

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**KENDİR LİFİ TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN**  
**ÜRETİLEBİLİRLİK VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**BETÜL PARLAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZKAN ESKİ**

**OCAK - 2023**  
**KASTAMONU**

## TEZ ONAYI

**Betül PARLAK** tarafından hazırlanan “**Kendir Lifi Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretilirlik ve Dayanım Özelliklerinin Araştırılması**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **12.01.2023** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

|                   |                                                     |       |
|-------------------|-----------------------------------------------------|-------|
| <b>Danışman</b>   | Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ<br>Kastamonu Üniversitesi | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | Prof. Dr. Serkan ISLAK<br>Kastamonu Üniversitesi    | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | Doç. Dr. Harun ÇUĞ<br>Karabük Üniversitesi          | ..... |

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü V.

Doç. Dr. Osman ÇİÇEK

.....

## TAAHHÜTNAME

*Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.*

**Betül PARLAK**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### KENDİR LİFİ TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLEBİLİRLİK VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

BETÜL PARLAK

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZKAN ESKİ

Günümüzde kompozit malzeme endüstrisi yenilenebilir kaynaklara yönelmekte ve yeni arayışlar içerisine girmektedir. Bundan dolayı elyaf takviyeli kompozitlerin imalatı artmıştır. Gelişmekte olan bir bilim dalı olmasından dolayı havacılık, otomotiv ve denizcilik sektöründe kullanılmaktadır. Kendir lifi doğal lif olarak literatürde yer almaktadır. Doğal lifler ile üretilmiş olan kompozitlere yeşil kompozit denilmektedir. Kompozit malzemeler hafif, ucuz, kolay bakım, montaj ve tamirden dolayı tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler, kolay bir yöntem olan el yatırma yöntemiyle bile üretilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan takviye elemanı ile kompozit yapının mukavemetini artırmak amaçlanmıştır. Takviye elemanı olarak kendir lifi kullanılmıştır. Cam ve kevlar elyafı kullanılarak kendir lifinden üretilen numunenin mekanik özelliklerinin artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, matris olarak epoksi reçine, takviye elemanı olarak kendir lifi kullanılmıştır. 0°, 45° ve 60° kendir lifi yönlendirmesi ile üretilmiştir. El ile yatırma yöntemi kullanılarak numunelerin üretimi yapılmıştır. Üç noktalı eğme ve çekme testleri yapılarak mekanik testler yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. İyapı incelemeleri için optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELE:**kompozit, kendir, epoksi, cam elyafı, kevlar elyafı

Ocak 2023, 134 Sayfa

## **ABSTRACT**

### **MSC THESIS**

#### **INVESTIGATION OF THE MANUFACTURABILITY AND STRENGTH PROPERTIES OF HEMP FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIALS**

**BETÜL PARLAK**

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. ÖZKAN ESKI**

Today, the composite material industry is turning to renewable resources and is in search of new ones. Therefore, the production of fiber-reinforced composites has increased. Since it is a developing science, it is used in aviation, automotive and maritime sectors. Hemp fiber is included in the literature as a natural fiber. Composites produced with natural fibers are called green composites. Composite materials are preferred because of their light weight, cheap, easy maintenance, assembly and repair. Composite materials can be produced even by hand laying, which is an easy method. It is aimed to increase the strength of the composite structure with the reinforcement element used in this thesis. Hemp fiber was used as a reinforcement element. It is aimed to increase the mechanical properties of the sample produced from hemp fiber by using glass and kevlar fibers. In this study, epoxy resin was used as a matrix and hemp fiber was used as a reinforcement element. It is produced with 0°, 45° and 60° hemp fiber orientation. Samples were produced using the manual lay-up method. Three-point bending and tensile tests were performed and mechanical tests were carried out and the results were examined. Optical microscope images were examined for internal structure analysis.

