



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALKALİ, ASİDİK VE ENZİMATİK YÜZEY İŞLEMLERİNİN SİSAL LİFİ**  
**TAKVİYELİ TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**HAZIRLAYAN**

**ÖZGE ETİ**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Resul FETTAHOV**

**BARTIN-2017**





**T.C.**

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALKALİ, ASİDİK VE ENZİMATİK YÜZEY İŞLEMLERİNİN SİSAL LİFİ  
TAKVİYELİ TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN**

**Özge ETİ**

**JÜRİ ÜYELERİ**

- |             |                                  |                        |
|-------------|----------------------------------|------------------------|
| 1. Danışman | : Prof. Dr. Resul FETTAHOV       | - Bartın Üniversitesi  |
| 2. Danışman | : Doç. Dr. Süleyman İlker MISTIK | - Marmara Üniversitesi |
| Üye         | : Prof. Dr. İsmail USTA          | - Marmara Üniversitesi |
| Üye         | : Doç. Dr. M. Sabri GÖK          | - Bartın Üniversitesi  |
| Üye         | : Doç. Dr. Mahire CİHANGİROVA    | - Bartın Üniversitesi  |

**BARTIN-2017**

## KABUL VE ONAY

Özge ETİ tarafından hazırlanan “ALKALİ, ASİDİK VE ENZİMATİK YÜZEY İŞLEMLERİNİN SİSAL LİFİ TAKVİYELİ TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma, 22.02.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Resul FETTAHOV (1. Danışman) .....

Üye : Doç. Dr. S. İlker MISTIK (2. Danışman) .....

Üye : Prof. Dr. İsmail USTA .....

Üye : Doç. Dr. M. Sabri GÖK .....

Üye : Doç. Dr. Mahire CİHANGİROVA .....

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..../..../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Resul FETTAHOV danışmanlığında hazırlamış olduğum “ALKALİ, ASİDİK VE ENZİMATİK YÜZEY İŞLEMLERİNİN SİSAL LİFİ TAKVİYELİ TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİT MALZELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

22.02.2017

Özge ETİ

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi bitirme tezimin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayan tez danışman hocam Prof. Dr. Resul FETTAHOV ve ikinci tez danışmanım Doç. Dr. Süleyman İlker MİSTİK 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezi hazırlamam esnasında her türlü paylaşımında bulunan Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olan Öğr. Gör. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL'a, uygulama esnasında yardımını esirgemeyen Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan Arş. Gör. Sabih OVALI'ya ve Bartın Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olan Doç. Dr. Mahire CİHANGİROVA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez uygulamasında kullanmak üzere gerekli malzeme desteğini sağlayan Ahmet KALAYCI ve testlerin yapılması hususunda yardımını esirgemeyen Denge Kimya firmasına teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Özge ETİ

## **ÖZET**

### **Yüksek Lisans Tezi**

# **ALKALİ, ASİDİK VE ENZİMATİK YÜZEY İŞLEMLERİNİN SİSAL LİFİ TAKVİYELİ TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Özge ETİ**

**Bartın Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Resul FETTAHOV**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Süleyman İlker MISTIK**

**Bartın- 2017, sayfa: XVII + 78**

Plastikler günlük hayatımızda önemli bir yer tutmaktadırlar. Zaman içerisinde plastik malzeme bileşimleri alanında sağlanan gelişmelerle birlikte, plastik malzemeler takviye edilerek daha üstün özelliklere sahip olmaları sağlanmıştır. Bu gelişmeler plastik kompozit malzemelerin en az saf haldeki selefleri kadar kullanılmasını sağlamıştır.

Ergime sıcaklıklarının diğer malzeme gruplarına göre düşük olması plastik malzemelere işlenebilirlik kolaylığı sağlamaktadır. Birçok üretim yöntemiyle plastikler ve plastik esaslı malzemeler üretilebilir.

Bu çalışmada plastik matris malzemelerine takviye olarak sisal ipliğinden bezayağı örgüsünde dokunmuş kumaşlar ile çalışılmıştır. Dokuma kumaşlara farklı kimyasal maddeler ile ön işlem uygulanmıştır. Dokuma kumaşlar ve termoplastik matris malzemesinden sıcak pres yöntemi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Yapılan ön işlemlerin kompozit üzerinde etkileri çekme, eğilme, darbe, sertlik testleri ile FT-IR ve SEM analizleri ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler**

Kompozit malzeme; matris fazı; takviye fazı; kompozit üretim yöntemleri; sıcak pres yöntemi; çekme dayanımı; eğilme dayanımı; sertlik; FT-IR; SEM,

**Bilim Kodu**

621.02.01



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ALKALI, ASIDIC AND ENZYMATIC SURFACE PROCESSES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SISAL FIBER REINFORCED THERMOPLASTIC BASED COMPOSITE MATERIALS**

**Özge ETİ**

**Bartın University**

**Institute of Science and Technology**

**Textile Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Resul FETTAHOV**

**Second Advisor: Assoc. Prof. Süleyman İlker MISTIK**

**Bartın-2017, pp: XVII + 78**

Plastics constitute a wide range of our daily life. With the improvements about the plastic material compounds in the latest time, it is provided that plastic materials have advanced properties by reinforcing plastics with other materials. These developments provide the plastic matrix composites to have a usage as much as unreinforced plastic materials.

Plastics have lower melting temperatures according to other material groups that provides plastics to have a good formability. Plastics and plastic matrix composites can be manufactured with a lot of producing techniques.

In this study, woven fabric of sisal yarn was obtained and reinforced to plastic matrix materials. Woven fabrics are pre-treated with different chemical substances. Hot press applied to woven fabric and thermoplastic matrix material and composite material produced. The effects of pretreatments on the composite were examined by tensile, bending, impact, stiffness tests, FT-IR and SEM analyzes.

**Key Words**

Composite material; matrix phase; reinforcement phase; composite production methods; hot press method; tensile strength; flexural strength; hardness; FT-IR; SEM,

**Science Code**

621.02.01

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY .....	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xviii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	5
2.1.1 Metal Matrisli Kompozitler.....	5
2.1.2 Yüksek Sıcaklık Matrisleri.....	6
2.1.2.1 Seramik Matrisli Kompozitler .....	6
2.1.2.2 Karbon Elyafı/ Matrisli Kompozitler .....	6
2.1.3 Polimer(Plastik) Matrisli Kompozitler.....	7
2.1.3.1 Termosetler.....	8
2.1.3.2 Termoplastikler .....	12
2.1.3.3 Elastomerler.....	15
2.2 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma .....	15
2.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	15
2.2.1.1 Süreksiz Elyaf(Doğranmış-Öğütülmüş Elyaf/Whiskers) .....	16
2.2.1.2 Sürekli Elyaf .....	20
2.2.1.3 Başlıca Elyaf Malzemeler .....	24
2.2.2 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	28
2.2.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	29
2.2.4 Karma (Hibrid) Kompozitler.....	30

BÖLÜM 3 KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	32
3.1 Metal Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri .....	32
3.1.1 Sıcak Presleme Yöntemi .....	32
3.1.2 Toz Metalürjisi Yöntemi .....	32
3.1.3 Sıvı Metal Emdirme Yöntemi .....	33
3.1.4 Elektroliz Yöntemi .....	33
3.1.5 Buhar Çökeltme Yöntemi .....	33
3.1.6 Haddeleme Yöntemi .....	33
3.2 Yüksek Performanslı Kompozit Üretimi .....	33
3.3 Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri.....	34
3.3.1 Termoset Kompozitlerin Üretilme Yöntemleri.....	34
3.3.1.1 Hazır Kalıplama-Pres Kalıplama Metodu .....	34
3.3.1.2 Sprey Kalıplama(Spray Up)/ Püskürtme .....	36
3.3.1.3 Elyaf/ İplik Sarma .....	37
3.3.1.4 Çekme (Pultrusion).....	39
3.3.1.5 Reçine Transfer Kalıplama(RTM)/ Reçine Enjeksiyonu .....	40
3.3.1.6 Elle Tabakalama/ El Yatırma (Hand Lay Up).....	41
3.3.1.7 Otoklav Yöntemi .....	42
3.3.2 Termoplastik Kompozitlerin Üretilme Yöntemleri.....	43
3.3.2.1 Enjeksiyon Kalıplama .....	43
3.3.2.2 Şişirme (Blow Molding).....	44
3.3.2.3 Termal Şekillendirme (Thermoforming-Vakum).....	44
3.3.2.4 Presli Kalıplama .....	44
3.3.2.5 Ekstrüzyon Üretim Yöntemi .....	45
BÖLÜM 4 LİTERATÜR ÖZETİ.....	47
BÖLÜM 5 MATERYAL VE YÖNTEM .....	50
5.1 Materyal .....	50
5.1.1 Sisal.....	50
5.1.1.1 Kompozit Üretiminden Önce Sisal Lifine Uygulanan Ön İşlemler .....	52
5.1.2 Polipropilen .....	56

5.2 Yöntem.....	56
5.2.1 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemi.....	56
5.2.2 Kompozit Malzeme Test Yöntemleri.....	60
5.2.2.1 Çekme Dayanımı Testi.....	60
5.2.2.2 Eğilme Dayanımı Testi.....	61
5.2.2.3 Izod Darbe Dayanımı Testi .....	63
5.2.2.4 Sertlik Testi .....	64
BÖLÜM 6 BULGULAR VE TARTIŞMA .....	65
6.1 Çekme Dayanımı Test Sonuçları .....	65
6.2 Eğilme Dayanımı Test Sonuçları.....	66
6.3 Izod Darbe Dayanımı Test Sonuçları.....	66
6.4 Sertlik Test Sonuçları.....	67
6.5 FTIR Analizleri.....	68
6.6 SEM Analizleri .....	71
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER .....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Kerpiç üretimi .....	1
2. Yay üretimi.....	1
3. İlk yerli otomobil “Anadol” .....	2
4. Değişik alanlarda kullanılan kompozit malzemeler .....	2
5. Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları .....	3
6. Monomer ve Polimer yapı.....	7
7. Polimerizasyon.....	7
8. Termoplastik ve Termoset polimerler .....	8
9. Elyaf takviyeli kompozit levha .....	16
10. Bitkisel liflerin sınıflandırılması .....	17
11. Dokuma elyaflar.....	20
12. Bazı liflerin malzemelerin gerilme-genleme eğrileri .....	21
13. Elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozit.....	22
14. Matris malzemesi içerisinde elyaf dağılımı .....	23
15. Cam elyafı üretimi.....	25
16. Kevlar lifi .....	27
17. Koruyucu giysi olarak kullanımı.....	27
18. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler .....	28
19. Partikül takviyeli kompozitlere örnekler.....	29
20. Tabakalı kompozit üretiminin şematik gösterimi .....	30
21. Bal peteği formunda sandviç tabakalı kompozit.....	30
22. Hibrid kompozit malzeme.....	31
23. Toz metalürjisi yöntemi üretim şeması .....	32
24. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri.....	34
25. SMC pres kalıplama .....	35
26. Çevresel sarım.....	37
27. Helisel sarım.....	37
28. Polar sarma.....	37
29. Elyaf/İplik sarma yöntemi.....	38
30. Profil çekme yöntemi .....	39

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
31. Otoklav yöntemi üretim şeması .....	43
32. Yarı kalıplı ekstrüzyon yönteminde kalıp ve malzeme akışı .....	46
33. Üfleli film ekstrüzyonu üretim yöntemi .....	46
34. Kalenderleme üretim yöntemi .....	46
35. Pektinaz, Selüloz ve Lakkaz Enzimi .....	51
36. 5g/l ve 10 g/l'lik NaOH .....	51
37. HT boyama makinesi .....	52
38. İşlem görmemiş sisal kumaş .....	52
39. Lakkaz Enzimi ile ön işlem kumaş .....	52
40. Pektinaz Enzimi ile işlem görmüş kumaş .....	53
41. Selüloz Enzimi ile ön işlem kumaş .....	54
42. (a) 10 g/l ve (b) 5 g/l NaOH ile işlem görmüş kumaş .....	54
43. (a) Pres cihazı ve (b) Presin Uygulanması .....	57
44. Pres cihazında kullanılan alt plaka .....	57
45. PP-Sisal kumaş-PP katmanı .....	58
46. Çekme dayanımı test numuneleri .....	60
47. Zwick/Z10 test cihazı .....	61
48. (a) Çenelere numunenin yerleştirilmesi ve (b) Çekme dayanımı testinin uygulanışı .....	61
49. Eğilme dayanımı test numuneleri(0,1,2,3,4,5,6,7) .....	62
50. Eğilme dayanımı test cihazı .....	62
51. (a) Çenelere numunenin yerleştirilmesi ve (b) Eğilme dayanımı test işlemi .....	63
52. Izod darbe dayanımı test numuneleri(0,1,2,3,4,5,6,7) .....	63
53. Izod darbe dayanımı test cihazı .....	64
54. Sertlik tayini .....	64
55. Çekme sonucu numunedeki değişim(0,1,2,3,4,5,6,7) .....	65
56. Dalga boylarında yer alan bağlar .....	68
57. FT-IR spektrometre ve ekran alıncısı .....	68
58. Numunenin yerleştirilmesi .....	69
59. Tüm örneklere ait FTIR spektroskopisi .....	69
60. Numune iletken kaplama .....	71

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>61.</b> Taramalı elektron mikroskobu(SEM) .....	71
<b>62.</b> Sisal lifi takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri 1)İşlem görmemiş, 2)Lakkaz enzimi ile işlem görmüş 3) %80lik asetik asit ile işlem görmüş 4)Pektinaz enzimi ile işlem görmüş 5) Selülaz enzimi ile işlem görmüş 6) 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş .....	72



## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo</b>		<b>Sayfa</b>
<b>No</b>		<b>No</b>
1.	Bazı termoset plastiklerin özellikleri .....	11
2.	Bazı termoplastik reçinelerin erime ve işlem sıcaklıkları .....	14
3.	Bazı termoplastik reçinelerin mekanik ve termal özellikleri .....	14
4.	Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri.....	21
5.	Sisal lifinin yapısal içeriği.....	51
6.	Sisal kumaşa ait bilgiler .....	51
7.	Sisal kumaşa uygulanan ön işlemler ve koşulları .....	55
8.	İşlem öncesi ve işlem sonrası sisal kumaşlar için gramaj ve ağırlık kayıpları.....	55
9.	Polipropilen'e ait bilgiler .....	56
10.	Kullanılan PP miktarı, sisal kumaş ağırlığı.....	58
11.	Sıcak Pres yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler .....	59
12.	Tablo 12: Lif oranlarının belirtilmesi.....	59
13.	Numunelerin çekme dayanım değerleri .....	65
14.	Numunelerin eğilme dayanım değerleri.....	66
15.	Numunelerin İzod darbe dayanım değerleri.....	67
16.	Numunelerin sertlik değerleri .....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- S : Çekme dayanımı  
E : Elastisite modülü  
V : Hacimsel oran  
M : Matris  
F : Elyaf  
K : Kompozit

## KISALTMALAR

- CTP : Cam elyaf takviyeli kompozit  
POM : Asetal/poli metilen  
PE : Poli etilen  
PMMA : Poli metil metakrilat  
PP : Poli propilen  
PTFE : Poli tetra floro etilen  
PVC : Poli vinil klorür  
PES : Poli eter sülfon  
PEI : Poli eter imid  
PAI : Poli amid imid  
PPS : Poli fenilen sülfid  
PEEK : Poli eter eter keton  
PS : Poli stiren  
ABS : Akrilonitril bütadien stiren  
PAN : Poli akrilonitril  
PMC : Polimer matrisli kompozit  
RTM : Reçine transfer kalıplama

- PLA : Poli laktik asit
- SEM : Taramalı elektron mikroskobu
- CPC : Mantar-polimer kompozit
- HDPE : Yüksek yoğunluklu polimer
- ASTM : American Society for Testing and Materials
- FTIR : Fourier Transform Infrared

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Geçmişte ilk çağlardan günümüze dek insanoğlu malzemelerin birtakım özelliklerini geliştirmek üzere içerisinde bitkisel ve hayvansal lifler kullanmıştır. Örnek vermek gerekirse, kerpiç üretiminde (Şekil 1) killi çamur içine saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler katılarak kırılgnlık özellikleri iyileştirilmek istenmiştir.



Şekil 1: Kerpiç üretimi.

Okçulukta kullanılan yaylar (Şekil 2) ise özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhaların üst üste istiflenmesiyle üretilmiştir.



Şekil 2: Yay üretimi.

Bir başka örnek ise 19. yy başlarında patenti alınmış olan hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanımı ile üretilen yapay taş plakalardır.

İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri de geçmişten günümüze kullanım alanına sahiptir.

Ayrıca günümüzde kompozit üretiminde kullanılan cam lifinin üretim ve uygulamaları Mısır'a kadar dayanmakta olup o dönemde yapılan imalatın varlığı 17. yy'da hanedan devrinden kalan farklı renkte cam liflerinden elde edilen çeşitli eşyalardan anlaşılmaktadır. Cam liflerinin sanayideki kullanımına kayıtlarda 1877 tarihinde rastlanmakta olup 1950'li yıllardan itibaren endüstride cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kullanımı başlamıştır. 1960' lı yıllardan itibaren de sıvı tankları çatı levhaları, küçük boy deniz tekneleri gibi yapıların imalatında kullanılmıştır. Şekil 3'de de görülen ilk yerli otomobilimiz olan "Anadol"un kaportası da bu malzemedendir.



Şekil 3: İlk yerli otomobil "Anadol".

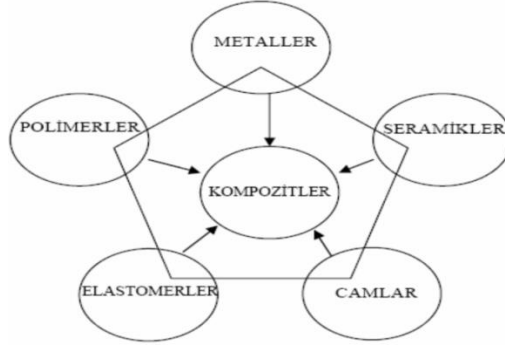
Günümüzde havacılık, gemicilik, enerji gibi pek çok alanda kompozit malzeme kullanımı söz konusudur (Şekil 4).



Şekil 4: Değişik alanlarda kullanılan kompozit malzemeler (Zor, 2016).

Doğal ve yapay olarak üretilerek kullanılabilir cisimlere malzeme denir. Malzemeler cinslerine göre;

- Seramik
- Metalik
- Polimer
- Kompozit
- Elastomer
- Cam malzemeler olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 5: Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları.

Kompozit malzeme karışım anlamı taşımasına rağmen çözünen ve çözen bileşenlerden meydana gelmez, bileşenler arasında atom alışverişi bulunmaz. Kompozit malzeme; geleneksel malzemelerde mevcut olmayan veya sınırlı olan bazı özellikleri geliştirmek üzere birbiri içinde çözünmeyen farklı özelliklere sahip en az iki bileşenden oluşan malzemelere denir.

Kompozit malzemeler takviye fazı ve matris malzemedan oluşur. Takviye fazı, malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini belirlerken matris malzeme ise fiber malzemeleri yük altında bir arada tutup yükü lifler arasında homojen dağıtarak plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemesini önleyici rol oynar ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirir.

Kompozit malzeme oluşumunda bileşenlerin en iyi özellikleri bir araya getirilir.

Böylelikle;

- Yüksek mukavemet,
- Aşınma dayanımı,

- Yorulma dayanımı,
- Kırılma tokluğu,
- Korozyon dayanımı,
- Yüksek sıcaklık performansı,
- Isıl ve akustik iletkenlik
- Maliyet
- Estetik görünüm,
- İmalat kolaylığı gibi özellikleri geliştirilebilir (Güven, 2014).

## BÖLÜM 2

### KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

#### 2.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesine göre;

- Metal matrisli kompozitler
- Yüksek sıcaklık matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırılır.

##### 2.1.1 Metal Matrisli Kompozitler

Otomotiv, uzay, havacılık gibi bazı alanlarda kullanılmaktadır.

Plastik matrislere göre mukavemetleri, rijitlikleri ve toklukları yüksek olduğundan üretilen kompozit malzemelerin özellikleri bu yönde iyileştirilir.

