, K. M., Chandramohan, G., 2010, "Mechanical and Three-body Abrasive Wear Behavior of Carbon-Epoxy Composite With and Without Graphite Filler", *Journal of Composite Materials*, 44: 2509-2519
62. Bal, S., 2010, "Experimental Study of Mechanical And Electrical Properties of Carbon Nanofiber/Epoxy Composites", *Materials and Design*, 31: 2406-2413

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CERAN UÇAR, Ayşe  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 10.01.1988 Kahramanmaraş  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (545) 875 32 69  
e-mail : [ayse\\_ceran@hotmail.com](mailto:ayse_ceran@hotmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi /Tekstil Mühendisliği Bölümü	-
Lisans	Uşak Üniversitesi/ Tekstil Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	Elbistan Mukrimin Halil Yabancı Dil Ağırlıklı Lise	2006

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Müzik dinlemek, kitap okumak,