**KEYWORDS:**composite, hemp, epoxy, fiberglass, kevlar fiber

January 2023, 134 Page

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında benden desteğini, bilgisini ve değerli zamanını benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ hocama, kompozit plakların üretiminde laboratuvarını bana açan Dr. Öğr. Üyesi Öztürk Özdemir KANAT hocama teşekkürlerimi sunarım. Maddi ve manevi olarak destekleyen, bana güvenen, sevgisini paylaşan annem Hatice PARLAK ve babam Mustafa PARLAK'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Betül PARLAK

Kastamonu, 2023

## İÇİNDEKİLER

|                                                               | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------------------------------|--------------|
| TEZ ONAYI .....                                               | ii           |
| TAAHHÜTNAME .....                                             | iii          |
| ÖZET.....                                                     | iv           |
| ABSTRACT .....                                                | v            |
| TEŞEKKÜR .....                                                | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                             | vii          |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                         | x            |
| TABLolar DİZİNİ .....                                         | xiii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                          | xiv          |
| 1. GİRİŞ.....                                                 | 1            |
| 1.1 Kompozit Malzemelerin Yapısı .....                        | 1            |
| 1.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları ..... | 2            |
| 1.2.1 Kompozit Malzemelerin Avantajı .....                    | 2            |
| 1.2.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları .....              | 4            |
| 1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....             | 4            |
| 1.3.1 Matris Yapısına Göre Kompozit Malzemeler.....           | 5            |
| 1.3.1.1 Metal matrisli kompozit malzemeler .....              | 5            |
| 1.3.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler .....            | 7            |
| 1.3.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler .....            | 8            |
| 1.3.1.3.1 Termoplastik polimerler .....                       | 9            |
| 1.3.1.3.2 Termoset polimerler.....                            | 13           |
| 1.3.1.4 Karbon-karbon kompozit malzemeler.....                | 16           |
| 1.3.1.5 Nano kompozit malzemeler .....                        | 17           |
| 1.3.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler .....        | 18           |
| 1.3.2.1 Elyaf takviyeli kompozit malzemeler .....             | 18           |
| 1.3.2.2 Parçacık takviyeli kompozit malzemeler .....          | 19           |
| 1.3.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler .....                    | 19           |
| 1.3.2.4 Karma (Hibrit) kompozit malzemeler .....              | 20           |
| 1.4 Elyaf Çeşitleri .....                                     | 20           |
| 1.4.1 Cam Elyafı (Fiber Glass) .....                          | 20           |
| 1.4.1.1 Cam elyafı üretim yöntemi .....                       | 22           |
| 1.4.1.1.1 Harmanlama.....                                     | 23           |
| 1.4.1.1.2 Camın ergitilmesi.....                              | 24           |
| 1.4.1.1.3 Elyaf çekilmesi .....                               | 24           |
| 1.4.1.1.4 Bağlayıcı uygulanması.....                          | 25           |
| 1.4.2 Karbon Elyafı.....                                      | 25           |
| 1.4.2.1 Karbon elyafının üretilmesi.....                      | 26           |
| 1.4.2.1.1 Oksidasyon.....                                     | 26           |
| 1.4.2.1.2 Karbonizasyon .....                                 | 27           |
| 1.4.2.1.3 Yüzey iyileştirme .....                             | 27           |
| 1.4.2.1.4 Kaplama .....                                       | 27           |
| 1.4.3 Bor Elyafı.....                                         | 27           |
| 1.4.3.1 Bor elyafının üretilmesi.....                         | 28           |
| 1.4.4 Kevlar (Aramid) Elyafı .....                            | 28           |