Olumlu özelliklerinin yanı sıra her elyafı iyi bir kompozit malzeme üretmemesi dezavantajları arasındadır. Bu özelliğini iyileştirmek için boron elyafı ile birlikte kompozit malzeme üretiminde kullanılabilir. Bahsedilen olumsuz özelliği nedeniyle üretimi zor ve pahalıdır (Zor, 2016).

Matris malzemesi olarak dökme demir, magnezyum, çelik, bakır, alüminyum ve bronz gibi metaller kullanılır. Metal bağlayıcılar kullanılabilirken hiç takviye elemanı kullanılmayabilir. Takviye malzemesi metal, plastik, seramik, ağaç tozu, pudra olabilir (Şahin, 2000).

Alüminyum ve alaşımları ile kompozit malzeme üretimi 450-550°C de sıcak pres yöntemi ile gerçekleştirilir. Üretilen kompozit malzeme ile elde edilen özellikler 300°C ye kadar korunur. Elektrik iletkenliğinin gerekli olduğu alanlarda kullanımı söz konusudur.



Magnezyumun mukavemeti alüminyumdan düşük olmasına rağmen yoğunluğu düşük olduğundan özgül mukavemeti alüminyumdan yüksektir. Buna karşın korozyon dirençlerinin kötü olması, rijitlik ve yorulma mukavemetinin düşük olması, yüksek sıcaklıkta sünme ve aşınma özelliklerinin kötü olması dezavantajlarıdır.

Çinko ve alaşımlarının ergime sıcaklıklarının düşük olması, yoğunluğunun yüksek olması, düşük devir ve ağır yüklemelerde aşınma dirençlerinin çok iyi olması, oda sıcaklığında yorulma dayanımının iyi fakat düşük sıcaklıklarda gevrek olması ve uzun süre kullanım sonun sünekliğin artması ile dayanımlarının düşmesi gibi özellikleri sayılabilir.

Titanyumun ısıl genleşme katsayısı en düşük olup, mukavemet ve rijitliği alüminyumdan daha yüksektir. Korozyon dirençleri iyidir. Titanyum ve alaşımları ile kompozit malzeme üretimi 420-550°C de gerçekleştirilir.

## **2.1.2 Yüksek Sıcaklık Matrisleri**

### **2.1.2.1 Seramik Matrisli Kompozitler**

Seramik bir veya birden fazla metalin metal olmayan elementlerle birleşmesi ve sinterlenmesi ile oluşan inorganik bileşiklerdir. Mukavemetleri çok yüksek olmasına karşın kırılğan yapıya sahiptirler. Isıl dayanımları yüksek, ergime sıcaklıkları yüksektir (silis 1750°C, alüminat 2050°C). Aynı zamanda ısıl ve elektrik yönünden yalıtıcıdır (Zor, 2016).

Matris malzemesi seramik olup bağlayıcı eleman kullanılmayabilir veya metal, seramik ve diğer kimyasal bağlayıcılar kullanılabilir. Takviye malzemesi metal, seramik, plastik ve ağaç tozu olabilir (Şahin, 2000).

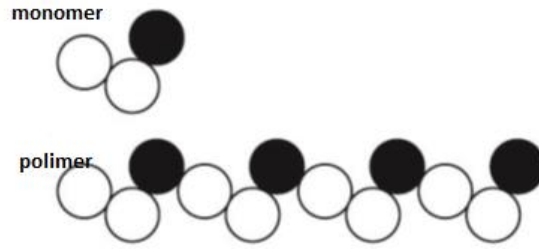
### **2.1.2.2 Karbon Elyafı/ Matrisli Kompozitler**

Üretilen kompozitler ile 4000°C ye kadar sıcaklıklarda çalışılabilir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda termal ve mekanik özellikleri oldukça iyidir (Zor, 2016).

### 2.1.3 Polimer (Plastik) Matrisli Kompozitler

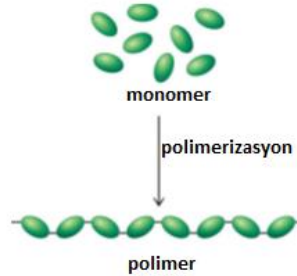
Matris malzemesi polimer olup bağlayıcı olarak polimer ve diğer kimyasal bağlayıcılar kullanılabilir. Takviye malzemesi cam, ağaç tozu, metal ve pudra olabilir (Şahin, 2000).

Şekil 6'da görüldüğü gibi plastik yani polimer monomer adı verilen küçük moleküllerin birbirine eklenmesi ile elde edilen uzun zincirli yapıya sahip sentetik malzemelere denir.



Şekil 6: Monomer ve Polimer yapı (Zor, 2016).

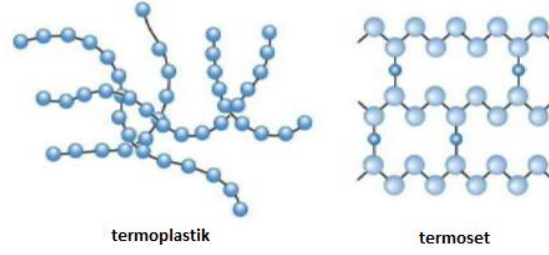
Monomerlerin polimerlere dönüştürülmesinde sıcaklık, basınç ve kimyasallarla gerçekleştirilen işleme ise polimerizasyon (Şekil 7) denir.



Şekil 7: Polimerizasyon (Zor, 2016).

Düşük üretim maliyeti, kolay şekil alma, amaca uygun üretilebilirlik özellikleri arasında sayılabilir. Polimer esaslı matris malzeme kompozit malzeme içerisinde %90 oranında bulunduğundan elde edilen kompozitlere takviye edilmiş plastikler denir. Polimerizasyon işlemi belirli basamaklarda durdurularak belirli özelliklere sahip reçineler elde edilebilir.

Polimer molekülleri birçok zincirden meydana gelir. Bu zincirler birleşmiş veya birleşmemiş (termoplastik) ya da üç boyutlu çapraz bağlı (termoset) (Şekil 8) olabilir.



Şekil 8: Termoplastik ve Termoset polimerler (Zor, 2016).

Plastiklerin sınıflandırılması;

- Termosetler,
- Termoplastikler,
- Elastomerler şeklinde yapılabilir.

### 2.1.3.1 Termosetler

Isıl sertleşir plastikler de denilir. Kovalent bağlarla üç boyutlu olarak bağlanırlar. Bu nedenle elde edilen yapı oldukça rijittir. Sertleşmeleri çapraz bağlantılarla sağlanır. Bu nedenle de ısıtılsalar bile çözünmezler ve erimezler. Monomerin polimere dönüşümü tek yönlü olduğundan sonradan şekil verilemez. Sertleşmelerine engel olmak için dondurucularda depolanarak 6-18 ay amaca uygun kullanılabilir. Oda şartlarında sertleşirler ve sonrasında şekillendirilemezler. Kimyasal kullanımı ile çözünmeleri söz konusu değildir.

Bazı termoset plastik malzemeler;

- Polyester,
- Epoksi,
- Yüksek sıcaklık reçineleri,
- Fenolik,
- Silikon,
- Poliimid,
- Poliüretan,
- Cynate Ester'dir.

## **Polyester Termosetler**

Tereftalik asit ile etilen glikolün polimerleşmesi reaksiyonu ile elde edilen malzemelerdir. 100°C'ye kadarki sıcaklıklarda mekanik ve kimyasal dayanımları iyidir. Boyacılıkta, lastik sanayisinde ve metallerde korozyona karşı koruyucu olarak, ahşap malzemelerde de neme karşı koruyucu olarak kullanıma sahiptir.

Sertleşme öncesi viskozitesi düşük olup cam elyafını iyi ıslatır. Bu nedenle kompozit malzeme üretiminde beraber kullanılabilir.

Basit kullanıma sahip olup maliyeti azdır.

Bağ şekli değiştirilerek farklı özellikler elde edilebilir.

Olumlu özelliklerinin yanı sıra;

- Sertleşme sırasında kırılma sorunu yaşanma olasılığı,
- Elde edilen yüzeylerin düzgün olmama zorluğu,
- Zehirli gaz açığa çıkması,
- Kullanım ömrünün kısa olması,
- Alkali ve bazik şartlarda korozyon dayanımının düşük olması,
- Su ile reaksiyonunda bozunması gibi olumsuz özelliklere de sahiptir.

## **Epoksi**

Yapıştırıcı malzeme olarak kullanıma sahiptir. Sertleştiricinin cinsi elde edilecek kompozit malzemenin özelliklerini belirler. Epoksinin sertleşmesi ise 127-177°C belli basınç altında 1 saatlik sürede gerçekleşmektedir.

Polyesterden farklı olarak su, asit, yağ ve kimyasallar karşı direnci yüksek olup zamanla bu özelliklerini kaybetmezler.

Birçok elyaf ile iyi bağlar oluşturduğundan mekanik özellikleri mükemmel kompozitler üretilebilir. Ayrıca mekanik dayanıklılığı mükemmel olup ısı dayanımı ıslak ve kuru hal için değişik değerler alabilir. Bu ise ıslakken 140°C kuru iken 220°C şeklindedir.

Sürtünme ve aşınma dayanımı iyi olup birlikte moleküllerin ilavesiyle sürtünme direnci artırılır.

Estetik ve hijyeniktir. Solvent içermez.

Üstün özellikleri yanı sıra sakıncaları da bulunur. Bunlar ise;

- Yüksek maliyet,
- Cilde zararlı oluşu,
- Kombinasyonların dikkatli seçilmesi şeklinde sayılabilir.
- Bahsedilen olumlu ve olumsuz özellikler göz önünde bulundurularak kullanım alanları; inşaat, yüzey koruyucu kaplama, ahşap malzemeler, vb. olarak sayılabilir.

### **Fenolik Reçineler**

Fenol formaldehitin kondenzasyon ürünüdür. Tek başına 300°C'ye kadar sürekli asbest ile takviye edildiğinde 1000°C'ye kadar süreli kullanılır. Viskoziteleri yüksektir. Sertleşme gerçekleşikten sonra 250°C'ye kadar ısı işlem uygulanmalıdır. Suyu ve aside karşı dayanıklı olsalar da alkalilere karşı duyarlıdırlar.

### **Silikon**

Yapısında silisyum, oksijen ve hidrokarbon içerir. Mekanik özellikleri iyi değildir. Fakat 250°C'ye kadar sürekli çalışılabilir. Su, ısı ve korozyon dayanımı iyi olup maliyetleri yüksektir.

## Poliimit Reçineler

127-316°C'ki sıcaklığa kadar kullanılan yüksek sıcaklık reçineleridir. Üretimleri zor, maliyetleri yüksektir.

## Poliüretan/Üretan

Organik ünitelerin karbomat bağlantıları ile birleştirilmesi sonucu elde edilirler. Esnek ve esnemeyen olmak üzere farklı yapılara sahiptir. Bu nedenle kullanım alanı oldukça geniş olup otomotiv, ayakkabı, mobilya, tekstil, elektronik, vb. alanlar sayılabilir.

## Cyanate Ester

İyi bir yalıtıcıdır. Yaş iken 200°C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

Tablo 1: Bazı termoset plastiklerin özellikleri (Zor, 2016).

Özellik	Polyester	Epoksi	Poliimit
Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> )	1.1-1.4	1.1-1.2	1.43-1.9
Çekme modülü(GPa)	1.2-4	2-5	3.1-4.9
Kayma modülü(GPa)	1-2	1.5	-
Çekme mukavemeti(MPa)	45-95	55-120	70-110
Basma mukavemeti(MPa)	140-90	-	288
Poisson oranı	0.35-0.36	0.25-0.39	-
Kopma uzaması(%)	2-6	1.5-8.5	1.5-3

Termoset plastikleri kalıplama yöntemleri;

- Sıkıştırılarak kalıplama,
- Transfer kalıplama,
- Enjeksiyon kalıplama,

- Döküm.

### 2.1.3.2 Termoplastikler

Isıl yumuşar reçineler de denilebilir. Isı etkisi ile yumuşama söz konusu olup aksi durumda da sertleşirler. Enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile üretimi yaygın olup preslenebilir takviyeli termoplastik (GMT) üretim tekniklerinde kullanılırlar.

Kullanım ömrü uzundur.

Reaksiyon iki yönlüdür. Şekil verilmiş malzeme ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunduğundan sertleştirilmeleri için özel olarak çözücü kullanımı gerekmez. Yüksek sünme oranı, üstün kırılma tokluğu, çok iyi elektrik yalıtkanlığına sahiptir.

Olumlu özellikleri dışında düşük mukavemet, sertlik ve rijitlik, matris fazı olarak kullanımının zorluğu, maliyetinin yüksekliği, oda koşullarında işlenme zorluğu gibi olumsuz özelliklere de sahiptir.

Bazı termoplastik malzemeler;

- Asetal/Poli Metilen (POM)
- Poli Etilen (PE)
- Poli Metil Metakrilat (PMMA)
- Poli Amid (PA)/ Nylon
- Poli Propilen (PP)
- Poli Tetra Floro Etilen (PTFE)
- Poli Vinil Klorür (PVC)
- Poli Eter Sülfon (PES)
- Poli Eter İmid (PEI)
- Poli Amid İmid (PAI)
- Poli Fenilen Sülfid (PPS)
- Poli Eter Eter Keton (PEEK)

- Poli Stiren (PS)

### **Asetal/Poli Metilen (POM)**

Ana malzemesi formaldehittir. Dayanım, tokluk, aşınma direnci, rijitlik yüksek olup ergime noktası 180°C ve nem alma kapasitesi düşüktür.

### **Poli Metil Metakrilat (PMMA)**

Polimerler düz zincir şeklinde yani lineerdir ve bu sebeple şekilsizdir. Saydam malzemedir. Çizilme direncinin düşük olması ise dezavantajdır. Tekstilde PAN (poli akrilo nitril) üretiminde kullanılır.

### **Akrilonitril-Butadien-Stiren (ABS)**

İki faza sahip olup birinci faz Stiren akrilonitril kopolimeri, ikinci fazı ise Stiren-Bütadien kopolimeri yani kauçuktur.

Temelde üç farklı hammadde içerir ve ABS bu üç hammaddenin değişen oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir.

### **Poli-Tetra-Floro-Etilen (PTFE)**

Çevresel ve kimyasal direnci, elektrik ve ısı direnci iyi olup sürtme direnci düşük ve sudan etkilenmeme özelliklerine sahiptir.

Genel olarak teflon adı ile tanınır.

### **Poli Amid (PA)**

İki gruba ayırırsak birinci grup olarak Naylon ele alındığında mukavemet, elastik modülü ve aşınma direncinin yüksek ve 125°C'ye kadar özelliklerini koruyabildiği, dezavantaj olarak da su emmesi söylenebilirken ikinci grup olarak ticari adı Kevlar olan aramid ele alındığında özgül mukavemetinin çelikten oldukça yüksek olduğu söylenebilir.



### **Poli Etilen (PE)**

Düşük nem alma, düşük maliyet, kimyasal kararlılık, kolay işlenebilirlik, yalıtkanlık özelliklerine sahip düşük yoğunluklu ve mukavemeti ve rijitliği yüksek olan yüksek yoğunluklu olmak üzere iki farklı türü olan poli etilenin deformasyon direnci iyidir.

### **Poli Propilen (PP)**

Özgül mukavemeti oldukça iyi olup, ergime sıcaklığı yüksektir.

### **Poli Vinil Klorür (PVC)**

Isı ve ışığa karşı kararsızdır.

Tablo 2: Bazı termoplastik reçinelerin erime ve işlem sıcaklıkları (Zor, 2016).

Malzeme	Ergime sıcaklığı(°C)	Maksimum işlem sıcaklığı(°C)
Poli Propilen	160-190	110
Poli Amid	220-270	170
Poli Eter Sülfon	-	180
Poli Eter İmid	-	170
Poli Amid İmid	-	230
Poli Fenilen-Sülfid	290-340	240
Poli Eter Eter Keton	390	250

Tablo 3: Bazı termoplastik reçinelerin mekanik ve termal özellikleri (Zor,2016).

Malzeme adı	Öz kütle (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme mukavemeti (MPa)	Elastik Modülü (MPa)	Sıcaklık sınırı (°C)
Poli Etilen (düşük yoğunluk)	0.92-0.93	7-17	105-280	80
Poli Etilen (yüksek yoğunluk)	0.95-0.96	20-37	420-1260	100
Poli Vinil Klorür	1.5-1.58	40-60	2800-4200	110

Tablo 3: (Devam ediyor).

Poli Propilen	0.9-0.91	50-70	1120-1500	105
Poli Stiren	1.08-1.1	35-68	2660-3150	85
Akrilonitril- Bütadien-Stiren	1.05-1.07	42-50	-	75
Poli-Metil- Metakrilat	1.11-1.2	50-90	2450-3150	125
Poli Tetra Floro Etilen	2.1-2.3	17-28	420-560	120
Poli Amid (Naylon6.6)	1.06-1.15	60-100	2000-3500	82

### 2.1.3.3 Elastomerler

Termosetler gibi çapraz bağlı uzun molekül yapısına sahiptirler. Küçük kuvvet etkisinde dahi büyük elastik deformasyonlar oluşur.

- Doğal kauçuk
- Sentetik kauçuk (termoset ve termoplastik polimerlerde kullanılır.) olarak iki sınıfa ayrılır (Zor, 2016).

## 2.2 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma

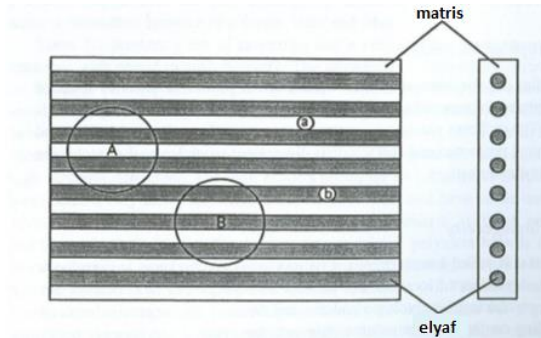
- Elyaf takviyeli kompozitler,
- Parçacık takviyeli kompozitler,
- Tabakalı kompozitler,
- Karma( Hibrid) kompozitler,

### 2.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Yüksek bükülmezlik ve rijitlik değerlerine sahip elyafların elastisite modülü ve dayanımı düşük matris malzemesi içine eklenmesi ile meydana gelen kompozitlerdir (Şekil 9). Belirtilen özelliklere sahip elyafların matris fazı içine ilave edilmesi ile kompozit

malzemenin çekme-yorulma dayanımı ile rijitlik ve bükülmezlik özelliklerinde olumlu yönde artış olur. Elyaf oranının değişimi kompozit malzemenin özelliklerini etkilemektedir. Elyaf takviyeli malzeme bir yüke maruz kaldığında yük matris malzemesi tarafından takviye malzemesine iletilerek yükün büyük kısmı takviye malzemesi tarafından karşılanır. Elyaf takviyesi ile oluşturulmuş yeni kompozit malzemenin dayanım ve rijitlik özelliklerinin yanı sıra çalışma sıcaklıkları da iyileştirilebilir. Kompozit malzemede kullanılan elyafın malzeme içerisindeki yönelişi yine kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Elyaf lar örme ve şerit fitil veya tabakalar halinde yönlü elyaf da olabilir. Aynı zamanda elyafları sürekli ve süreksiz olarak da gruplandırmak mümkündür. Cam, karbon, aramid, bor, silisyum karbür, metal gibi malzemeler de elyaf olarak kullanılır (Şahin, 2000).

Elyaf takviyeli kompozit levha aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi matris ve takviye/elyaf bileşenlerinden oluşmaktadır ve bu bileşenler birbiri içinde çözülmez veya birbirine karışmazlar (Zor, 2016).