|           |                                                            |           |
|-----------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.4.4.1   | Kevlar elyafının üretilmesi.....                           | 30        |
| 1.5       | Kompozit Malzemelerde Lif ve Matrisin Görevleri .....      | 30        |
| 1.6       | Kompozit Malzemelerde Dokuma Kumaş Takviyesi.....          | 31        |
| 1.6.1     | Twill Dokuma Kumaş (Twill) .....                           | 32        |
| 1.6.2     | Saten Dokuma Kumaş (Satin).....                            | 32        |
| 1.6.3     | Sepet Tip Dokuma Kumaş (Basket) .....                      | 33        |
| 1.6.4     | Leno Dokuma Kumaş .....                                    | 33        |
| 1.6.5     | Taklit Leno Dokuma Kumaş.....                              | 33        |
| 1.7       | Doğal Kompozitler.....                                     | 33        |
| 1.7.1     | Doğal Lifler.....                                          | 35        |
| 1.7.1.1   | Tohum lifleri .....                                        | 35        |
| 1.7.1.1.1 | Pamuk lifleri .....                                        | 36        |
| 1.7.1.1.2 | Kapok lifleri.....                                         | 37        |
| 1.7.1.2   | Sak lifleri.....                                           | 38        |
| 1.7.1.2.1 | Jüt.....                                                   | 38        |
| 1.7.1.2.2 | Keten.....                                                 | 39        |
| 1.7.1.2.3 | Kenevir.....                                               | 40        |
| 1.7.1.2.4 | Kenaf.....                                                 | 44        |
| 1.7.1.3   | Yaprak lifleri .....                                       | 45        |
| 1.7.1.3.1 | Sisal.....                                                 | 45        |
| 1.7.1.3.2 | Muz .....                                                  | 46        |
| 1.7.1.3.3 | Ananas yaprakları .....                                    | 47        |
| 1.7.1.4   | Meyve lifleri.....                                         | 47        |
| 1.7.1.4.1 | Hindistan cevizi .....                                     | 48        |
| 1.8       | Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi .....                 | 48        |
| 1.8.1     | Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi.....   | 49        |
| 1.8.2     | Seramik Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi..... | 49        |
| 1.8.3     | Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemi .....        | 50        |
| 1.8.3.1   | El yatırması yöntemi .....                                 | 50        |
| 1.8.3.2   | Püskürtme yöntemi .....                                    | 53        |
| 1.8.3.3   | Pres (Basınçlı) kalıplama yöntemi .....                    | 54        |
| 1.8.3.4   | Transfer kalıplama yöntemi .....                           | 55        |
| 1.8.3.5   | Soğuk kalıplama yöntemi.....                               | 56        |
| 1.8.3.6   | Vakum kalıplama yöntemi .....                              | 56        |
| 1.8.3.7   | Otoklav kalıplama yöntemi.....                             | 56        |
| 1.8.3.8   | Filament (Sarma) yöntemi .....                             | 57        |
| 1.8.3.9   | Pultrüzyon (Profil çekme) yöntemi.....                     | 59        |
| 1.8.3.10  | Matris enjeksiyon yöntemi.....                             | 61        |
| 1.8.3.11  | Enjeksiyon yöntemi.....                                    | 62        |
| 1.8.3.12  | Santrifüj yöntemi.....                                     | 62        |
| <b>2.</b> | <b>LİTERATÜR .....</b>                                     | <b>67</b> |
| <b>3.</b> | <b>AMAÇ, MATERYAL ve METOT.....</b>                        | <b>75</b> |
| 3.1       | Amaç .....                                                 | 75        |
| 3.2       | Materyal .....                                             | 75        |
| 3.2.1     | Kenevir (Kendir) Lifi Dokuma .....                         | 76        |
| 3.2.2     | Kevlar Elyafı.....                                         | 77        |
| 3.2.3     | Cam Elyafı .....                                           | 77        |
| 3.2.4     | Epoksi Reçine .....                                        | 77        |
| 3.3       | Metot .....                                                | 77        |

|                        |                                                                      |            |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4                    | Deney Numunelerinin Hazırlanması.....                                | 78         |
| 3.5                    | Numunelerin Hazırlanması .....                                       | 79         |
| <b>4.</b>              | <b>DENEY SONUÇLARI .....</b>                                         | <b>82</b>  |
| 4.1                    | Çekme Deneyi Test Sonuçları .....                                    | 82         |
| 4.2                    | Üç Noktalı Eğme Testi Deneyi Sonuçları.....                          | 94         |
| 4.3                    | Darbe Testi Deneyi Sonuçları.....                                    | 103        |
| 4.4                    | Yoğunluk Hesabı .....                                                | 105        |
| <b>5.</b>              | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                       | <b>108</b> |
| 5.1                    | Sonuç.....                                                           | 108        |
| 5.2                    | Öneriler .....                                                       | 112        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b> |                                                                      | <b>114</b> |
| <b>EKLER.....</b>      |                                                                      | <b>120</b> |
| EK A.                  | Numunelerin Ön Hazırlığı.....                                        | 121        |
| EK B.                  | Kendir Lifinin Üretilme Aşaması.....                                 | 123        |
| EK C.                  | 60° Kendir Lifinin Üretilme Aşaması .....                            | 126        |
| EK D.                  | 11 Kat Elyafın Üretimi (5 Kat Kendir+ 6 Kat Kevlar/Cam Elyafı) ..... | 129        |
| EK E.                  | 5 Kat Kevlar ve Cam Elyafının Üretimi .....                          | 132        |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   |                                                                      | <b>134</b> |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 Takviye ve matris fazlarını içeren kompozit malzeme örneği .....                                                                                       | 1  |
| Şekil 1.2 Kompozit malzemenin genel yapısı .....                                                                                                                 | 2  |
| Şekil 1.3 SiC takviyeli bakır matrisli kompozitin kırılma yüzeyinin görüntüsü .....                                                                              | 6  |
| Şekil 1.4 Piston kolu (a), fren parçaları (b), kardan mili(c) .....                                                                                              | 7  |
| Şekil 1.5 Seramik matrisli kompozitten üretilmiş otomotiv fren diski .....                                                                                       | 8  |
| Şekil 1.6 Termoplastik polimer zinciri .....                                                                                                                     | 9  |
| Şekil 1.7 Termoset plastik polimer zinciri .....                                                                                                                 | 13 |
| Şekil 1.8 Sık kullanılan matris malzemelerinin çekme modülü<br>ve çekme gerilmesi .....                                                                          | 16 |
| Şekil 1.9 Uzay mekiğinde kullanılan seramik matrisli kompozit malzeme örneği ...                                                                                 | 17 |
| Şekil 1.10 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....                                                                                                         | 18 |
| Şekil 1.11 Elyaf türleri .....                                                                                                                                   | 19 |
| Şekil 1.12 Atkı ve çözgü iplikleri .....                                                                                                                         | 31 |
| Şekil 1.13 Elyaf örgü çeşitleri .....                                                                                                                            | 32 |
| Şekil 1.14 Bitkisel liflerin sınıflandırılması .....                                                                                                             | 35 |
| Şekil 1.15 Pamuk lifinin mikroskobik görüntüsü .....                                                                                                             | 37 |
| Şekil 1.16 Pamuk .....                                                                                                                                           | 37 |
| Şekil 1.17 Kapok meyvesi .....                                                                                                                                   | 38 |
| Şekil 1.18 Jütün elyaf hali .....                                                                                                                                | 38 |
| Şekil 1.19 Keten lifinin enine kesit görüntüsü .....                                                                                                             | 39 |
| Şekil 1.20 Kenevir lifinin yapısı .....                                                                                                                          | 40 |
| Şekil 1.21 Kenevir sakından liflerin ayrılması .....                                                                                                             | 43 |
| Şekil 1.22 Kenaf bitkisi ve fiber haline getirilmiş kenaf .....                                                                                                  | 45 |
| Şekil 1.23 Sisal bitkisi ve lif eldesi .....                                                                                                                     | 46 |
| Şekil 1.24 Ananastan lif eldesi .....                                                                                                                            | 47 |
| Şekil 1.25 Hindistan cevizinin enine görüntüsü .....                                                                                                             | 48 |
| Şekil 1.26 El yatırması yöntemi aşamaları .....                                                                                                                  | 51 |
| Şekil 1.27 Püskürtme yöntemi ile üretim .....                                                                                                                    | 53 |
| Şekil 1.28 Pres kalıplama yöntemi .....                                                                                                                          | 55 |
| Şekil 1.29 Transfer kalıplama üretim yöntemi .....                                                                                                               | 55 |
| Şekil 1.30 Vakumla kalıplama yöntemi .....                                                                                                                       | 56 |
| Şekil 1.31 Otoklav resimleri .....                                                                                                                               | 57 |
| Şekil 1.32 Elyaf sarım düzeneği .....                                                                                                                            | 59 |
| Şekil 1.33 Pultrüzyon yöntemi aşamaları .....                                                                                                                    | 61 |
| Şekil 1.34 Matris enjeksiyon üretim yöntemi ile raket üretimi .....                                                                                              | 61 |
| Şekil 1.35 Enjeksiyon yöntemi ile numunenin hazırlanışı .....                                                                                                    | 62 |
| Şekil 1.36 Santrifüj yöntemi ile üretim .....                                                                                                                    | 63 |
| Şekil 3.1 Kasnakta kendir lifinin örülmesi.....                                                                                                                  | 76 |
| Şekil 3.2 Örölmüş ve kasnakta çıkarılmış kendir lifi.....                                                                                                        | 77 |
| Şekil 3.3 Cam (a) ve kevlar (b) elyafının ölçölmesi ve kesilmesi .....                                                                                           | 79 |
| Şekil 3.4 Numune1, numune2 ve numune3'ün cam ve kevlar elyafının<br>yerleşimi (a), kendir dokumasının yerleşimi (b) ve sandviç yapının<br>tamamlanması (c) ..... | 79 |
| Şekil 3.5 ASTM D638 standardına göre çekme çubuğu teknik resmi .....                                                                                             | 80 |