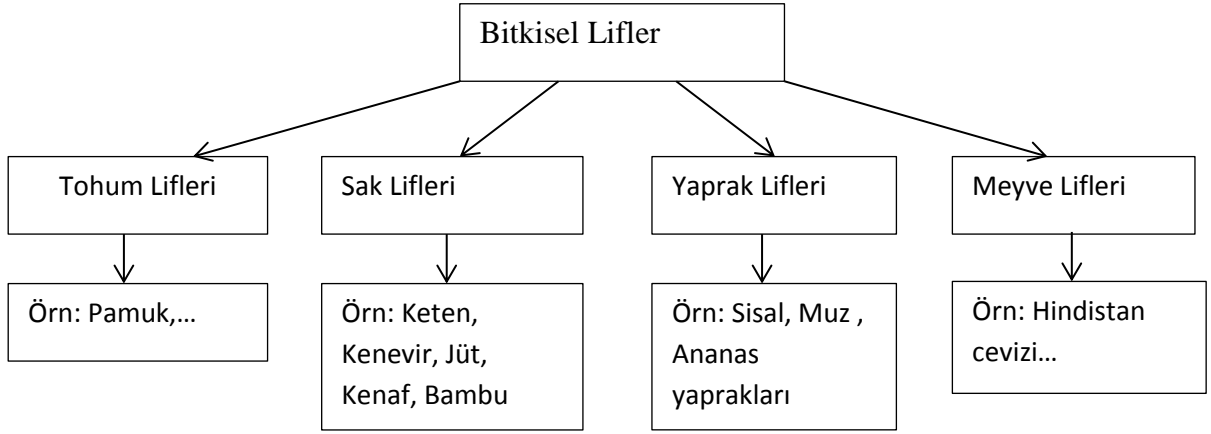
Şekil 9: Elyaf takviyeli kompozit levha (Şahin, 2000).

### 2.2.1.1 Süreksiz Elyaf(Doğranmış-Öğütülmüş Elyaf/Whiskers)

Lif çapları birkaç  $\mu\text{m}$ 'yi geçmezken, birkaç mm'den birkaç cm'ye kadar değişen boyutlarda olduğundan elyafın parçacık halden lif haline geçişi için çok uzun olması gerekmez (Zor, 2016).

Şekil 10'da da görüldüğü gibi süreksiz elyaf olarak kullanılan doğal lifler bitkisel ve hayvansal olarak sınıflara ayrılırken kompozit üretiminde genel olarak bitkisel lifler tercih edilmektedir. Bitkisel lifler sınıfından ise tercih olarak sak lifleri meyve ve yaprak lifleri

kullanılmaktadır. Doğal lifler geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet ve yenilenebilirlik açısından günümüzde büyük önem kazanmış olup hidrofob özellikteki polimer matrisle uyumsuzluğa neden olan hidrofil karakter ve bozunma nedeniyle işlem sıcaklığının düşük olması gerekliliği olumsuz yanları arasında gösterilebilir.



Şekil 10: Bitkisel liflerin sınıflandırılması

Yukarıda bahsedildiği ve tabloda da belirtildiği üzere doğal lif olarak sıklıkla kullanılan bitkisel lifler tohum, sak, yaprak ve meyve lifleri yanında zirai esaslı pirinç kapsülleri, pirinç ve buğday sapları gibi bitkisel esaslı liflerde kompozit yapımında takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Aşağıda bitkisel liflerin bazılarından kısaca bahsedilmiştir.

### **Kenevir Lifi**

*Cannabaceae* familyasına mensup olup iki türü olmasına karşın lif üretimi için kullanılan cinsi *Cannabis Sativa*'dır. Günümüzde kenevir lifinden üretilen tekstil ürünlerine önem artmıştır. Kenevir lifinin kimyasal yapısına bakıldığında selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektin içerdiği görülmektedir. Birçok elementten meydana gelen kenevir lifini bir arada tutan pektin olup yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Selülozdan sonra ikinci olarak bünyesinde bulunan biyopolimer yapı olur ayrıştırılması zor, enzimlere dayanıklı ve liflerin reaktivitesini arttıran kısımdır. Hemiselüloz ise nefes alabilirlik ve ısı izolasyonu gibi özellikler kazandırır.

İnorganik asitlere karşı dayanımı düşük olduğundan organik asitler tercih edilebilirken, alkalilere karşı dayanımı oldukça iyidir.

Pamuk ve keten liflerinin tarım ilacı ve gübre ihtiyacı, sentetik liflerin ise fosil yakıt kaynaklarıyla ilişkili olması kenevirin ise tüm bu etmenlerle ilişkisinin bulunmaması onun diğer liflere göre ekolojik açıdan üstün olduklarını açıklar.

Kenevir liflerinden üretilen ürün açısından kullanım alanı çok çeşitli olup kompozit malzeme üretiminde yine bu liflerden yararlanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe ve yalıtım amaçlı olarak inşaat sektöründe kullanım alanı bulunmuştur (Avinç, Gedik ve Yavaş, 2010).

### **Bambu Lifi**

Boşluklu ve dairesel yapıya sahip olup bitkinin uzaması ile gövde çapı ve kalınlık azalır, mukavemet artar. Dıştan içe doğru epidermis ve hipodermi tabakaları mevcuttur. Lifler bitki içerisinde dağınık halde bulunmaktadır. Bitki yaşı arttıkça lif oranı azalırken yapısındaki lignin artması ile liflerin birbirinden ayrılması zorlaşmaktadır. Dış kısımdaki lifler iç kısma göre daha yoğundur.

Selüloz oranının yüksek olması ve lif özelliklerinin giysi konforu açısından olumlu özelliklere sahip olması günümüzde önemini arttırmıştır. Aynı zamanda antimikrobiyel özelliğe sahip doğal madde içermektedir.

Asitlere karşı hassas, alkali dayanımı yüksektir. Yapısında doğal kanallar bulunması nedeniyle teri emer ve buharlaşmasını sağlar. Mukavemeti yüksektir fakat esnekliği düşüktür.

Nem absorpsiyonunun ve buharlaştırılmasının yüksek olması nedeniyle giysi konforu yüksek tekstil ürünleri üretiminde, jeotekstillerde, inşaat sektöründe tıbbi tekstillerde kullanılmaktadır. Ayrıca hafif, doğal olmaları ve yüksek performans göstermeleri ve de güçlendirici olarak kompozitlerde kullanımı tercih edilmektedir. Kompozit olarak kullanımının diğer nedenleri ise düşük maliyet, ekolojik olması ve tükenmeyen kaynaktan

elde edilmesidir. Tüm bu nedenlerin dışında da bambu lifleri çok farklı özelliğe sahip doğal kompozittir (Karahana, Öktem ve Seventekin, 2006).

### **Ananas Yaprak Lifi**

Ananas yaprak lifi multiselular yapıda ve lignoselülozik liftir. Yaprak ve gövdesinden beyaz, kremi ve ipek gibi bir lif elde edilir. İnce, yumuşak ve esnek bir lif olması nedeniyle kağıt endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur. İnce olmalarına karşın pamuk lifinden yaklaşık 10 kat kabadır.  $\alpha$ -selüloz, hemiselüloz ve lignin içeren yapıya sahiptir. Selüloz içeriğinin yüksek oluşu ile pamuk liflerine benzer. Ortalama mukavemetleri kevlar liflerinden düşük olmalarına karşın kompozitlerde destek amaçlı kullanılarak yeterli mukavemet sağlanır.

Mukavemet değerlerinin üstün olması ve fiyatlarının düşük olması sebebiyle kompozit üretiminde gittikçe artan bir yer almaktadır (Bozacı, Öktem ve Seventekin, 2007).

### **Keten Lifi**

Keten lifinin fiziksel ve kimyasal yapısına bakıldığında epidermis tabakası tarafından çevrelenen ve kuvvetli gövde lifleri olan lif yığınları bulunur. Gövdenin merkezinde boş alan bulunur. Hücrenin birincil çeperinde lignin ve pektin, ikincil çeperinde ise esas olarak selüloz bulunur. Selüloz dışında kendine özgü glukoz, mannoze, galaktoz şekerleri ihtiva eder ve galaktan zincirleri ve arabinoglaktan proteinleri tarafından liflerin mukavemeti sağlanır.

Keten lifleri yağ ve tekstil sanayisi dışında kompozit üretiminde ve nonwoven üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca biyolojik esaslı kompozitlerde güçlendirici ve biyolojik parçalanmayı arttırıcı etkiye sahiptir.

Katma değerinin yüksek ve rekabet edilebilirliğinin artması, doğal olması nedeniyle ekolojik olması nedeniyle günümüzde artan öneme sahiptir (Ekmekçi Körlü ve Gümüştürkmen Bozacı, 2006).

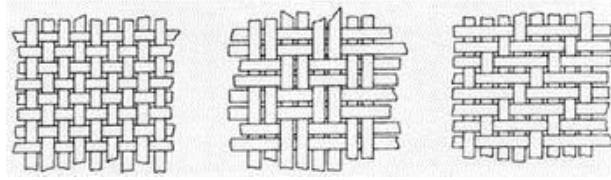
### 2.2.1.2 Sürekli Elyaf

Kompozit yapılarda günümüzde sıklıkla kullanılan takviye malzemesi olup modern kompozitlerin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır.

Takviye edilen elyafın;

- Düşük yoğunluk,
- Yüksek elastisite modülü,
- Yüksek mukavemet,
- Sertlik gibi özelliklere sahip olması istenir.

Sürekli elyaf takviye edildiği kompozit malzemenin mekanik özelliklerini kendi boyları doğrultusunda geliştirirler. Sürekli elyaf malzemeler birtakım yöntemler kullanılarak kesilmeden filament şeklinde üretilerek kullanılırlar. Üretilen kompozitte farklı yönlerde eşit mukavemet elde etmek amacıyla kumaş şeklinde üretilen elyaf olarak kullanımı da söz konusudur (Şekil 11).



Şekil 11: Dokuma elyaflar (Zor, 2016).

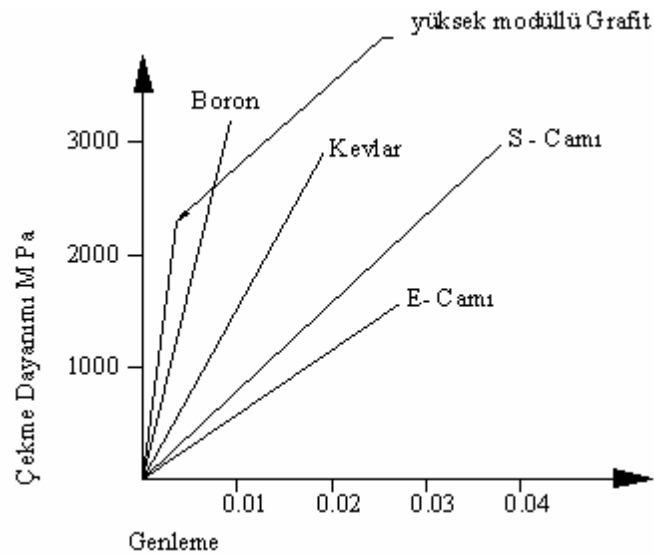
Yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri;

- Çapları ve iç yapı tane boyutları küçük olduğundan malzeme kusurlarını minimize ettiğinden elastisite modülü ve mukavemet yüksektir.
- Lif boyu/ çap oranı büyük olduğundan matris tarafından elyafa iletilen yük miktarı artar, şeklinde maddelendirilebilir (Zor, 2016)

Tablo 4: Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri (Şahin, 2000).

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)
E-Camı	2.54	3448	72.4	2.75
S-Camı	2.49	4585	85.5	-
Bor	2.68	3448	413.7	0.7
Karbon	1.85	2900-2000	520-220	0.5-1.3
Kevlar 49	1.44	2706	131	2.5

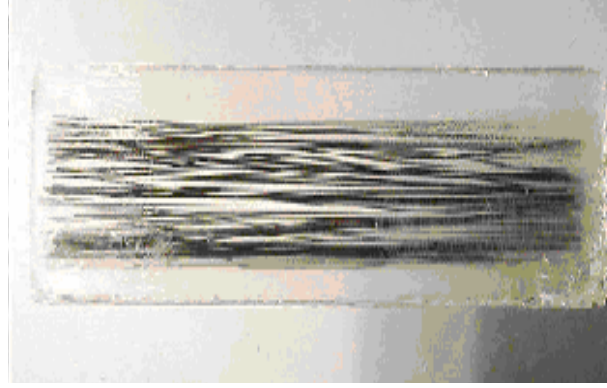
İlk üretilen sürekli yani uzun elyaflar boron ve silisyum karbür olmasına karşın sonrasında karbon ve alüminyum esaslı elyaflar da üretilmiştir. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf yönlendirmesi söz konusu olduğundan üretilen kompozit malzeme anizotropiktir. Yönlendirme özellikleri nedeniyle sürekli elyaflar tek yönde çekme zorlanmasına maruz kalan bölgelerde maksimum dayanım özellikleri sergiler. Fakat elyaf eksenine dik doğrultuda çekme zorlanmasına karşı gösteren ve yükü taşıyan malzeme matris olması nedeniyle elyaf eksenine dik doğrultuda düşük özellikler elde edilir. Hem elyaf eksenine dik hem de elyaf eksenine paralel doğrultudaki yükleri taşıyabilmek adına elyaf takviyesi değişik açılarda yapılarak daha yüksek özellikler elde edilebilir.



Şekil 12: Bazı liflerin Gerilme-Genleme eğrileri (Şahin, 2000).



Kullanılan kısa elyaf fiziksel özellikleri 3-5  $\mu\text{m}$  çap ve 0.5-6 mm uzunluk olarak belirlenebilir. Kısa elyaf takviyesi ile üretilen kompozit malzemelerde takviye elemanı sıkıştırılmalı döküm yöntemi kullanılarak sabit basınç ve sıcaklıkta gerekli kalıplara sokularak eriyik ile emdirilir. Sıvı eriyik emdirilirken elyaf hacim oranı %33 civarı olup bu değer üzerine çıktığında istenilen özelliklerin elde edilmesi zorlaşmaktadır.

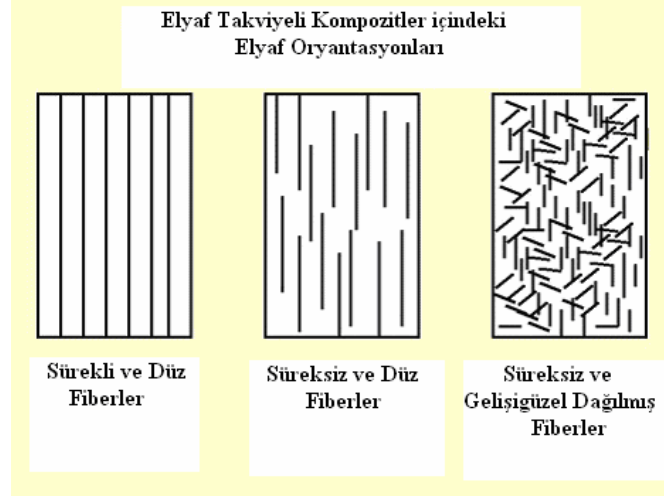


Şekil 13: Elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozit (Şahin, 2000).

Kısa lif takviyeli kompozit malzemeleri üretmenin en kolay yollarından biri olan sıkıştırılmalı döküm tekniğinde motorlarda kullanılan piston başlığı üretimi yapılmaktadır. Pistonun baş kısmında termal yorulmayı önlemek için kısa elyaf kullanılmaktadır. Ayrıca bu teknik dışında toz metalürjisi ve plazma püskürtmeli çökertme metotları aracılığıyla da kısa lif takviyeli kompozit malzemeler üretilebilmektedir.

Toz metalürjisi metodunda elyaflar mekanik yükler nedeniyle hasar görebilmekteyken plazma püskürtme metodunda şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması nedeniyle üretilen kompozitin özelliği düşük olabilir. Fakat kısa lif takviyeli kompozit malzemelerin üretim işlemlerinin hızlı olması ve şekil verilebilirliğin kolaylığı nedeniyle sürekli elyaf takviyeli kompozitlere nazaran daha çok tercih edilmektedir.

Uzun elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik ve termo-mekanik özelliklerinin kısa elyaf takviyeli kompozit malzemelere nazaran daha üstün olması nedeniyle günümüzde kullanımı artmıştır (Ekşi, 2007).



Şekil 14: Matris malzemesi içerisinde elyaf dağılımı (Ekşi, 2007).

Kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanının boyutlarından ziyade matris malzemesi içerisindeki dağılımı ve oryantasyonu büyük önem taşımaktadır (Şekil 14). Genellikle içerisindeki elyafın iki boyutlu olarak rastgele yönlendirilmesi ile üretilen kompozitler sodyum silisten oluşan orta sululukta bir bağlayıcı ile tutularak katı preform yani ön biçim verilmiş şekle getirilir. Ardından preslenir veya santrifüj ile sıkıştırılıp kurutularak fırınlanır. Bu yöntemle üretimde preformların dar alanlar ve küçük oyuklar gibi belli kısımlara yerleşip emdirilmesine müsaade etmesi ile üretim maliyeti düşürülür. Bahsedilen sebeplerle sıvı metal emdirme tekniği diğer tekniklere göre daha cazip olmasına karşın yönlendirme açısı, yer değiştirme, akış alanı, işlem durumu ve elyaf boyu, hacim oranı ile kalıbın şekline bağlıdır. Takviye edilen elyafın kompozit malzeme içerisindeki yerleşimi ne kadar düzenli ise hacim oranı da o kadar fazla olmakla beraber mekanik özellikleri de değişir. Yapılan işlemin hatasız olduğu durumlarda elyafın düzgün dağılması ile tüm yönlerde aynı değerler elde edilir.

Malzeme elyaf yönüne paralel yükleme etkisi altında (eş genleme durumu) iken kompozit malzemenin elastisite modülü ve çekme dayanımı Eşitlik 1'de verilen formülle hesaplanabilir;

S = Çekme dayanımı

E = Elastisite modülü

V = Hacimsel oran

m = Matris

f = Elyaf

k = Kompozit

$$S_k = S_m \times V_m + S_f \times V_f \quad (1)$$

$$E_k = E_m \times V_m + E_f \times V_f \quad (\text{\u015eahin, 2000}). \quad (2)$$

Boyuna y\u00fckleme yani e\u015f genleme durumunda malzeme ve elyafların deformasyonu aynıdır.

Malzeme elyaf yön\u00fcne dik doğrultuda y\u00fckleme (e\u015f gerilme durumu) etkisi altında iken kompozit malzemenin elastisite mod\u00fcl\u00fc e\u015fitlik 2’de verilen form\u00fclle hesaplanabilir;

S = \u00c7ekme dayanımı

E = Elastisite mod\u00fcl\u00fc

V = Hacim oranı

m = Matris

f = Elyaf

k = Kompozit

$$E_k = (E_m \times E_f) / [(V_m \times E_f) + (V_f \times E_m)] \quad (\text{\u015eahin, 2000}). \quad (3)$$

### 2.2.1.3 Ba\u015flıca Elyaf Malzemeler

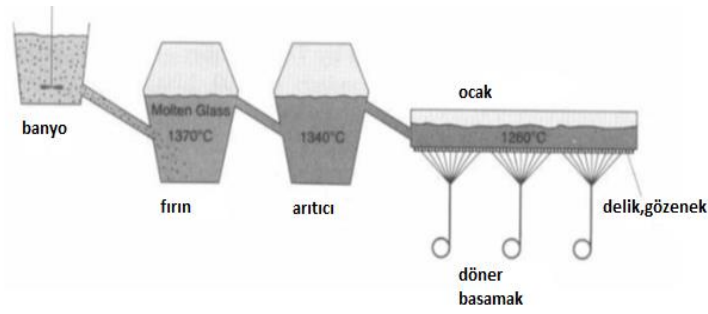
- Cam elyafi,
- Karbon elyafi,
- Aramid (kevlar) elyafi,
- Bor elyafi,
- Oksit elyafi,
- Y\u00fcsek yoğunluklu polietilen elyafi,
- Poliamid elyafi,
- Polyester elyafi,
- Doğal organik elyaflar olarak sayılabilir.

İlk dört maddede belirtilen cam, karbon, aramid ve bor elyafı en çok kullanılmakta olup sürekli elyaf olarak üretilebilmektedir.

## Cam Elyafı

Elyaf takviyeli kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan elyaf türü olup silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi maddelerden üretilmektedir.

Eritilmiş camın özel tasarlanmış ve tabanında küçük delikler bulunan özel bir fırından sabit basınç altında geçirilmesi ile üretilirler.