|                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.6 ASTM D790 standardına göre üç noktalı eğme çubuğu teknik resmi.....                                                                                                                                                                         | 80  |
| Şekil 3.7 ASTM D256 standardına göre darbe çubuğu teknik resmi .....                                                                                                                                                                                  | 80  |
| Şekil 3.8 Kompozit levhadan çekme çubuğu numuneleri, üç noktalı eğme çubuğu numuneleri ve darbe testi numunesi deney üretimi (a), numunelerin zımparalanması (b), çekme ve üç noktalı eğme numuneleri (c) ve çentik darbe tokluğu numuneleri (d)..... | 81  |
| Şekil 4.1 Çekme testinin yapılışı.....                                                                                                                                                                                                                | 82  |
| Şekil 4.2 Çekme testi grafiği grup 1.....                                                                                                                                                                                                             | 84  |
| Şekil 4.3 Numune 1(a), Numune 2(b) ve Numune 3(c)'ün çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri.....                                                                                                                                               | 84  |
| Şekil 4.4 Numune 1(a), Numune 2(b) ve Numune 3(c)'ün optik mikroskop görüntüsü.....                                                                                                                                                                   | 85  |
| Şekil 4.5 Çekme testi grafiği grup 2.....                                                                                                                                                                                                             | 86  |
| Şekil 4.6 Numune 4(a), Numune 5(b) ve Numune 6(c)'nin çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri.....                                                                                                                                              | 86  |
| Şekil 4.7 Numune 4(a), Numune 5(b) ve Numune 6(c)'nin optik mikroskop görüntüsü.....                                                                                                                                                                  | 87  |
| Şekil 4.8 Çekme testi grafiği grup 3.....                                                                                                                                                                                                             | 88  |
| Şekil 4.9 Numune 7(a), Numune 8(b) ve Numune 9(c)'un çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri.....                                                                                                                                               | 88  |
| Şekil 4.10 Numune 7(a), Numune 8(b) ve Numune 9(c)'un optik mikroskop görüntüsü.....                                                                                                                                                                  | 89  |
| Şekil 4.11 Çekme testi grafiği grup 4 .....                                                                                                                                                                                                           | 90  |
| Şekil 4.12 Numune 10(a) ve Numune 11(b)'in çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri .....                                                                                                                                                        | 90  |
| Şekil 4.13 Numune 10(a) ve Numune 11(b)'in optik mikroskop görüntüsü .....                                                                                                                                                                            | 90  |
| Şekil 4.14 Çekme testi grafiği grup 5 .....                                                                                                                                                                                                           | 91  |
| Şekil 4.15 Numune 12(a) ve Numune 13(b) çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri .....                                                                                                                                                           | 91  |
| Şekil 4.16 Numune 12(a) ve Numune 13(b)'ün optik mikroskop görüntüsü .....                                                                                                                                                                            | 92  |
| Şekil 4.17 Numune 1, Numune4 ve Numune 7'nin çekme testi grafiği .....                                                                                                                                                                                | 92  |
| Şekil 4.18 Numune 2, Numune 5, Numune 8 ve Numune 12'nin çekme testi grafiği.....                                                                                                                                                                     | 93  |
| Şekil 4.19 Numune 3, Numune 6, Numune 9 ve Numune 13'ün çekme testi grafiği.....                                                                                                                                                                      | 94  |
| Şekil 4.20 Shimadzu üç noktalı eğme testinin yapılış aşaması.....                                                                                                                                                                                     | 94  |
| Şekil 4.21 Üç noktalı eğme deney sonuçları grafiği grup 1 .....                                                                                                                                                                                       | 96  |
| Şekil 4.22 Numune 1(a), Numune 2(b) ve Numune 3(c)'ün üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri .....                                                                                                                                   | 96  |
| Şekil 4.23 Üç noktalı eğme deney sonuçları grafiği grup 2 .....                                                                                                                                                                                       | 97  |
| Şekil 4.24 Numune 4(a), Numune 5(b) ve Numune 6(c)'nin üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri .....                                                                                                                                  | 97  |
| Şekil 4.25 Üç noktalı eğme deney sonuçlarının grafiği grup 3.....                                                                                                                                                                                     | 98  |
| Şekil 4.26 Numune 7(a), Numune 8(b) ve Numune 9(c)'un üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri .....                                                                                                                                   | 98  |
| Şekil 4.27 Üç noktalı eğme deney sonuçlarının grafiği grup 4.....                                                                                                                                                                                     | 99  |
| Şekil 4.28 Numune 10(a) ve Numune 11(b) üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri.....                                                                                                                                                  | 99  |
| Şekil 4.29 Üç noktalı eğme deney sonuçlarının grafiği grup 5.....                                                                                                                                                                                     | 100 |