Şekil 15: Cam elyafı üretimi (Zor, 2016).

Cam elyafı biçimlendirilmesi gerçekleştirildikten sonra yıpranmaya karşı dayanımını arttırmak için kompozit malzeme üretiminden önce genelde suyla bile kolay çözülebilen polimerler kullanılarak sertlik ve mukavemetinin düşmesinin önüne geçilmiş olur.

Cam elyaf türleri;

- A camı: Kompozit malzeme üretiminde pek fazla kullanılmaz.
- C camı: Kimyasal direnci yüksektir.
- E camı: Kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılacak elyaf üretiminde en çok kullanılan türdür. Maliyet ve su emiş oranı düşük olup, yalıtım özellikleri iyidir.
- S ve R camı: Elyaf içindeki tel çapları E camının yarısı kadar olup lif sayısı fazlalaşır ve bu nedenle elde edilen kompozit malzemede üstün özellikler ve sert yüzey elde edilir.

## **Karbon Elyafı**

Kompozit malzeme üretiminde geniş bir yere sahiptir. Cam elyafına göre daha hafif ve mekanik özellikleri daha iyi olmasına karşın üretim maliyetleri yüksektir.

Karbon elyafının yüksek ısı işlem ile karbonlaşması ile üretilen yeni elyafa grafit elyafı denir.

Olumlu özellikleri;

- Yüksek elastisite modülü,
- Düşük yoğunluk,
- Yüksek sıcaklık dayanımı,
- Korozyona karşı dayanım,
- Yüksek sertlik,
- Yüksek mukavemet ve yorulma dayanımı,
- Bütün reçinelerle kompozit oluşturabilme,
- Sürekli geliştirilebilmesidir.

Olumsuz özellikleri;

- Üretim açısından maliyeti yüksektir.

## **Aramid (Kevlar) Elyafı**

Polimer malzemenin matris ve elyaf olarak da kullanımı mümkündür. Kevlar elyafı kompozit malzemeye yüksek mukavemet ve sertlik kazandıran hafif bir malzemedir. Farklı uygulamalarda kullanılmak üzere farklı özelliklere sahip elyaf üretimi mümkün olup Şekil 16'da görüldüğü gibi genel olarak doğal rengi sarıdır.



Şekil 16: Kevlar lifi (Zor, 2016).

Olumlu özellikleri;

- Düşük yoğunluk,
- Yüksek mukavemet ve yorulma dayanımı,
- Yüksek darbe dayanımı ve aşınma dayanımı,
- Yüksek kimyasal dayanım,
- E-cam elyafına yakın basınç dayanımı,
- Cam elyaf takviyeli kompozitlere nazaran %35 hafif olması.

Olumsuz özellikleri;

- Bazı türleri UV ışınlarına hassastır.
- Işığa duyarlıdır.
- Matrisle iyi birleşmeyebilir.

Balistik koruma uygulamalarında, koruyucu giysilerde, yelken direği, hava araçlarında gövde parçaları tekne gövdesi, vb. olarak geniş kullanım alanına sahiptir (Şekil 17).



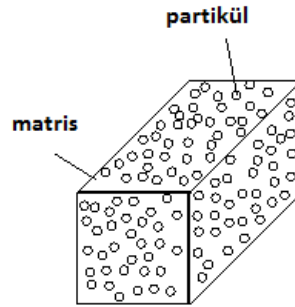
Şekil 17: Koruyucu giysi olarak kullanımı (Zor, 2016).

## Bor elyafı

Oda sıcaklıklarında katı olan elyaftır. İnce tel (çekirdek) üzerine bor kaplanarak imal edildiğinden tek başına kompozit malzemedir. Karbon elyafından güçlü fakat karbon elyafından pahalıdır. Değişik çaplarda üretilebilir ve çekirdek üzerine kaplanan malzeme değiştirilerek yüksek sıcaklıklara dayanım, yüksek çekme mukavemeti gibi istenilen özellikler elde edilebilir (Zor, 2016).

### 2.2.2 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bir malzemenin matris malzemesi içerisinde parçacıklar halinde bulunması ile üretilirler (Şekil 18). Tüm yönlerde aynı malzeme davranışı gösteren izotropik yapılardır. Üretilen kompozit malzemenin mukavemeti içinde barındırdığı parçacıkların sertliğine bağlıdır. Elyaf takviyeli kompozitlerde (elyaf ve matris) de olduğu gibi parçacık takviyeli kompozit malzemelerde (partikül ve matris) de iki faz birbiri içinde çözülmez (makro bağlantı).



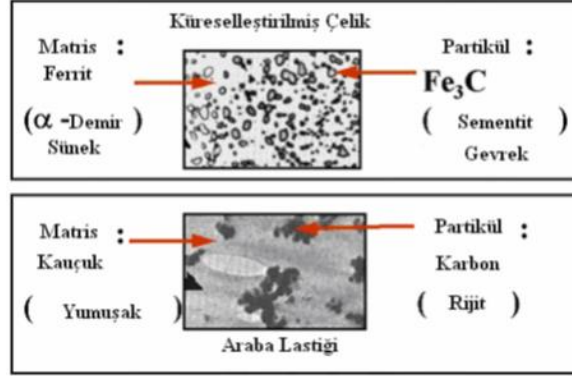
Şekil 18: Parçacık takviyeli kompozit malzemeler (Zor, 2016).

En yaygın olanı plastik matris içerisinde yer alan metal parçacıklar olup metal partiküller ısı ve elektrik iletkenliğini sağlar. Metal matris içerisinde seramik partikül içerdiğinde ise sertlik ve yüksek sıcaklıklara dayanımı yüksektir.

Partikül boyutu nanometre seviyesinde olan kompozit malzemelere de nanokompozitler denir (Zor, 2016).

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler tel veya iki boyutlu (makroskobik) parçacıkların veya sıfır boyutlu (mikroskobik) parçacıkların matris ile oluşturdukları malzemelerdir.

İçerisinde ihtiva eden partikül boyutu  $1\mu\text{m}$ 'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazla kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiC}$ 'den oluşan seramiklerdir (Şekil 19).

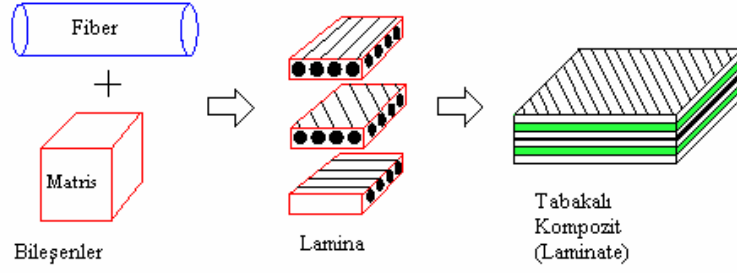


Şekil 19: Partikül takviyeli kompozitlere örnekler (Şahin, 2000).

### 2.2.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler

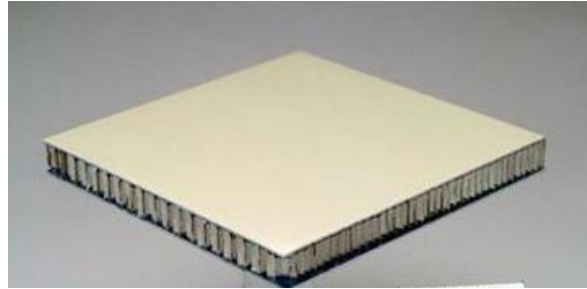
Temel malzeme eksenleri doğrultusunda yönlendirilmiş elyaf ve diğer takviye malzemeleriyle takviye edilmiş, değişik yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya gelmesiyle oluşturulan kompozit malzemelerdir (Şekil 20). Takviye edilen elyaf matris malzemesi içerisinde rastgele yönlendirilmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar ve farklı yönlerde yönlendirilmiş olarak tabakalar elde edilir. Tabakalı kompozitler maruz kalacağı yüklerle uyum sağlamak üzere dayanım ve doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamak amacıyla geliştirilmelidirler. Malzeme içerisinde yer alan tabakalar istenilen doğrultuda yönlendirilmiş elyaflar ile istenilen açılarda birleştirilebilirler. Örneğin elimizde 10 tabakadan oluşan kompozit malzeme olsun ve bunun 6 adeti bir yönde diğer 4 adeti ise bu 6 tabakaya  $90^\circ$  açı ile konumlandırılırsa bir doğrultuda yönelimli kompozit malzemenin dayanımı ve rijitliği %50'den fazla olurken iki doğrultuda yönelimli rijitlik oranı 6/4 olur. Tabakalı kompozitlerde her bir tabakanın yanındaki tabakadan bağımsız olarak deforme olma eğilimi olduğundan oluşan kayma gerilmeleri tabaka kenarları yakınında en büyük olarak delaminasyon başlangıcı meydana gelir (Şahin, 2000).





Şekil 20: Tabakalı kompozit üretiminin şematik gösterimi (Şahin, 2000).

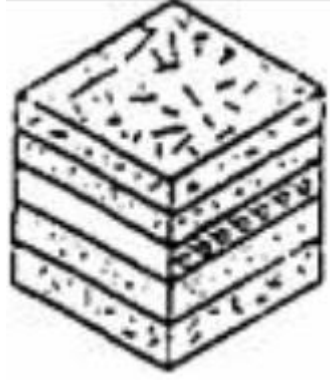
Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak yaygın bir kullanıma sahip olup bu alanda kullanılan tabakalı kompozit malzeme örneği sandviç yapılardır (Şekil 21). Sandviç yapıların yük taşıma özellikleri bulunmayıp izolasyon özelliğine sahip yoğunluğu düşük olan çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli parçaların yapıştırılması ile elde edilirler. İki tabaka arasına farklı formdaki farklı malzemenin yerleştirilmesi ile elde edilen yapılar olup tabakaların her birisi izotropik (parçacık takviyeli) malzeme olabileceği gibi elyaf takviyeli malzeme de olabilir (Zor, 2016).



Şekil 21: Bal peteği formunda sandviç tabakalı kompozit (Zor, 2016).

#### 2.2.4 Karma (Hibrid) Kompozitler

İki veya daha fazla elyaf çeşidinin aynı kompozit yapı içerisinde bulunduğu kompozit malzemelerdir (Şekil 22). Örneğin, kevlar lifi ucuz ve tok bir lif olmasına karşın basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük toklukta olmasına karşın pahalı fakat iyi basma mukavemeti olan bir elyaf olup iki elyafın kullanılarak üretildiği hibrid kompozit malzemenin tokluğu grafitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti kevlerden daha yüksektir (Zor, 2016).



Şekil 22: Hibrid kompozit malzeme (Zor, 2016).

## BÖLÜM 3

### KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

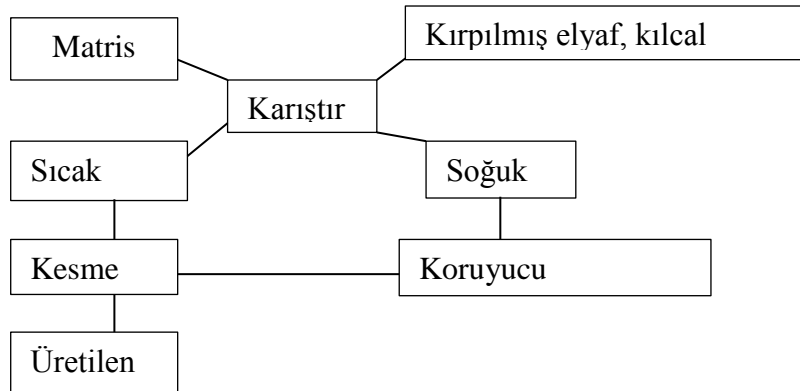
#### 3.1 Metal Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri

##### 3.1.1 Sıcak Presleme Yöntemi

Elyafın bulunduğu konumda kalmasını sağlamak için metal folyo arasına yerleştirilmesi ardından belirli sıcaklıkta presleme yapılır. Presleme sırasında bağlayıcı madde püskürtülür. Uygulanan basınç 0.5-15 MPa aralığında olup sıcaklık ise 80-170°C arasındadır. Kullanılan matris malzemesi genellikle Mg, Al, Ti ve alaşımlarıdır.

##### 3.1.2 Toz Metalürjisi Yöntemi

Metal ve seramik matris tozlarının kırılmış elyaf ve kılcal kristalitler ile karıştırılması ile hazırlanan karışım sıcak veya soğuk olarak preslenir ve ardından bitirme işlemleri gerçekleştirilir (Şekil 23).



Şekil 23: Toz metalürjisi yöntemi üretim şeması.

### **3.1.3 Sıvı Metal Emdirme Yöntemi**

Erime noktası düşük olan alüminyum, gümüş, magnezyum, bakır gibi metallerin basınç ve vakum altında elyafa emdirilmesi veya elyafın reçine tankından geçirilmesi ile üretim yapılır. %45 elyaf hacim oranına sahip kompozit malzeme üretimi yapılabilir.

### **3.1.4 Elektroliz Yöntemi**

Katot üzerindeki elyaflara metal matris malzemesinin (genellikle nikel) çökeltmesi ve sonrasında presleme ile üretim söz konusudur. Elde edilen kompozit malzemede elyaf hacim oranı yüksektir.

### **3.1.5 Buhar Çökeltme Yöntemi**

Buharlaştırılan Al ve Ni gibi matrislerin elyaflar üzerine çökeltilerek kaplanması ve preslenmesi şeklinde kompozit üretim yöntemidir.

### **3.1.6 Haddelme Yöntemi**

Elyaf ve folyo birlikte merdaneler arasından geçirilerek basınç etkisiyle birleştirilip sürekli şeritler oluşturulur.

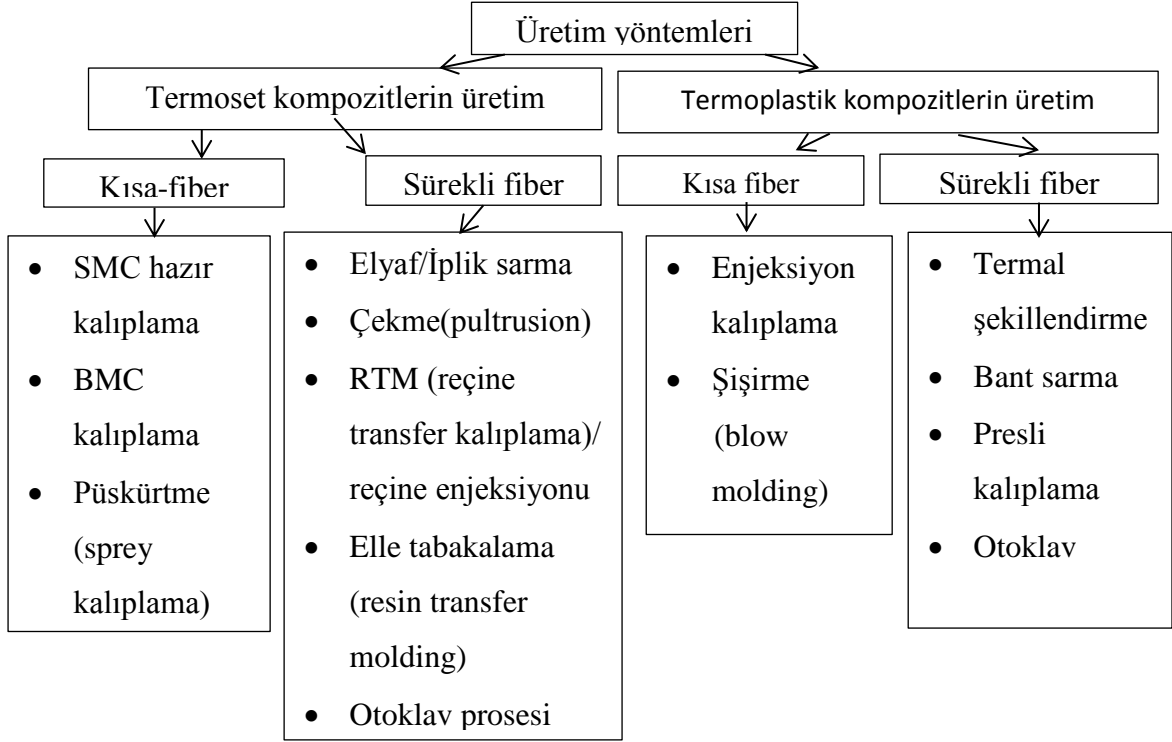
## **3.2 Yüksek Performanslı Kompozit Üretimi**

Üretim aşamaları;

- Kalıba yerleştirilen parça ilk olarak düşük basınç odasında(alt kalıp) bekletilir.
- Yüksek basınç odası (üst kalıp) parçanın içerisinde bulunduğu alt kalıp üzerine konulur.
- 25-40°C deki soğuk akışkan üst kalıba düşük basınçta gönderilir.
- Düşük viskoziteye sahip 70-100°C deki orta sıcaklıktaki akışkan yaklaşık 5 dakika her iki arasına gönderilir.

- Isıl işlem sıcaklığındaki akışkan reçine sıcaklığına gelene dek yaklaşık 10-30 dakika kalıp içerisinde dolaştırılır ve ardından kalıptan çekilir.
- Bir önceki işlemi takiben ora sıcaklıktaki ve ardından soğuk akışkan çekilir.
- Parça kalıptan çıkarılır (URL-1, 2016).

### 3.3 Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri



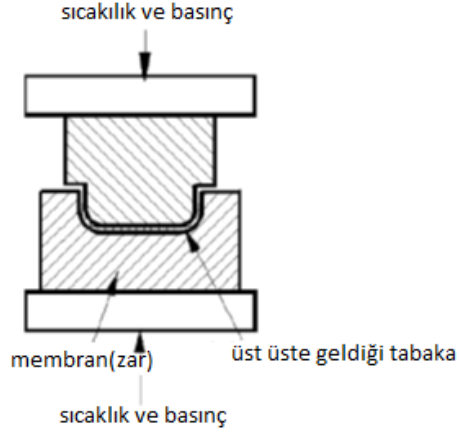
Şekil 24: Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Şekil 24’de belirtilen üretim yöntemlerinden ziyade burada polimer matrisli kompozitlerin (PMC) üretiminde sıklıkla kullanılan yöntemler ele alınacaktır.

#### 3.3.1 Termoset Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

##### 3.3.1.1 Hazır Kalıplama-Pres Kalıplama Metodu

Cam-Polyester dolgu ve katkı malzemeleri şeklinde hazırlanmış olan pestil veya hamur haldeki karışımın 50-120 kgf/cm<sup>2</sup> basınç altında ve 150-170°C sıcaklıkta çelik kalıplarla şekillendirilmesi yöntemidir (Şekil 25). Kalıplama süresi 3-6 dakika gibi kısa olup hızlı ve seri kompozit üretimi sağlar (Şahin, 2000).



Şekil 25: SMC Pres Kalıplama (URL-2, 2016).

### **SMC Hazır Kalıplama Hamuru**

Takviye olarak kullanılan kırılmış lif ile dolgu malzemesi ihtiva eden reçinenin önceden birleştirilmesi ile pestil malzemesi elde edilir. Sürekli fil 25-50 mm uzunluğunda kırılarak kesikli hale getirilmiştir. Takviye malzemesi kullanım miktarı %25-30 oranındadır.

### **BMC Hazır Kalıplama Hamuru**

SMC de olduğu gibi takviye olarak kullanılacak kırılmış elyaf ve dolgu maddesi içeren karışımın önceden birleştirilmesi ile hazırlanan hamur biçiminde malzemedir.

Bazı üstün özellikleri;

- Tasarım konusunda esneklik sağlar.
- Oldukça düzgün yüzeyler elde edilir.
- Kolay boyanabilirlik sağlar.
- Geri dönüştürülebilir.
- Alev dayanımı yüksektir.

RTM yani reçine transfer kalıplamadan farkı reçine ile elyaf karışımının kalıp dışında hazırlanmasıdır (Arıcasoy, 2006).

### 3.3.1.2 Sprey Kalıplama (Spray Up)/ Püskürtme

Islak kalıplama yönteminin uygulanmasında kullanılan bir tekniktir (Arıcasoy, 2006).

Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine içerisinde sertleştirici bulunan reçinenin elle yatırma yönteminden farklı olarak bir aletle yani özel bir tabanca ile püskürtülmesi sonucu kompozit malzeme elde edilir. Elyafın kırılması tabanca üzerindeki kırıcı ile gerçekleştirilir. İşlem sonrası yüzey rulo ile düzeltilir (Arıcasoy, 2006).

Bu yöntem ile daha fazla ürün elde edilir. Püskürtme yüzeye dik yapılmadığı takdirde malzeme israfı gerçekleşir (URL-2, 2016).

Takviye edilecek lifler demet halinde bulunurken reçine olarak gelede polyester tercih edilir.

İşlem basamakları;

- Kalıp yüzeyi ayırıcı madde (jel-coat) ile kaplanır.
- Kalıp ayırıcı maddenin sertleşmesi sonrası tabancada kıyılan lifler katalizör/sertleştirici ile karıştırılarak kalıba püskürtülür.
- İstenilen kalınlık elde edilince genel olarak ortam şartlarında pişmeye bırakılır.

Olumlu yönleri;

- Maliyetin düşük, işlem süresinin kısa olması,
- Basit bir yöntem olması
- Karmaşık yapıların üretilmesi için uygun yöntem olmasıdır.

Olumsuz özellikleri ise;

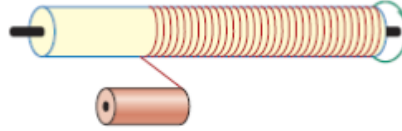
- Elde edilen yapı ağırdır.
- Mekanik özellikleri sınırlı,
- Sağlık açısından zararlı,
- İçeriğindeki styrene konsantrasyonunu yasal sınırlar içerisinde tutmak zor,

- İşlem esnasında açığa çıkan parçacıkların giysilere bulaşması kolaydır (URL-2, 2016).

### 3.3.1.3 Elyaf/ İplik Sarma

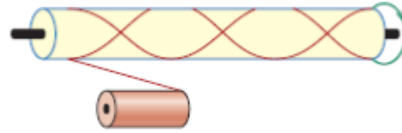
Sürekli liflerin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla oluşturulan üründe elde edilen mekanik özellikler değişiklik gösterir (Arıcasoy, 2006).

Bu yöntem ile elde edilen ürünlerin yüksek kalite ve mukavemette olması için sürekli lifler kalıp üzerine düzlemsel veya helisel sarılabilir (URL-1, 2016).



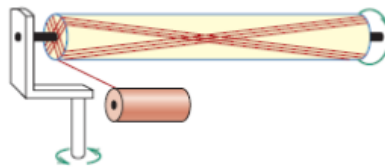
Şekil 26: Çevresel sarım.

Şekil 26’da görülen sarım şekli olan çevresel sarım ile elyaf fitilleri mandrele göre 90° açı ile sarılır.



Şekil 27: Helisel sarım.

Şekil 27’de de görüldüğü gibi helisel sarımda mandrelin sabit hızla hareketi esnasında elyaf yönlendiricisi mandrele paralel şekilde helisel açığı vererek hareketini gerçekleştirir.



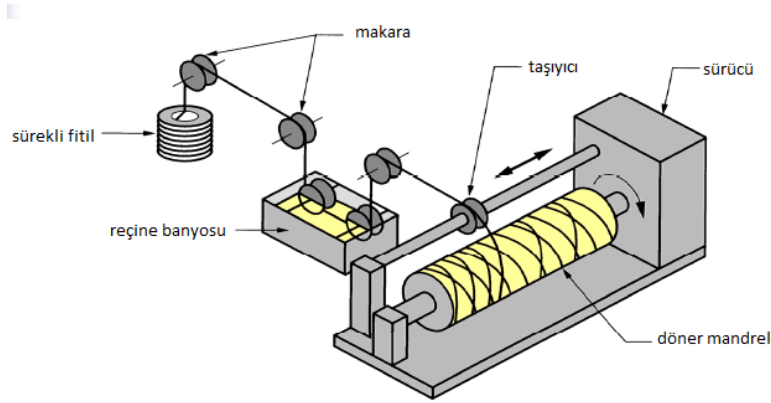
Şekil 28: Polar sarım.



Polar sarma yöntemi genellikle basınçlı kapların uçtan uca sarılmasında kullanılır (Şekil 28).

Elyaf/ iplik sarma yönteminin işlem basamakları;

- Lifler bobine sarıldıktan sonra reçine banyosundan geçirilir.
- Reçineden geçirilen lifler belli bir hızla dönen mandrel üzerine istenilen açıda sarılır.
- İstenilen sarım sayısı gerçekleştirilerek işlem tamamlanır.
- Oda sıcaklığında ve fırında kurutma yapılır (Şekil 29).



Şekil 29: Elyaf/İplik sarma yöntemi.

Avantajları;

- Sarım hızlıdır.
- Ekonomik yöntemdir.
- Reçine oranı kontrol edilebilir.
- Maliyet azaltılmıştır.
- Değişik kuvvetler yapı tarafından karşılanır.

Dezavantajları;

- Uygulama alanı dardır.
- Büyük parçalar için kullanılacak mandrel pahalıdır.

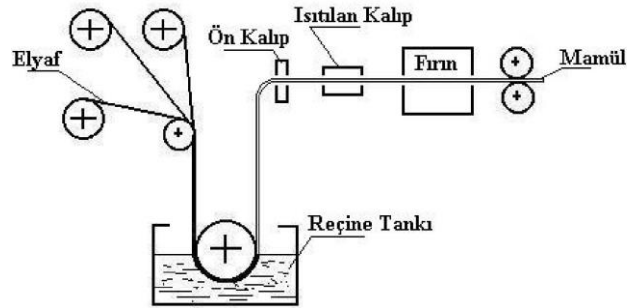
- Dış yüzeyinin düzgün olması için pişme sonrası işlem gerektirir.
- Düşük viskoziteye sahip reçine kullanımı sağlık sorunları ve mekanik özelliklerde düşüğe neden olur (URL-2, 2016).

### 3.3.1.4 Çekme (Pultrusion)

Sürekli takviye elyaf reçine banyosunda işlem görüp 120-150°C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleştirilir. Takviye elemanının sürekli elyaf olması nedeniyle takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir (Arıcasoy, 2006).

İşlem akışı;

- Elyaf demetinin reçine tankından geçirilmesi,
- Ön kalıptan geçirilmesi (Böylece içindeki hava ve fazla reçine uzaklaştırılır.)
- Isıtılmış kalıptan geçirilip fırına gönderilmesi,
- Son kalıplama ünitesinden geçirilmesi şeklindedir (Şekil 30) (Şahin, 2000).



Şekil 30: Profil çekme yöntemi (URL-1, 2016).

Avantajları;

- Düşük maliyet, hızlı üretim,
- Reçine oranı kontrol edilebilir,
- Ekonomik,
- Performans yüksektir.

Dezavantajları;

- Üretim sınırlı,
- Isıtılmış kalıp kullanımını nedeniyle maliyetinin artması (URL-2, 2016).

### **3.3.1.5 Reçine Transfer Kalıplama (RTM)/ Reçine Enjeksiyonu**

Bu yöntemde dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılır. İki kalıp kullanılması sonucunda iki yüzü düzgün ürün elde edilir.

Takviye edilecek elyaf işlem öncesinde kalıp içerisine boşluğu dolduracak şekilde yerleştirilerek kalıp kapatılır. Elyafın kalıp içerisinde sürüklenmesini engellemek üzere matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak reçine basınç ile kalıba pompalanır. İçerideki havanın dışarı çıkarılarak reçinenin elyafa daha iyi nüfuz etmesi için vakum kullanılabilir (Arıcasoy, 2006).

Kullanılacak malzemeler;

Reçine: Epoksi, polyester. vinil ester ve fenolik reçineler tercih edilir.

Lifler: Dikilmiş kumaş/ elyaflar reçine taşınmasında ve transferinde avantaj sağlarken herhangi bir elyaf da kullanılabilir.

Çekirdek: Bal peteği formundaki çekirdekler boşluklu yapıları nedeniyle uygulanan basıncın çekirdek yapısını bozduğundan kullanıma uygun değildir.

Bu yöntemde dikkat edilecek önemli noktalar;

- Reçine viskozitesi elyafları ıslatıp elyaf aralarına girecek kadar düşük olmalı,
- Reçine yüksek sıcaklıkta hızla sertleşmeli,
- Kalıptan kolay çıkarılabilmeli,
- Takviye malzemedeki organik bağlayıcılar reçinede çözünmemeli (URL-2, 2016).

Yöntemin avantajları;

- Elde edilen ürünün iki yüzü de düzgündür,
- Elde edilen ürün sabit şekil ve ağırlıktadır,
- İşçilik maliyeti azdır,
- Daha temiz çalışma ve az fire verme olanağı,
- Kapalı kalıp olması nedeniyle stiren bulaşması azdır.
- Kaliteli ürün eldesi,
- Takviye elemanları ve diğer parçaların tek işlemde eklenebilmesi
- Sertleşmenin ortam sıcaklığından fazla etkilenmemesidir.

Dezavantajı ise;

- İlk maliyetinin yüksek olması,
- Kalıp sayısının 1'den fazla hazırlanmasıdır (URL-3, 2016).

### **3.3.1.6 Elle Tabakalama/ El Yatırma (Hand Lay Up)**

Elyaf/ reçine oranı %30 olan kompozit malzeme üretimi yapılabildiği gibi daha fazla elyaf hacim oranı için polimer reçine ile doyurulmuş sürekli elyaftan oluşan ve kısmen kurutulmuş kompozitler olan prepregler kullanılır.

Üretim aşamaları;

- Kullanılacak kalıp silinip vaks sürülür. Kalıp ayırıcı görevi üstlenir.
- Süngerle PVA sürülerek reçinelerin kalıp yüzeyine yapışmasını önlemek amaçlanır.
- Fırçayla viskozitesi düşük jelkot sürülür.
- Takviye edilecek elyaf hazırlanır.
- Hazırlanan reçineye tutuşmayı engellemek, hafiflik elde etmek, görünümü güzelleştirmek gibi sebeplerle dolgu maddeleri katılır.
- Jelkot üzerine fırça ile reçine sürülür, elyaf yerleştirildikten sonra fırça ile kumaşa reçine emdirilir.

- Rulo ile hava kabarcıkları alınır.
- İşlem istenilen kalınlığa ulaşılan dek devam eder (URL-1 2016).

Bu teknikte kullanılan reçineler genellikle polyester, epoksi, vinil ester ve fenolik reçinelerdir (Arıcasoy, 2006).

Avantajları;

- İşlem basittir.
- Maliyeti düşüktür.
- Malzeme temini kolaydır.
- Spreyleme'ye kıyasla daha fazla fiber yoğunluk ve sürekli lif kullanımı,

Dezavantajları;

- Yöntem uygulamayı yapan kişinin el becerisine bağlıdır.
- Fiber hacimsel yoğunluğun yüksek olması zordur.
- Reçine oranı az ise hava boşlukları ve ıslanmayan bölge fazladır.
- İnsan sağlığı açısından zararlıdır.
- Havaya karışan stiren konsantrasyonunun yasal sınırlarda tutulması zordur (URL-2, 2016).

### **3.3.1.7 Otoklav Yöntemi**

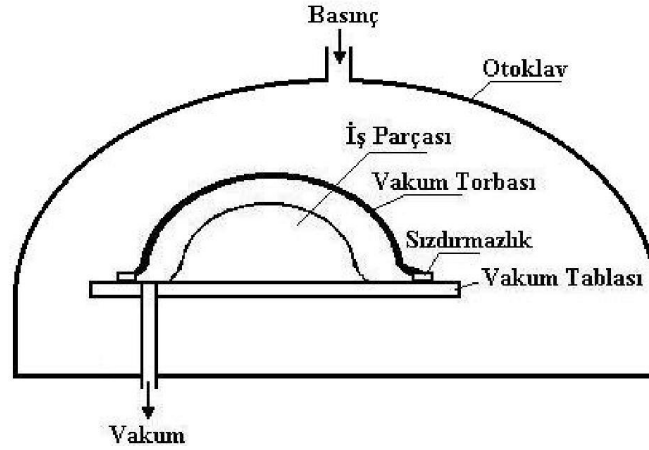
Termoset kompozit malzemelerin;

- Performansını arttırmak ve bunun için elyaf/ reçine oranını arttırmak,
- Malzeme içerisinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen yok etmek,

amacıyla sızdırmaz torba ile elyaf/reçine yatırmasına uygulanan basınca ek olarak dışarıdan sıkıştırılmış gazın yani dışsal basıncın malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesi şeklinde uygulanan yöntemdir (Şekil 31) (Arıcasoy, 2006).

Basınç azot gazı ile sağlanır (URL-1, 2016).

Vakum bagging'de yer alan fırın yerine otoklav bulunur (Arıcasoy, 2006).



Şekil 31: Otoklav yöntemi üretim şeması (URL-1, 2016).

Avantajları;

- Yüksek dayanım/ ağırlık oranı
- Yüksek lif hacimsel yoğunluğu,
- Basıncılı pişme ve boşluklu ürünün düşük olması,
- Büyük bir parçayı ya da küçük birçok parçayı aynı anda üretebilme,
- Basınç ve sıcaklığın iyi kontrol edilebilmesi

Dezavantajları;

- İlk yatırım maliyeti yüksek,
- Yüksek ısı ve basınç değerlerine ihtiyaç

### 3.3.2 Termoplastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

#### 3.3.2.1 Enjeksiyon Kalıplama

Plastik matrisli kompozit malzemeler takviye malzemesi içeren in-stu granüllerle besleme ünitesinden yapılan direkt ilave ile veya matris malzemesi olan plastik granüllerin ve

takviye malzemesi olarak kullanılacak elyaf malzemenin ayrı olarak besleme ünitesine eklenmesi ile üretilirler. Kovan içersine matris, takviye, bağlayıcı ve diğer katkı maddeleri eklenir. Ardından kovan içindeki matris malzeme dışındaki ısıtıcı bant veya rezistanslar ile ergir. Homojen karışım sağlamak için kovan içindeki enjeksiyon vidası dönmektedir. Homojen karışmış ve ergimiş matris malzeme basınçla kalıplardaki boşluklara basılır. Kalıbı alınan plastik kompozit soğutulduktan sonra kalıp açılarak iticiler yardımıyla alınır.

Avantajları:

- Çok büyük hacimli,
- Boyut hassasiyeti yüksek,
- Yüksek karmaşık yapıya sahip kompozitler üretilebilir (Turaçlı, 1999).

### **3.3.2.2 Şişirme (Blow Molding)**

Üretimde ilk olarak elde edilen yuvarlak kalıptan bir boruya basınçlı hava üflenir. Kalıp sayısı artırılarak işlem sürekli hale getirilir. Şişirme işleminin her tekrarında erimiş plastik malzeme şişirme ucuna iletilir. Soğumanın hızlı olması için şişirme havası yerine sıvı CO<sub>2</sub>, soğuk hava veya yüksek basınçlı nemli hava üflenebilir. Fakat soğuma hızını arttırdığı gibi mekanik özellikleri ve boyutsal stabiliteyi kötüleştirir.

### **3.3.2.3 Termal Şekillendirme (Thermoforming-Vakum)**

Termoplastik levhaların şekillendirilmesinde yumuşama noktasına kadar ısıtılan fakat eritilmeyen levhaya vakum ile istenilen şeklin verilmesi yöntemidir.

Kalıp boşluğundaki hava emilerek vakum elde edilir. Atmosfer basıncı ile ısıtılmış levha kalıbın şeklini alır. Vakum sertleşme meydana gelene kadar uygulanır. Biçimlendirmeden sonra kompozit kalıptan alınır.

### **3.3.2.4 Presli Kalıplama**

Ekstrüderden çekilen termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken takviye edilen elyaflarla oluşturulan katman üzerine diğer termoplastik levhanın da yumuşakken

yerleştirilmesi ve soğuk halde silindirler arasından geçirilmesi ile kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilir (Arıcasoy, 2006).

### 3.3.2.5 Ekstrüzyon Üretim Yöntemi

Kovanlara konulan malzemenin bir ıstampa (ekstrüzyonda metal bloğu ittirmek için kullanılan parça) ile basınç altında matris malzeme içerisinden geçirerek şekillendirme yöntemidir (URL-3, 2016).

Sürekli proses olup işlemden kullanılan üretim yöntemine özgüdür. Kalıp türü genellikle açık olup genel olarak kullanılan kalıp maliyeti yüksektir. Çoğunlukla termoplastik malzemelerin işlenmesinde tercih edilen yöntemdir. Termoplastik polimer molekülleri yumuşak ve eski haline gelme eğiliminde olup kalıptan çıkarıldıklarında moleküller kısmen yönlenmiş olur. Kalıp duvarlarının sınırlaması ortadan kaldırıldığında moleküller tekrar kıvrımlı yapıya dönme eğiliminde olup bunu önlemek için,

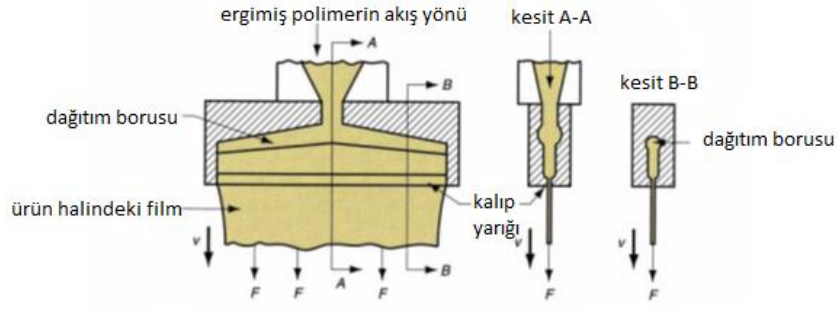
- Ekstrüzyon verimi azaltılabilir,
- Ergime sıcaklığı arttırılabilir.
- Kalıp paralelinin uzunluğu arttırılabilir.
- Çekme hızı arttırılabilir.

Bu üretim yöntemi ile termoplastiklerin üretiminde kullanılan yöntemler;

- Yarık kalıplı ekstrüzyon (slit-die),
- Üfleli film ekstrüzyonu,
- Haddeme (kalenderleme)

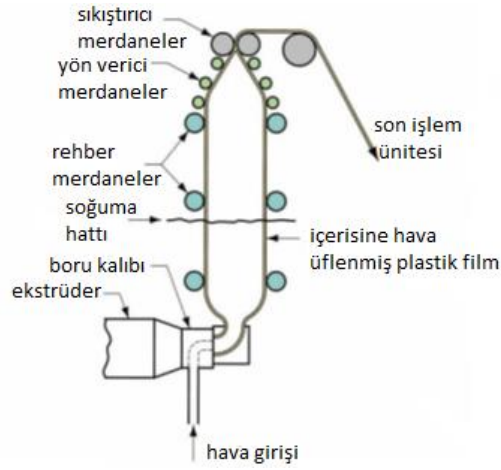
Şekil 32' de görüldüğü gibi yarık kalıplı ekstrüzyon yönteminde levha ya da filmler ince bir yarık içeren kalıp yardımıyla üretilir (Groover, 2002).





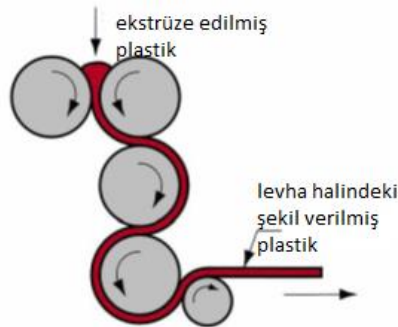
Şekil 32: Yarık kalıplı ekstrüzyon yönteminde kalıp ve malzeme akışı (Groover, 2002).

Şekil 33’de görüldüğü gibi üflelemeli film ekstrüzyonu yönteminde boru ekstrüzyonu ardından malzeme katılaşmadan hava üflenerek kalıp içerisinden geçirilir.



Şekil 33: Üflelemeli film ekstrüzyonu üretim yöntemi (Groover, 2002).