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.30 Numune 12, Numune 13'ün üç noktalı eğme testi yaptıktan<br>sonraki kırık yüzeyleri..... | 100 |
| Şekil 4.31 Numune 1, Numune 4 ve Numune 7'nin üç noktalı eğme grafiği.....                         | 101 |
| Şekil 4.32 Numune 2, Numune 5, Numune 8 ve Numune 12'nin üç noktalı<br>eğme grafiği.....           | 101 |
| Şekil 4.33 Numune 3, Numune 6, Numune 9 ve Numune 13'ün üç noktalı<br>eğme grafiği.....            | 102 |
| Şekil 4.34 Darbe deney cihazı ve numunenin yerleşimi .....                                         | 103 |
| Şekil 4.35 Darbe deneyi yapıldıktan sonra numunenin yüzey görüntüleri .....                        | 104 |



## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 1.1 Termoset ve termoplastik matris malzemesinin bazı avantajları ve dezavantajları ..... | 13  |
| Tablo 1.2 Cam türlerinin bazı özellikleri .....                                                 | 22  |
| Tablo 1.3 Bazı karbon elyafların değerleri .....                                                | 26  |
| Tablo 1.4 Bazı kevlar elyafının özellikleri.....                                                | 29  |
| Tablo 1.5 Bazı doğal liflerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması .....                   | 42  |
| Tablo 1.6 Bazı doğal liflerin kimyasal bileşimleri .....                                        | 42  |
| Tablo 1.7 Matris ve üretim yöntemi tablosu .....                                                | 64  |
| Tablo 1.8 Bazı üretim yöntemlerinin özellikleri .....                                           | 65  |
| Tablo 1.9 Parça boyutları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları .....                         | 66  |
| Tablo 3.1 Numunelerin numaralandırılması .....                                                  | 78  |
| Tablo 4.1 Çekme deneyinin sonuçları.....                                                        | 83  |
| Tablo 4.2 Üç noktalı eğme deneyinin sonuçları.....                                              | 95  |
| Tablo 4.3 Darbe deneyinin sonuçları .....                                                       | 103 |
| Tablo 4.4 Numunelerde kullanılan elyafın ve liflerin yoğunluğu.....                             | 106 |
| Tablo 4.5 Numunelerin teorik yoğunluk ve gözeneklilik yüzdeleri .....                           | 107 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

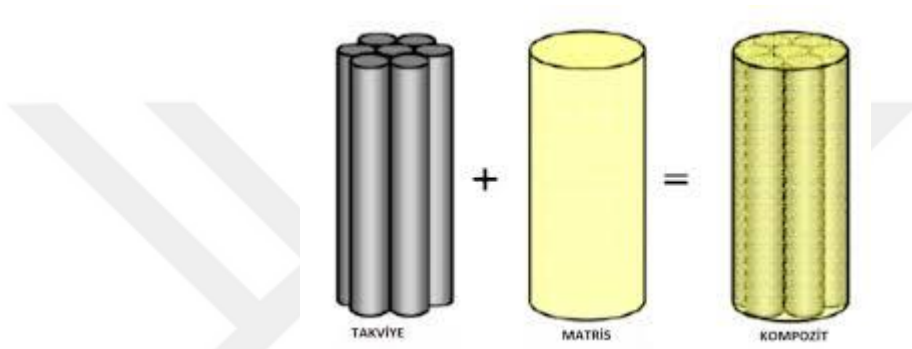
|                  |                  |
|------------------|------------------|
| NaOH             | : Sodyum klorür  |
| SiO <sub>2</sub> | : Silisyum oksit |