Şekil 34’de görüldüğü gibi kalenderleme üretim yönteminde ekstrüze edilmiş malzeme belirli sıcaklık altında merdanelerin arasından geçirilerek istenilen kalınlık ayarlanır. Üretim hızı yüksek fazla maliyeti fazladır. Elde edilen kompozitte yüzey hassasiyeti ve boyut kararlılığı sağlanır.



Şekil 34: Kalenderleme üretim yöntemi (Groover, 2002).

## BÖLÜM 4

### LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan çalışmada yapı malzemesi olarak ahşap kullanımının giderek artması bu nedenle doğal kaynakların azalması sorunundan yola çıkılmış ve bu nedenle alternatif materyallerin geliştirilmesi ele alınmıştır. Çeşitli sentetik materyallerin kullanımı ile polimer kompozitler araştırılmış ve düşük maliyetli inşaat malzemeleri üretebilmek adına doğal liflerin kullanımının arttığı belirtilmiştir. Şimdiye kadar doğal liflerin kullanımı geleneksel amaçlı olup teknik kullanımdan fazladır. Son yıllarda polimer matris içerisinde doğal elyaf takviyesi malzeme teknolojisi uygulamalarında yerini almaya başlamıştır. Bilim adamları ve mühendisler tarafından konut ve diğer ihtiyaçlar için iyi kalitede lif takviyeli polimer kompozitlerin mümkün olduğunca etkin ve ekonomik olarak üretilmesi konusunda uygun teknolojiler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek darbe dayanımı, orta çekme ve esneme özellikleri ile sisal lifi diğer lignoselülozik liflerle kıyaslandığında daha fazla ilgilenilebilir. Düşük yoğunluk ve yüksek spesifik özellikleri nedeniyle taşımacılık ve otomotiv sektöründe sisal lifi temelli polimer kompozitler kullanılabilir. Aşınma ve sonraki indirgemeleri azaltıcı etkisi ile maliyet bakımından bu kompozitlere ilgi artmıştır. Plastik sanayisinde hammadde kaynağı olarak sisal liflerinin kullanımı yenilenebilir bir kaynak sağlar (Joseph vd., 1999).

Kalsiyum hidroksitin doymuş çözeltisinde ham sisalin emdirilmesi, dikkate değer bir miktarda kalsiyum karbonat ve kalsiyum oksit ile kaplanması şeklinde uygulanarak lif elde edilmiştir. Bununla birlikte inorganik kaplamanın bazı ayrımları mikroskobik seviyede gözlenmiş ve çökelen malzeme tarafından doldurulan dış duvarlarda boşluklar ham liften daha görünürdür. Bazı lif bileşenleri ön sodyum silikat yıkaması ayrılmıştır. Nihai kompozit ham liften daha amorf karakteristikleri arz eder hem de mekanik davranışları daha homojen mekanik özellikler ile elastomerik malzemeye orijinal ham liften daha benzerdir (Dante vd., 2014).

Kompozitlerin mekanik özellikleri lif/matris ara yüzeyinin kalitesinden kuvvetli olarak etkilenmiştir. Bu çalışmanın amacı iki farklı makromoleküler bağlama maddeleri ile sisal lifinin değişiminin işlevi olarak polilaktik (PLA) kompozitlerin mekanik özelliklerinin

değerlendirilmesidir. Sisal lif takviyeli polilaktik kompozitler enjeksiyon kalıplama ile hazırlanmış ve kompozitlerin özellikleri statik/ dinamik mekanik analizlerle incelenmiştir. Mekanik test sonuçlarına göre yüzeyi işlenmiş sisal lif takviyeli kompozitlerin işlenmemiş lif takviyeli polilaktik kompozitlere göre üstün mekanik özellikleri kıyaslandığında sisal lif ve PLA matris arasında daha iyi bağlanma gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) verileri yüzey değişimi geliştirilmiş sisal/polilaktik matris yapışmasını göstermiştir. Yapılan çalışmada kompozitlerin gerilme mukavemetinde biraz artış olduğu, darbe dayanımında azalma olduğu görülmüştür (Li vd., 2011).

Farklı yükleme koşulları altında lif içeriğinin bir işlevi olarak biyobozunur lif takviyeli kompozitlerin kırılma davranışları incelenmiştir. %5-20 arasında değişen farklı lif içeriği ile kompozitler ticari nişasta bazlı polimer ve kısa sisal lif kullanılarak hazırlanmıştır. Statik kırılma çalışmalarının yanı sıra ağırlık darbe testleri kompozitlerde ve düz matrislerde yapılmıştır. Sonuçlar statik yük altında çatlak başlama direncinin önemli artış olduğunu gösterir. Bu sisal liflerinin matrise katılmasına ve elyafların varlığıyla mekanizma kaynaklı başarısızlıkların geliştirilmesine neden olmuştur. Diğer taraftan lif yüklemesi ile çatlak başlamaya direncin mütevazı artış eğilimi saptanmıştır. Geliştirilmiş kırılma davranışı, darbe yükleme kalınlık yönüne paralel olduğunda gözlenmiştir. Deney koşulları altında kompozitler başlangıcında enerji, süneklik indeksinin ve toplam kırılma enerjisinin düz matristen daha yüksek değerler sergilemiştir. Ayrıca lif içeriği ile bu parametrelerin artan eğilimi biyokompozitlerde tespit edilmiştir. Biyobozunur matrislere sisal liflerinin eklenmesi ile yarı durgun ve darbe yükleme koşullarının her ikisi altında geliştirilmiş kırılma davranışının verimli bir ortalama olduğu görülmektedir (Alvarez vd., 2005) (Alvarez, Vazquez ve Bernal, 2006).

Yapılan çalışmada, mantar-polimer kompozit (CPC) materyalleri güçlendirmek amacıyla polietilen graft maleik anhidrit olan ve olmayan kısa sisal liflerin kullanımı araştırılmıştır. Lif-matris yapışmasını geliştirmek için sisale alkali işlemin uygulanması değerlendirilmiştir. Matris olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılmış ve kompozit sıkıştırılarak kalıplama yöntemi ile ikiz vidalı ekstruder kullanılarak iki aşamalı olarak üretilmiştir. Sisal liflerindeki değişim FTIR, TGA ve XRD kullanılarak tespit edilmiştir. İşlem öncesinde liflerin morfolojisi, yoğunluk, çap ve gerilme özellikleri incelenmiştir. Mantar tozu içeren ve rastgele dağılmış olarak sisal lifleri kullanılarak üretilen kompozitler morfolojik ve mekanik özellikleri açısından incelenmiştir. Maleik

anhidrit de bulunan %2 birleştirme ajanı varlığında %10 sisal lifinin kullanımı ile kompozitlerin gerilme ve kıvrılma özelliklerinin geliştirildiği görülmüştür. Sisal liflerine uygulanan alkali işlemi ile yüksek mekanik özelliklerin geliştirildiğine ulaşılmıştır. Mekanik sonuçlar doğrultusunda kompozit morfolojisinde birleştirme ajanı varlığında doğal bileşenler ve polietilen matris arasında iyi ara yüzey yapışmasının gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır (Fernandes vd.,2013) (Fernandes, Mano ve Reis, 2013).

Bu çalışmada sisal liflerinin yüzeyi NaOH veya N-izopropil-akrilamid çözeltilisi ile işleme sokulmuştur. Lignin içeriği ve liflerin yoğunluğu kimyasal işlemler ile azaltılmış ve N-izopropil-akrilamid işlemi ile nem emiciliği önemli miktarda azaltılmıştır. Değişik derişimlerde NaOH ve N-izopropil-akrilamid ile işlem görmüş liflerin gerilme testleri gerçekleştirilmif ve %2'lik çözeltili ile işlem görmüş sisal liflerinin takviye etkisi gözlenmiştir. TGA ölçümlerine göre NaOH ile işlem görmüş liflerde ısıl direncin daha iyi olduğuna ulaşılmıştır. Sisalin SEM mikroskobik resmi ve kristalinlik indeksi farklı işlemlerle lif yüzeyinin nasıl değiştiğini belirtmektedir. PES reçine çekme testleri sonucuna göre %2 N-propil-akrilamid ile işlem en iyi neticeler vermiştir (Sydenstricker vd., 2002) (Sydenstricker, Mochnaz ve Amico, 2003).

Bu makale sisal ve muz lifi gibi doğal lif takviyeli polimerler hakkında olup materyal grubu ile ilgili mümkün uygulamalar hakkında bilgi vermektedir. Sisal ve muz lifi gibi doğal fil takviyeli polimer kompozitlerin kimyasal ve mekanik özellikleri hakkında bilgi verir. Selüloz açısından zengin ve ucuz aynı zamandan polimer takviye potansiyeli ile liflerin yenilenebilir kaynak olması açısından kolaydır. Cam liflerine göre maliyeti düşük, hafif ve çevre açısından üstün alternatiflere sahiptir. Doğal liflerin polimer kompozitlerde iyi etkilere sahip olması, yüksek belirgin özellikler ve düşük yoğunluklara sahip olması nedeniyle sektörde kullanım alanı bulmuştur. Aşınmaların az olması ve bunu izleyen takım değiştiriminin azaltılması önemli etkilerdir. Polimer endüstrisinde hammadde olarak kullanımı nedeniyle yenilenebilir özelliği yanında kırsal bölgeler için ekonomik gelişim kaynağı olmuştur (Naik vd., 2015) (Naik, Gopalakrishna ve Yogesha, 2015).

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 5.1 Materyal

##### 5.1.1 Sisal

Kaba ve mukavemetli bir lif olan sisal lifi araba, mobilya, inşaat, plastik, kağıt üretimi, vs alanlarda kompozit malzemesi olarak artan kullanıma sahiptir.

Meksikada yetişen bir bitki olan *Agave Sisalana*'dan elde edilir. Sıcak iklimde ve diğer ürünler için uygun olmayan kurak iklimlerde yetişebilen dayanıklı bitkilerdir. Çok nemli ve tuzlu topraklarda yetişmesi düşüktür. Yaprakları % 90 nem içermesine rağmen oldukça sert ve etli hamuru oldukça sağlamdır. Sisal lifleri yaprak yüzeyine oldukça yakın olup uzunlamasına yerleşmişlerdir. Doğu Afrika'da hektar başına 4 ton verime ulaşılmasına rağmen genelde 1 ton kurutulmuş lif verimine sahiptir. Düşük yoğunluğa ve iyi kaynak olma özelliklerine sahip olduklarından kompozit üretiminde geniş bir kullanıma sahiptir (URL-3, 2016).

Sisal lifleri *Agave Sisalana* bitki yapraklarından elde edilen ve yapısal olarak hemiselüloz, lignin ve pektinden oluşan liflerdir. Mukavemetli lifler olmalarına karşın alkali dayanımları çok iyi değildir (Shah, 1995).

Selüloz makromolekülleri hidrojen köprüleri ile birbirlerine bağlanmakta olup –OH grupları hidrofillik kazandırır. Hemiselüloz hidroksil ve asetil grupları içermeleri ile suda çözünebilir yapıya sahiptir. Lifin Nem absorblama, ısı ile bozunma ve biyolojik olarak parçalanması özelliklerini belirler. Lignin amorf yapıya sahip olup en az nem absorpsiyonuna sahiptir. Pektin ise lif hücrelerini birbirine bağlar ve lif hücrelerini dışta buluna kabuk tabakasına bağlar. Sisal lifindeki oranlarına bakılacak olursa selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektin için Tablo 5'de belirtilmiştir (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Tablo 5: Sisal lifinin yapısal içeriği (Bulut ve Erdoğan, 2011).

	Selüloz(%)	Lignin(%)	Hemiselüloz(%)	Pektin(%)
Sisal	67-78	8-11	10.0-14.2	10.0

Yapılan çalışmada sisal lifinden elde edilen iplikten dokuma formunda üretilmiş kumaş kullanılmış olup kullanılan sisal kumaşa ait bilgiler Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6: Sisal kumaşa ait bilgiler.

Kumaş örgüsü	Bezayağı (1/1)
Kumaş boyutu	20×20 cm
Atkı sıklığı	8 tel/cm
Çözü sıklığı	8 tel/cm
Gramaj (m <sup>2</sup> ağırlığı)	59 g/m <sup>2</sup>

Belirtilen değerlere göre üretilmiş olan kumaş 3 kat olarak kompozit üretiminde kullanılmıştır. Kullanılan sisal kumaş kompozit üretimi öncesinde işlem görmüştür. Lakkaz enzimi, pektinaz enzimi, selüloz enzimi, 5 g/l'lik NaOH, 10 g/l'lik NaOH ve %80'lik asetik asit ile muamele edilmek ve değerlendirmelerde referans almak üzere toplamda 7 numune çalışma kapsamına alınmıştır. İşlemler enzimler ile Roaches Model-MB HT boyama makinesinde, NaOH ve Asetik asit için açık ortamda kumaş yatırılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 35: Pektinaz, Selüloz ve Lakkaz Enzimi



Şekil 36: 5g/l ve 10 g/l'lik NaOH.



Şekil 37: HT boyama makinesi.



Şekil 38: İşlem görmemiş sisal kumaş.

#### 5.1.1.1 Kompozit Üretiminden Önce Sisal Lifine Uygulanan Ön İşlemler

Lakkaz enzimi tekstil, kağıt ve gıda endüstrisinde kullanım alanına sahip olup tekstilde boyarmadde giderimi, ağartma işlemi ve toksiklerin uzaklaştırılmasında tercih edilir (Temoçin, 2006).



Şekil 39: Lakkaz Enzimi ile ön işlem görmüş kumaş.

Pektinaz enzimi polisakkarit yapıya sahip olan primer çeperde bulunan ve kuvvetli biyolojik tutkal olan pektin malzemelerine etki eder. Selülozik lif içerisindeki yağ, vaks, pektin, vs. maddelerin kaynatılarak uzaklaştırılmasında tercih edilir (Sarıışık, 2001).

Bitkisel liflerin ön terbiyesinde pektin, hemiselüloz, mum gibi selülozik olmayan maddelerin uzaklaştırılması için enzimler kaynatma işlemini katalizler (Temoçin, 2006).



Şekil 40: Pektinaz Enzimi ile işlem görmüş kumaş.

Selülaz enzimi selülozu hidroliz eden enzimdir. Genellikle tekstil terbiye endüstrisinde kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisinde bio-parlatma ve taş yıkama işlemlerinde kullanım alanı bulmuştur. Evlerde kullanılan deterjanlarda lif yüzey temizleme ve renk parlaklığını arttırmak amaçlı olarak kullanılır (Dervent, 2003).

Selülaz enzimleri tüy, boncuk, lif uçlarının uzaklaştırılması, tutum geliştirme, yüzey yumuşatma, yüzeyin temizlenmesini sağlamasından parlaklık, esnekliğin iyileştirilmesi, taş yıkama efektinin sağlanması, moda uygun görünümün sağlanması gibi etkilere neden olur (Hemmpel, 1991).





Şekil 41: Selüloz Enzimi ile ön işlem.

NaOH ile ön işlem sonucu lif yapısında bulunan lignin polimeri uzaklaştırılır. Ayrıca yine lif yapısında bulunan hemiselüloz, pektin ve yabancı maddeler uzaklaştırılmış olur. Bu uzaklaştırma lakkaz enzimi ile yapılan uzaklaştırmaya nazaran daha fazladır. Diğer bir kazanımı ise lif-matris ara yüzünün daha iyileşmesi ve çekme mukavemeti, çekme modülünü arttırmasıdır (Karaduman ve Önal, 2014).

Lif yapısında bulunan hidroksil gruplar liflerin matris polimerine bağlanmasına engel olup ara yüzeyi zayıflatarak mekanik özellikleri olumsuz etkilediğinden alkali işlem ile buna neden olan gruplar uzaklaştırılır, etkileşime girecek açık selüloz uçları meydana gelir. Lif yüzeyi pürüzlenir ve mekaniksel bağlanma sağlanır. Polimerizasyon derecesi düşer (Bulut ve Erdoğan, 2011).



(a)



(b)

Şekil 42: (a) 10 g/l ve (b) 5 g/l NaOH ile işlem görmüş kumaş.

Tablo 7: Sisal kumaşa uygulanan ön işlemler ve koşulları(AB Enzymes, 2003, Rev. Nr. 1, AB Enzymes, 2003, Rev. Nr. 2, Novozymes, 2007, Mıstık, Koçak, Merdan, 2016).

	Enzim dozajı	Banyo oranı	Sıcaklık (°C)	Süre (min)
Lakkaz	% 1.25	1:10	60	20
Pektinaz	% 0.5	7.5 l/kg	45	30
Selülaz	% 0.1	1:10	60	55
1.NaOH	5 g/l	1 litre	23	30
2.NaOH	10 g/l	1 litre	23	30
%80'lik Asetik Asit	%100	1 litre	30	40

Kompozit üretimi öncesinde yapılan yüzey işlemler sonucunda kumaş gramajları ile işlem görmeden önceki kumaş gramajlarına ait veriler Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8: İşlem öncesi ve işlem sonrası sisal kumaşlar için gramaj ve ağırlık kayıpları.

Numune	İşlem öncesi kumaş ağırlığı (g)	İşlem sonrası kumaş ağırlığı (g)	Ağırlık kaybı (%)
1 İşlem görmemiş	7.5	7.5	0
2 Lakkaz enzimi ile işlem görmüş	7.5	7.48	0,26
3 %80lik asetik asit ile işlem görmüş	7.5	7.25	3,33
4 Pektinaz enzimi ile işlem görmüş	7.5	6.99	6,8
5 Selülaz enzimi işlem görmüş	7.5	6.81	9,2
6 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	7.5	6.99	6,8
7 5 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	7.5	7.16	4,53

Selülaz enzimi ile işlem gören sisal kumaşta ağırlık kaybı diğer yüzey işlemleri uygulanan sisal kumaşlara göre daha fazladır.

## 5.1.2 Polipropilen

Daha önceki bölümlerde kısaca değinilmiş olup kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan sisal lifi ile matris malzeme olarak polipropilen cips kullanımı tercih edilmiştir.

Polipropilen termoplastik bir polimer olup;

- Fiyatının düşük olması,
- Yorulma ve darbe dayanımının iyi olması,
- Kimyasal direncinin iyi olması,

gibi sebeplerle özel uygulamalar dışında öncelikli olarak kullanımı tercih edilir (Baydar vd., 2012).

Genel amaçlı olarak polipropilen lifine ait bazı özellikler Tablo 9’de belirtilmiştir.

Tablo 9: Polipropilen’e ait bilgiler(Smith, William).

	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (J/m <sup>2</sup> )	Erime Sıcaklığı (C°)	Maksimum İşlem Sıcaklığı (C°)
Genel Amaçlı Polipropilen	0.90-0.91	33-38	21.35- 117.4	160-190	110

## 5.2 Yöntem

### 5.2.1 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemi

Sisal lifi takviyeli polipropilen matrisli kompozit üretiminde termoplastik üretim yöntemlerinden sıcak pres yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan basınç 100 bar ve uygulama ısısı üst ve alt tabla için 200°C’dir.



(a)



(b)

Şekil 43: (a) Pres cihazı ve (b) Presin uygulanması.

Bu yöntemde materyalin yerleştirildiği alt ve üst olmak üzere 30×30 cm boyutlarına sahip iki plaka kullanılmıştır. Plakaların kalınlığı 4 mm ölçüsündedir.



Şekil 44: Pres cihazında kullanılan alt plaka.

Şekilde 44'de gösterilen plaka üzerine yerleştirilen termoplastik malzemeyi plakadan ayırmak için tek başına kullanılan, krem kıvamında yüksek performanslı bir vaks olan Polivaks SV-6 kullanılmıştır (URL-4, 2016). Vaks sürülmesi kalıbın her yerine homojen bir şekilde uygulandıktan sonra polipropilen cips- sisal kumaş- polipropilen cips sırayla yerleştirilmektedir (Şekil 45).



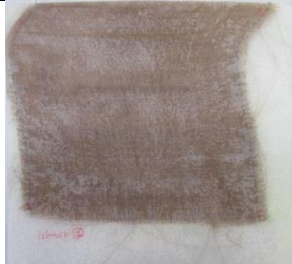







Şekil 45: PP-Sisal kumaş-PP katmanı.

İşlem görmemiş ve yüzey işlemine tabi tutulmuş sisal kumaşlara uygulanan polipropilen miktarları Tablo 10’da ve kompozit üretim sonrası materyaldeki lif oranı Tablo 12’de belirtilmiştir.

Tablo 10: Kullanılan PP miktarı, sisal kumaş ağırlığı.

Numune	PP cips miktarı (g)	Sisal kumaş ağırlığı (g)
1 İşlem görmemiş	145	7
2 Lakkaz enzimi ile işlem görmüş	145	7
3 %80lik asetik asit ile işlem görmüş	145	7
4 Pektinaz enzimi ile işlem görmüş	145	7
5 Selülaz enzimi işlem görmüş	145	7
6 10 g/l’lik NaOH ile işlem görmüş	145	7
7 5 g/l’lik NaOH ile işlem görmüş	145	7

Tablo 11: Sıcak Pres yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler.

İşlem görmemiş		Selülaz Enzimi ile İşlem Görmüş	
Lakkaz Enzimi ile İşlem Görmüş		10 g/l NaOH ile İşlem Görmüş	
%80 Asetik Asit ile İşlem Görmüş		5 g/l NaOH ile İşlem Görmüş	
Pektinaz Enzimi ile İşlem Görmüş		PP Cipsin Sıcak Pres İşlem Görmüş Hali	

Tablo 12: Lif oranlarının belirtilmesi.

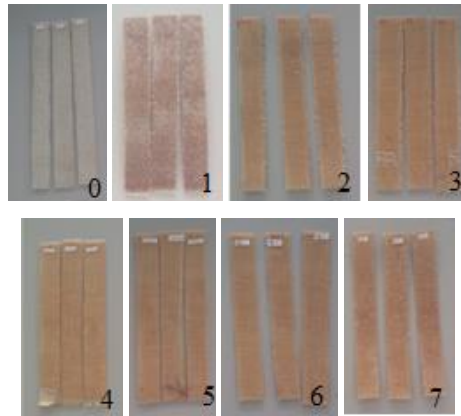
Numune	Sisal kumaş ağırlığı (g)	Kompozit ağırlığı (g)	Lif oranı (%)
1	7	67.40	10.38
2	7	68.88	10.16
3	7	67.30	10.40
4	7	61.50	11.38
5	7	66.08	10.59
6	7	63.91	10.95
7	7	65.75	10.65

## 5.2.2 Kompozit Malzeme Test Yöntemleri

### 5.2.2.1 Çekme Dayanımı Testi

Polipropilen cipsin dokunmuş sisal kumaşa sıcak pres ile uygulanması şeklinde üretilen plastik matrisli kompozit malzemelere ASTM D3039/D3039M-07 standartlarına göre test işlemleri yapılmıştır. Test işleminde Zwick/Z010 marka test cihazı (Şekil 47) kullanılmıştır.

Test işleminde numune boyutu belirtilen standarta göre RT-SB250 U Einhell marka kesme cihazı kullanılarak eni 2.5 cm boyu 20 cm olacak şekilde kesilmiş ve oluşabilecek mukavemet kayıpları kenarları zımparalanarak önlenmek istenilen 3'er adet numune kullanılmıştır (Şekil 46).

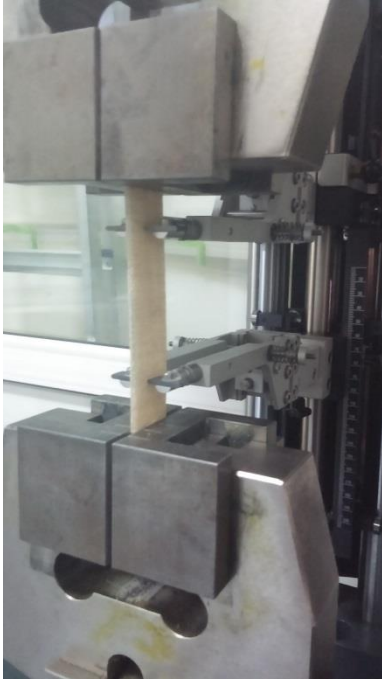


Şekil 46: Çekme dayanımı test numuneleri(0,1,2,3,4,5,6,7).

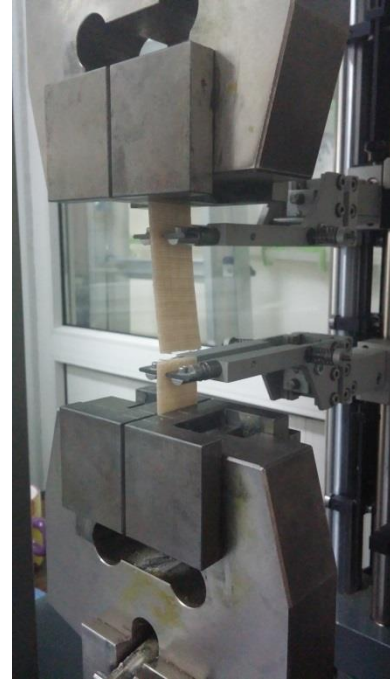




Şekil 47: Zwick/Z10 test cihazı.



(a)



(b)

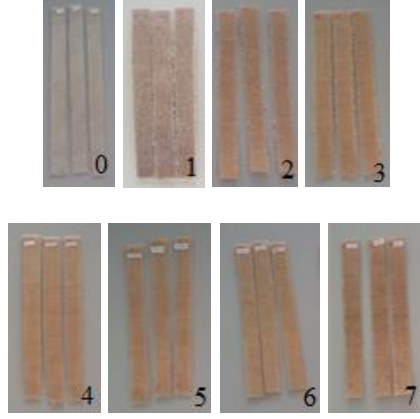
Şekil 48: (a) Çenelere numunenin yerleştirilmesi ve (b) Çekme dayanımı testinin uygulanışı.

### 5.2.2.2 Eğilme Dayanımı Testi

Kompozit malzemelerin eğilme dayanımının test edilmesi işleminde Zwick/Z10 cihazı kullanılmıştır. Ayrıca test işlemi ISO 178:2001 test standartlarına uygun şekilde



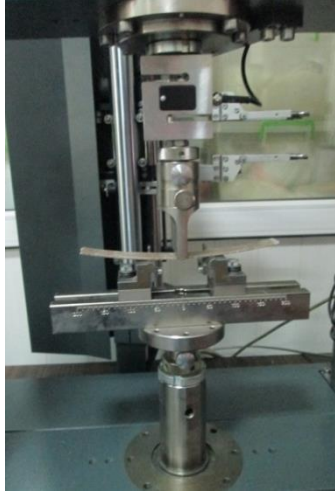
gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı test işleminde kullanılan cihaz çekme dayanımının test edilmesinde kullanılan cihazla aynı olmasına karşın kullanılan çeneler ve uygulanaşı açısından farklılıklar göstermektedir (Şekil 50).



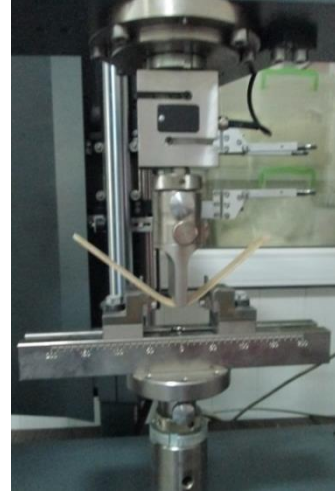
Şekil 49: Eğilme dayanımı test numuneleri(0,1,2,3,4,5,6,7).



Şekil 50: Eğilme dayanımı test cihazı.



(a)

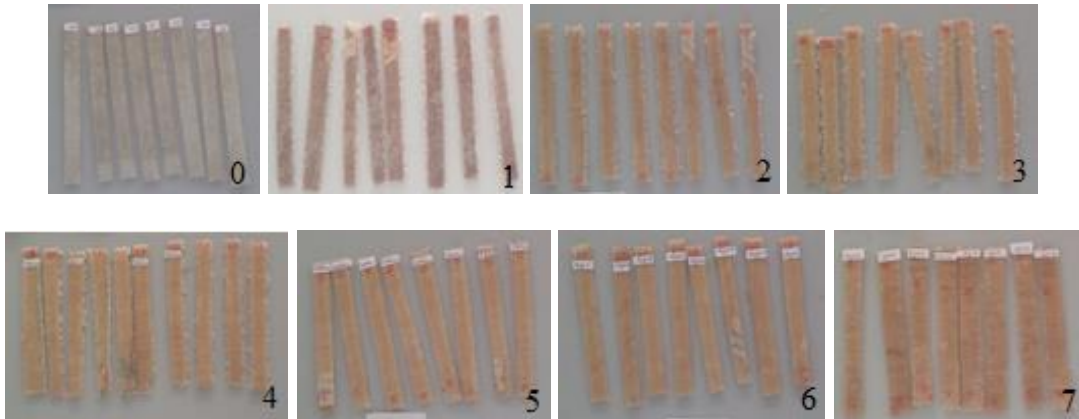


(b)

Şekil 51: (a) Çenelere numunenin yerleştirilmesi ve (a) Eğilme dayanımı test işlemi

### 5.2.2.3 Izod Darbe Dayanımı Testi

TS EN ISO 180 standartlarına göre Zwick Darbe Dayanımı test cihazında gerçekleştirilmiştir. Izod darbe dayanımı testinde yine standartlara uygun olarak numune boyutları en 1 cm boyu 8 cm olacak şekilde kesilmiştir. Çekme ve eğilme dayanımı testinde de olduğu gibi dayanımın azalmasına neden olan çatlak oluşumunu önlemek amacıyla numune kenarları zımparalanmıştır (Şekil 52).



Şekil 52: Izod darbe dayanımı test numuneleri(0,1,2,3,4,5,6,7).

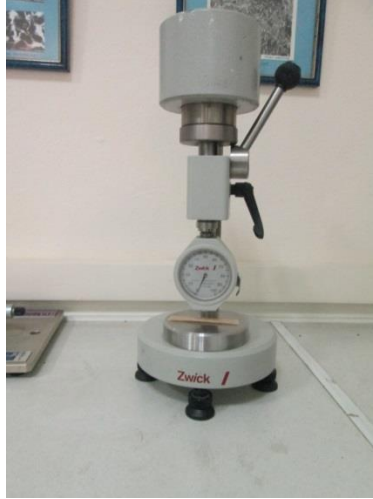
Izod darbe dayanımında diğer bir darbe dayanımı test metodu olan Charpy'e göre numune cihaza dik yerleştirilir ve 5.4 joule'lük çekicinin numuneye çarparak kırılması gerçekleştirilir (Şekil 53).



Şekil 53: Izod darbe dayanımı test cihazı.

#### 5.2.2.4 Sertlik testi

Numunelerin sertlik tayinini gerçekleştirmek üzere Zwick marka sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm yapan noktasında sertliği algılayan sivri bir kısım yer almaktadır. Sivri olan kısmın numuneye teması için cihaz kol ile aşağı hareket ettirilir. Testin uygulanışı şekil 54’da gösterilmiştir.



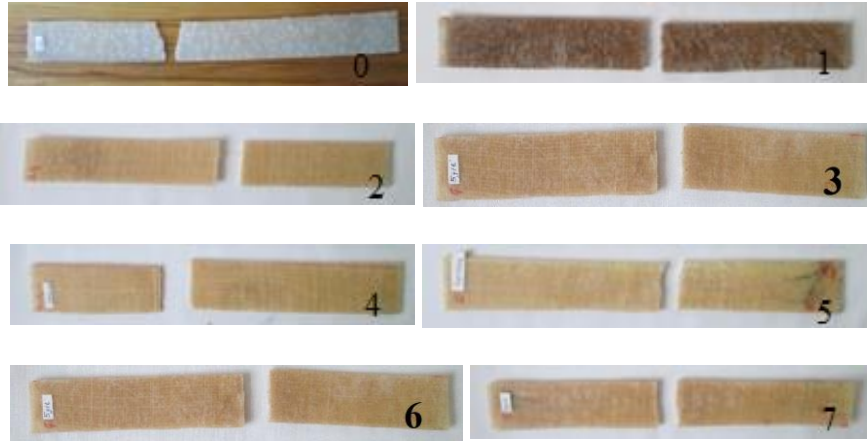
Şekil 54: Sertlik tayini.

## BÖLÜM 6

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 6.1 Çekme Dayanımı Test Sonuçları

Sisal lifi takviyeli kompozit malzemelerin gerilme dayanımı değerleri Tablo 13’de verilmiştir. NaOH ile işlem yapılması selülozik lif yüzeyini daha iyi temizlemekte ve pürüzlendirmektedir. Bundan dolayı sisal lif ve matris malzeme daha iyi bağlanmakta bu da malzemenin çekme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin yükselmesine neden olmaktadır. İstatistiki sonuçlar ile birlikte ele alındığında Tablo 13’de verilen değerlere göre gerilme dayanımı ayırt ediciliği yüksek olan malzeme 10g/l NaOH ile ön işlem görmüş sisal lifinden üretilen kompozit malzemeye aittir.



Şekil 55: Çekme sonucu numunedeki değişim(0,1,2,3,4,5,6,7).

Tablo 13: Numunelerin çekme dayanım değerleri.

Numuneler	Elastikiyet Modülü (GPa)	Gerilme Dayanımı (MPa)
(0) Polipropilen	1.5	23.6 ±1.18
(1) İşlem görmemiş	1.9	24.9±0.95
(2) Lakkaz enzimi ile işlem görmüş	2.6	26.6±1.42
(3) %80lik asetik asit ile işlem görmüş	2.7	26.8±1.82
(4) Pektinaz enzimi ile işlem görmüş	2.6	26.1±0.15

Tablo 13: (devam ediyor)

(5) Selülaz enzimi işlem görmüş	2.5	25.9±1.57
(6) 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	2.8	27.9±0.7
(7) 5 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	2.7	27.1±1.38

## 6.2 Eğilme Dayanımı Test Sonuçları

Tablo 14'de verilen eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, %80 asetik asit ve 10 g/l'lik NaOH ile yüzey işlemine tabi tutulan sisal liflerinden dokunmuş kumaş ile üretilen kompozit malzemelerin en yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Tablo 14: Numunelerin eğilme dayanım değerleri.

Numune	Eğilme Modülü (GPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
(0) Polipropilen	2	34.1±1.73
(1) İşlem görmemiş	3.2	39.2±1.39
(2) Lakkaz enzimi ile işlem görmüş	3.3	48.4±0.57
(3) %80lik asetik asit ile işlem görmüş	3.5	52.2±1.44
(4) Pektinaz enzimi ile işlem görmüş	3.3	47.6±2.36
(5) Selülaz enzimi ile işlem görmüş	3.3	47.5±2.88
(6) 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	3.4	52.6±1.68
(7) 5 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	3.3	48.6±0.76

## 6.3 Izod Darbe Dayanımı Test Sonuçları

Dikey olarak test cihazına yerleştirilen test numunelerine uygulanan darbe dayanımı test sonuçları için Tablo 15 incelendiğinde istatistiki değerler ile ortalamalar birlikte değerlendirildiğinde diğer numunelere göre en yüksek izod darbe dayanıma sahip olan kompozit malzeme 10 g/l NaOH ile yüzey işlemi görmüş sisal liflerinden dokunmuş kumaş ile üretilen kompozit malzeme olduğu görülmektedir.

Tablo 15: Numunelerin İzod darbe dayanım değerleri.

Numuneler	Darbe dayanımı (kJ/m <sup>2</sup> )
(0) Polipropilen	4.8±0.6
(1) İşlem görmemiş	5.9±0.29
(2) Lakkaz enzimi ile işlem görmüş	7.2±0.49
(3) %80lik asetik asit ile işlem görmüş	6.3±1.06
(4) Pektinaz enzimi ile işlem görmüş	7±1.58
(5) Selülaz enzimi ile işlem görmüş	6.2±1.02
(6) 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	8.6±1.28
(7) 5 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	8.1±1.03

#### 6.4 Sertlik Test Sonuçları

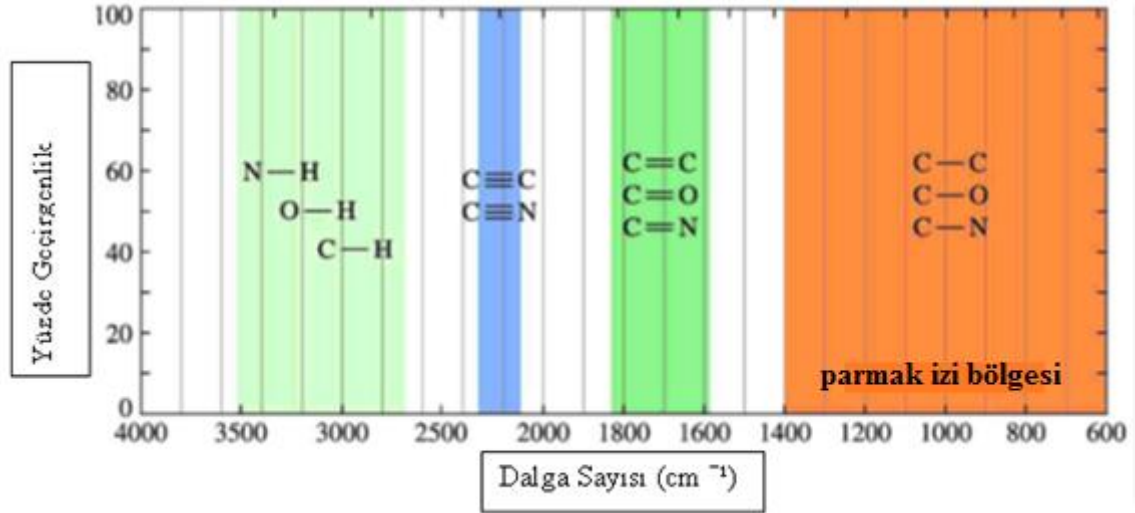
Tablo 16'ya göre sertlik testi uygulanan kompozit malzemeler içerisinde numune ortalama değeri en yüksek sertlik değerine sahip olan numune pektinaz enzimi ile ön işlem görmüş sisal lifinden dokunmuş kumaştan üretilen kompozit malzemedir. Tablo 16 incelendiğinde numuneler arasında çok büyük farklılıklar görülmektedir. Bunun nedeni kompozit malzemelerin ölçülen sertlik değerlerinde kompozitin matris malzemesinin belirleyici olmasıdır.

Tablo 16: Numunelerin sertlik değerleri.

Numune	Sertlik (Shore)
(0) Polipropilen	63.1
(1) İşlem görmemiş	63.2
(2) Lakkaz enzimi ile işlem görmüş	63.7
(3) %80lik asetik asit ile işlem görmüş	65.5
(4) Pektinaz enzimi ile işlem görmüş	65.7
(5) Selülaz enzimi ile işlem görmüş	64.7
(6) 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	64.5
(7) 5 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş	63.6

## 6.5 FTIR Analizleri

FTIR( Fourier Transform Infrared) analizi organik, polimerik ve bazı inorganik materyallerde moleküler parmak izi şeklinde spektrum bilgisi sağlar(URL-5, 2016). Şekil 56'da tekli, çiftli ve üçlü bağların hangi dalga sayısında bulduklarını ve yüzde geçirgenliklerinin ne olduklarını göstermektedir.



Şekil 56: Dalga boylarında yer alan bağlar(Wade, Jr., L.G. *Organic Chemistry*, 5th ed. Pearson Education Inc., 2003).

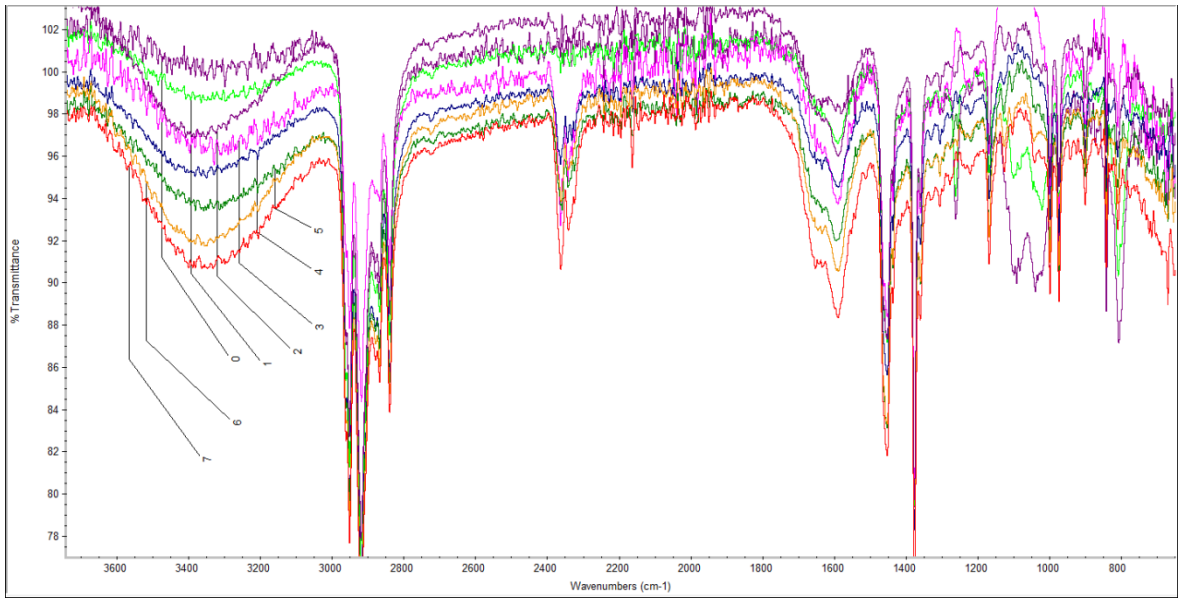
Üretilen sisal dokuma kumaş takviyeli termoplastik esaslı kompozit malzemelerin FTIR analizleri Denge Kimya firmasında Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR Spectrometer cihazı (Şekil 57-58) ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen grafikler Şekil 59'de görüldüğü gibi her numune için ayrı ayrı verilmektedir.



Şekil 57: FT-IR spektrometre ve ekran alıncısı.



Şekil 58: Numunenin yerleştirilmesi.



Şekil 59: Tüm örneklere ait FTIR spektroskopisi.

Şekil 59'a bakıldığında 0-PP cips için FTIR spektroskopisinde 2900-2950  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyuna sahip pikler olduğu görülmektedir ki bu dalga aralığında C-H bağları bulunur. 1500-1000  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki pikler ise parmak izi C-C, C-O, C-N bağları olduğunu gösterir.

İşlem görmemiş sisal (1) için FTIR spektroskopisinde 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki pikler C-H bağlarının varlığını gösterirken, 1500-0 aralığındaki pikler ise parmak izi bölgesindeki C-C, C-O, C-N bağlarını gösterir.



Lakkaz enzimi ile işlem görmüş sisal (2) için FTIR spektroskopisinde 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki pikler C-H bağlarının varlığını gösterir. 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki pikler C=C, C=O, C=N bağlarının varlığını ve 1500-0  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki parmak izi bölgesinde C-C, C-O, C-N bağlarının varlığını gösterir.

%80 asetik asit ile işlem görmüş sisal (3) için FTIR spektroskopisinde 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki pikler C-H bağlarını, 2400-2300  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki pikler  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{N}$  bağlarının varlığını gösterir. 1600  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki pikler C=C, C=O, C=N bağlarının ve 1500-0  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki pikler ise parmak izi bölgesinde C-C, C-O, C-N bağlarının varlığını göstermektedir.

Pektinaz enzimi ile işlem görmüş sisal (4) için FTIR spektroskopisinde 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C-H bağlarının varlığını, 2400-2300  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{N}$  bağlarının, 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C=C, C=O, C=N bağlarının ve 1500-0  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki parmak izi bölgesinde C-C, C-O, C-N bağlarının varlığını göstermektedir.

Selülaz enzimi ile işlem görmüş sisal (5) için FTIR spektroskopisinde 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C-H bağlarının varlığı, 2400-2300  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{N}$  bağlarının, 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C=C, C=O, C=N bağlarının ve 1500-0  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki parmak izi bölgesinde C-C, C-O, C-N bağlarının varlığı göstermektedir.

10 g/l NaOH ile işlem görmüş sisal (6) için FTIR spektroskopisi 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C-H bağlarının varlığını, 2400-2300  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{N}$  bağlarının, 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C=C, C=O, C=N bağlarının ve 1500-0  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki parmak izi bölgesinde C-C, C-O, C-N bağlarının varlığını göstermektedir.

5 g/l NaOH ile işlem görmüş sisal (7) için FTIR spektroskopisinde 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C-H bağları, 2400-2300  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{N}$  bağları, 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında C=C, C=O, C=N bağları ve 1500-0  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığındaki parmak izi bölgesinde C-C, C-O, C-N bağları görülmektedir.

## 6.6 SEM Analizleri

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), çok küçük alana odaklanan yüksek enerjili elektronların yüzeyi taraması şeklinde çalışma prensibine sahiptir. Görüntü oluşumu yüzeyin engebeli yapısı ile ilişkilidir (URL-6, 2016). Görüntü yüksek enerjili elektron demetlerinin malzeme ile etkileşimi sonucu oluşan ışımalar ya da elektronlar sayılarak oluşur ki bunun için de sem görüntüsü alınacak numunenin iletken olması gerekmektedir. İletken olmayan numuneler için ince ve iletken tabaka kaplaması ile elektron demetleri numune üzerine yoğunlaştırılır (Şekil 60).

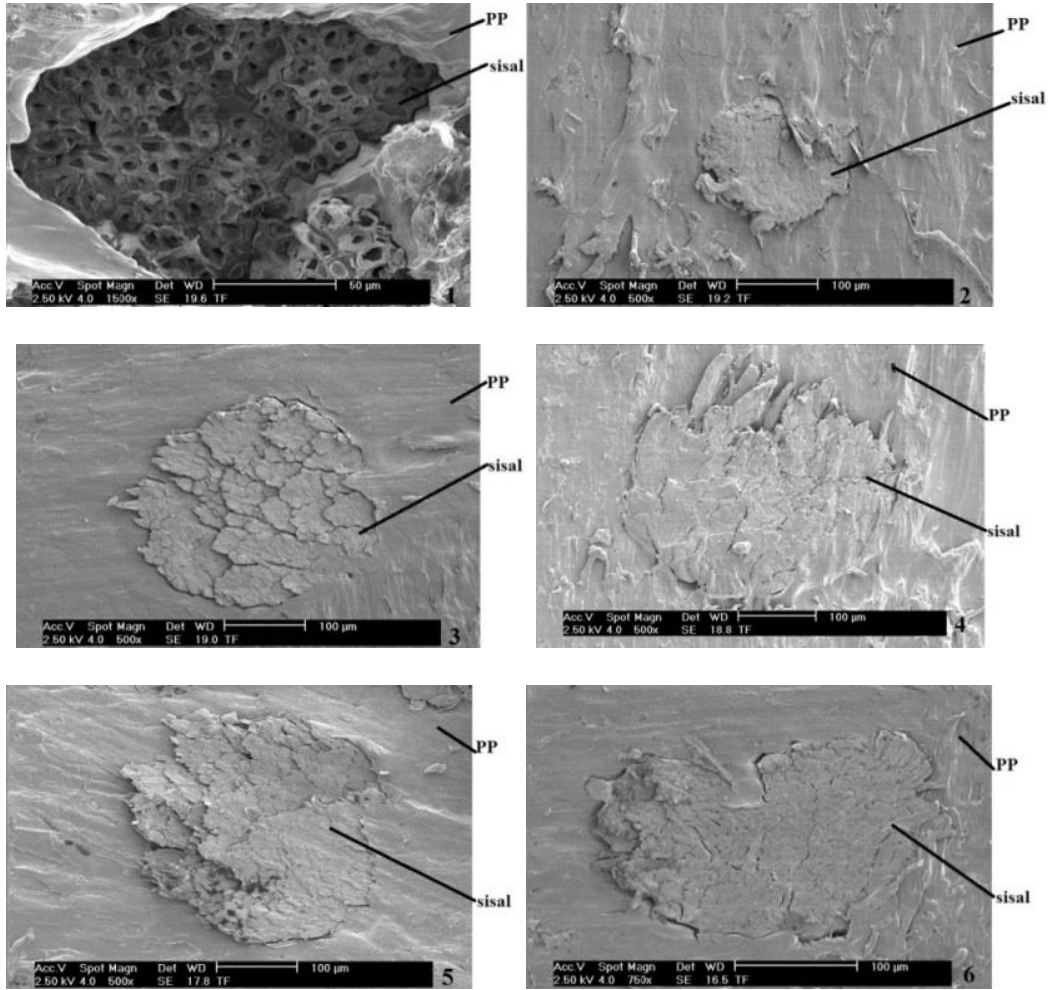


Şekil 60: Numune iletken kaplama



Şekil 61: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

Sisal lifi takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri Şekil 62'de verilmektedir



Şekil 62: Sisal lifi takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri  
1) İşlem görmemiş, 2) Lakkaz enzimi ile işlem görmüş 3) %80lik asetik asit ile işlem görmüş 4) Pektinaz enzimi ile işlem görmüş 5) Selülaz enzimi ile işlem görmüş 6) 10 g/l'lik NaOH ile işlem görmüş

Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzey işlemi uygulanmış sisal lifi ile termoplastik esaslı polipropilen matris arasında gerekli bağlanmanın (adhezyon) gerçekleştiği, lif ile matris arasında fiziksel bir tutunmanın olduğu görülmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında kompozit malzemeler ve sınıflandırılması, üretim yöntemleri tanıtılmıştır. Geçmişten günümüze kompozit malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışmanın esas konusu olan polimer esaslı kompozit malzemeler detaylı olarak incelenmiş bu kapsamda uygulama yapılarak üretilen kompozit malzemelerin çekme, eğilme, darbe mukavemetleri, sertlik testleri ile SEM ve FT-IR analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Enzimlerle yapılan işlemler sonucunda işlem görmemiş kumaş ağırlığı 7.5 g olup, ağırlık kaybı en fazla olan selüloz enzimi ile işlem görmüş sisal kumaşta olmuştur. Bu kaybı sırasıyla pektinaz, 10 g/l NaOH ile işlem görmüş sisal kumaş, 5 g/l NaOH ile işlem görmüş sisal kumaş ve %80'lik asetik asit ile işlem görmüş sisal kumaş izlemektedir. En az ağırlık kaybı ise lakkaz enzimi ile ön işlem görmüş sisal kumaşa aittir.
- Elastikiyet modülü ve gerilme dayanımı değerleri incelendiğinde, uygulanan tüm yüzey işlemlerinin kompozit malzemelerin elastikiyet modülü ve gerilme dayanımı değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Fakat en yüksek elastikiyet modülü ve gerilme dayanımı değerleri, 10 g/l NaOH ile işlem görmüş sisal kumaş takviyeli kompozit malzemelerden elde edilmiştir.
- Kompozit malzemelerin eğilme modülü ve eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde uygulanan tüm yüzey işlemlerinin kompozit malzemelerin eğilme modülü ve eğilme dayanımı değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Fakat en yüksek eğilme modülü ve eğilme dayanımı değerleri, 10 g/l NaOH ve %80 asetik asit ile işlem görmüş sisal kumaş takviyeli kompozit malzemelerden elde edilmiştir.
- Kompozit malzemelerin izod darbe dayanımı değerleri incelendiğinde ise aynı şekilde uygulanan tüm yüzey işlemlerinin kompozit malzemelerin izod darbe dayanımı değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. En yüksek izod darbe dayanımı değeri ise 10 g/l NaOH ile yüzey işlemi uygulanan sisal kumaş takviyeli kompozit malzemelerden elde edilmiştir.

- Sertlik sonuçlarına bakıldığında ise belirgin farklılıklar görülmemiştir. Kompozit malzemelerin tümü aynı matris malzemeden üretildikleri için birbirlerine oldukça yakın sertlik değerlerine sahiptirler.
- Uygulanan yüzey işlemi ile lif içerisinde bulunan safsızlıkların uzaklaştırılmasından dolayı lif yapısında meydana gelen moleküler düzeydeki değişiklikler FT-IR analizlerinde görülmektedir. Buna göre yüzey işlemi uygulanan sisal liflerinin  $2500-2000\text{ cm}^{-1}$  ve  $1500-1000\text{ cm}^{-1}$  bantları arasındaki pik değerlerinin yüzey işlemi uygulanmamış sisal lifinden farklı olduğu ve bu bölgelerde lif yapısında moleküler düzeyde değişimlerin meydana geldiği görülmektedir.
- SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)'den alınan görüntüler incelendiğinde PP matris ve sisal lifi arasında gerekli bağlanmanın(adhezyon) gerçekleştiği görülmektedir.
- Genel olarak tüm test sonuçları ele alındığında sisal lifinin yüzey işlem görmesiyle üretilen kompozit malzemelerin çekme, eğilme ve darbe dayanım değerleri artış göstermektedir. En fazla artışın 10 g/l NaOH ile yüzey işlemi yapılmış sisal lifi takviyeli kompozit malzemelerde gerçekleştiği görülmekle beraber tüm enzimlerle yapılan yüzey işlemlerinin de kompozit malzemelerin mekanik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. Buna göre NaOH ve asetik asite göre daha doğal bir malzeme olan enzimlerin de selülozik esaslı liflerin yüzey işlemlerinde kullanılabilmesi, mukavemet artışının birinci derecede önemli olmadığı çevre dostu uygulamalarda enzimatik yüzey işlemlerinin de tercih edilebileceği anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- AB Enzymes (2003). Biotouch PL300, Rev.Nr. 1.
- AB Enzymes (2013). Biotouch OSB7, Rev. Nr. 2.
- Alvarez, V., Vazquez, A., Bernal, C. (2006). Fracture Behavior of Sisal Fiber-Reinforced Starch-Based Composites. *Research Institute of Material Science and Technology (INTEMA)*, Argentina.
- Arıcasoy O. *İstanbul Ticaret Odası Kompozit Sektör Raporu*, Aralık 2006.
- Avinç, O.O., Gedik, G., Yavaş, A. (2010). Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3): 39-48.
- Bahtiyari, M.İ. (2005). Viskon Kumaşlarda Farklı Tip Enzimlerle Pilling Probleminin Önlenmesi ve Elde Edilen Efektlerin Karşılaştırılması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, 178s.
- Baydar, D.G., Bekem, A., Doğu, M., Gemicİ, Z., Ünal, A., 2012. Production and Characterization of Continuous E-Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Engineering and Natural Sciences. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 30: 120-132.
- Bozacı, E., Öktem, T., Seventekin, N. (2007). Ananas Yaprak Lifi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3: 167-169.
- Bulut, Y., Erdoğan, Ü.H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası UCTEA The Chamber of TeXtile Engineers Tekstil ve Mühendis The Journal of Textile and Engineers*, 82: 26-35.
- Dante, R. C., Sanchez-Arevalo, F. M., Huerta, L., Martin-Ramos, P., Navas-Gracia, L. M., Martin-Gil, J. (2014). Composite Fiber Based on Sisal Fiber and Calcium Carbonate. *Journal of Natural Fiber*, 11(2): 121-135.
- Dervent, N. (2003). Tekstil Terbiyesinde Enzimler ve Selülaz Enzimleri, *Tekstil& Teknik*, Mart, 205-210s.
- Ekmekçi Körlü, A., Gümüştürkmen Bozacı, E. (2006). Ketenin Genel Özellikleri ve Havuzlanması. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1: 276-280.
- Ekşi O. ( 2007). Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Edirne.
- Fernandes, E. M., Mano, J. F., Reis, R. L. (2013). Hybrid Cork-Polymer Composites Containing Sisal Fibre: Morphology, Effect of the Fibre Treatment on the Mechanical Properties and Tensile Failure Prediction. *Composite Structures*, 105: 153-162.

- Groover M. P. (2002). Fundamentals of Modern Manufacturing, *John Wiley & Sons, Inc.*, Second edition.
- Güven C. (2014). *Bilimsel Bilgiye Erişim ve Bilgiyi Sunma Ödevi*, Kompozit Malzemeler, T.C. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı, Erzurum,
- Hemmpel, W.H. (1991). The Surface Modification of Woven And Knitted Cellulose Fibre Fabrics By Enzymatic Degradation, *ITB Dyeing/Printing/Finishing* 3, 5-14p.
- Josep, K., Filho, R. D. T., James, B., Thomas, S., Carvalho, L. H. (1999). A Review on Sisal Fiber Reinforced Polymer Composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, 3(3): 367-379.
- Karaduman, Y., Önal, L., 2014. Kabak Lifi Takviyeli Düşük Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Karakterizasyonu. V. *Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi* Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Karahan, A., Öktem, T., Seventekin, N. (2006). Doğal Bambu Lifleri. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4: 236-240.
- Li, Z., Zhou, X., Pei, C. (2011). Effect of Sisal Fiber Surface Treatment on Properties of Sisal Fiber Reinforced Polylactide Composites. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Polymer Science*, 1-7.
- Mıstık, İ., Koçak, E. D., Merdan, N. (2016). Effect of the Ecological Methods on the Surface Modification of the Kenaf Fibers, Vol.22, No.3.
- Naik, L. L., Gopalakrishna, K., Yogesha, B. (2015). Review on Mechanical Properties of Sisal and Banana Reinforced Composites. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 5(3): 176-179.
- Novozymes (2007). Novoprime Base 268. *Product Application Guideline*.
- Prof. Dr. ZOR M. Kompozit Malzemelerle İlgili Genel Bilgiler, [http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel\\_bilgiler.pdf](http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf) (Erişim Tarihi:12.01.2016).
- Sarıuşık, M. (2001). Tekstil Terbiye İşlemlerinde Enzimler, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, 190s.
- Shah, B. (1995). Fiber-Reinforced Composites, *American Concrete Enstitute*, Detroit U.S.A.
- Smith, William F., Material Science and Engineering, çev. Kınıkoğlu, Nihat G., McGraw-Hill.
- Sydenstricker, T. H. D., Mochnaz, S., Amico, S. C. (2003). Pull-out and Other Evaluations in Sisal-Reinforced Polyester Biocomposites. *Polymer Testing*, 22: 375-380.

Şahin Y. (2000). Kompozit Malzemelere Giriş, *Gazi Kitabevi*, Ankara, (8-14, 38-60, 79-87, 118-127).

Temoçin, H. (2006). Tekstil Atık Sularının Renginin Giderilmesi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 159s. [tip.cumhuriyet.edu.tr/cutf/Donem1/DonemI20042005/IIKenancelik/enz2.ppt](http://tip.cumhuriyet.edu.tr/cutf/Donem1/DonemI20042005/IIKenancelik/enz2.ppt).

Turaçlı H. (1999). Enjeksiyoncunun El Kitabı, *PAGEV Yayınları*, İstanbul, (55-69, 72-173).

URL-1 (2016 )

<http://www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf> (Erişim Tarihi: 12.01.2016).

URL-2 (2016) [http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4\\_%20Uretim%20Yontemleri.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf) (Erişim Tarihi: 12.01.2016).

URL-3 (2016) <http://www.zinisan.com.tr/html/kompozit.pdf> (Erişim Tarihi: 12.01.2016).

URL-4 (2016) [http://www.baranboya.com/polivaks\\_sv-6.html](http://www.baranboya.com/polivaks_sv-6.html) (Erişim Tarihi: 16.05.2016).

URL-5 (2016) <http://www.semlab.com/papers/ftiranalysis.pdf> (Erişim Tarihi: 13.08.2016).

URL-6 (2016) <http://kisi.deu.edu.tr/umit.erdogan/SEM.pdf> (Erişim Tarihi: 16.08.2016).



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Özge ETİ  
Doğum Yeri ve Tarihi : 31/05/1991

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Marmara Üniversitesi (2013)  
Namık Kemak Üniversitesi (2016)  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi (2017)  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Stajlar : Altoteks Tekstil Boya Apre San. ve Tic. A.Ş.  
Bilkont Dış Tic. Ve Tekstil San. Tic. A.Ş  
İndorama İplik San. ve Tic. A.Ş  
Çalıştığı Kurumlar : Altoteks  
Çorlu Kız Teknik ve Meslek Lisesi  
Gülle Tekstil

### İletişim

E-Posta Adresi : ozge\_eti@hotmail.com

Tarih : 22/02/2017 (Tez sınav tarihi)