### Kısaltmalar

|                  |                                                             |
|------------------|-------------------------------------------------------------|
| UV               | : Ultraviyole                                               |
| PVC              | : Polivinilklorür                                           |
| PMMA             | : Polimetilmetakrilat                                       |
| cm               | : Santimetre                                                |
| mm               | : Milimetre                                                 |
| nm               | : Nanometre                                                 |
| µm               | : Mikrometre                                                |
| %                | : Yüzde                                                     |
| kg               | : Kilogram                                                  |
| gr               | : Gram                                                      |
| °C               | : Santigrat derece                                          |
| P                | : Basınç                                                    |
| A <sub>0</sub>   | : Cismin ilk yüzey alanı                                    |
| L <sub>0</sub>   | : Cismin ilk uzunluğu                                       |
| E                | : Elastise modülü                                           |
| ε                | : Birim şekil değiştirme                                    |
| L                | : Numune boyu                                               |
| ΔL               | : Numune boy değişimi                                       |
| M                | : Moment                                                    |
| σ                | : Gerilme                                                   |
| M <sub>max</sub> | : Maksimum moment                                           |
| σ <sub>max</sub> | : Maksimum gerilme                                          |
| I                | : Atalet momenti                                            |
| c                | : Nötral eksenden kesitin en uç noktasının mesafesi         |
| G                | : Sarkacın ağırlığı                                         |
| L                | : Sarkacın ağırlığı mesafesi ile salınım merkezine uzaklığı |
| h                | : Sarkacın ağırlık merkezine düşme uzaklığı                 |
| h <sub>1</sub>   | : Sarkacın ağırlık merkezinden çıkış yüksekliği             |
| α                | : Düşme açısı                                               |
| β                | : Yükseliş açısı                                            |

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, belirli bir amaç doğrultusunda iki veya daha fazla, aynı veya farklı malzemelerin özelliklerini, yeni ve tek malzemedeki toplamak için, bileşenlerin kendi sınırlarını koruyacak şekilde makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan yeni ve yapay malzemeler olarak tanımlanabilir. Şekil 1.1’de matrisin ve takviye elemanın makro boyuttaki birleşimi gösterilmiştir.

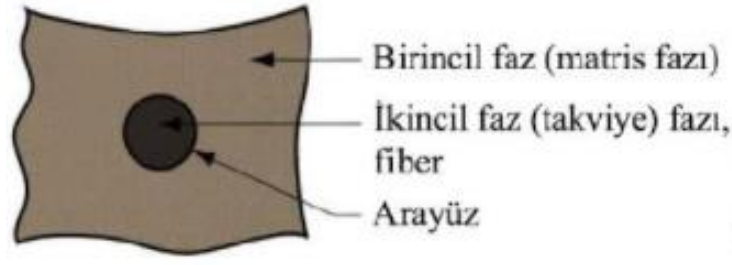


Şekil 1.1 Takviye ve matris fazlarını içeren kompozit malzeme örneği (Bülbül, 2020)

Kompozit malzemelerde düşük dayanıma sahip olan matris ana fazının içerisinde dağılmış olan takviye fazından meydana gelmektedir. Takviye ve matris fazları atomsal boyutta birleşmez, birbirleri içerisinde inert (kimyasal olarak aktif olmayan madde) olarak davranırlar.

### 1.1 Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozit malzemeler en az bir takviye elemanı ve matristen oluşur. Üretim yönteminden tasarımına kadar bütün süreç nihai ürünü etkilemektedir. Çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak bütünleşmiş olan ana fazın ve matrisin, kendi kimyasal özelliklerini kaybetmeden ara yüzey oluşturarak tasarım şeklini korur (Bulut, 2014).



Şekil 1.2 Kompozit malzemenin genel yapısı (URL-2, 2020)

## 1.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

### 1.2.1 Kompozit Malzemelerin Avantajı

Farklı malzemelerin bir araya gelerek üstün özellikli yeni bir malzeme oluşturması mümkündür ve bu yeni malzeme birçok açıdan avantajlı olan kompozit malzemeler grubunu oluşturur. Özgül ağırlıkları düşük olan kompozit malzemelerde hafiflik önemli bir avantajdır.

- Yüksek mukavemet: Bazı kompozit malzemelerin metal malzemelere göre çekme ve eğilme mukavemetleri daha yüksektir. Kaplama yapılabildiklerinden dolayı kompozit malzemelerde istenilen yönde ve istenilen bölgede mukavemet artışı sağlanabilir. Malzeme tasarrufu sağlanarak ucuz ve hafif ürünler elde edilebilir.

- Kolay şekil verme: Kompleks ve büyük parçaların imalatı sırasında kullanılan kompozit yapılar, tek işlem ve tek parça halinde üretilebilir. Bu sayede işçilik fiyatı azalır.

- Korozyona ve kimyasal etkilere dayanıklılık: Havadan kaynaklanan etkilerden, korozyondan ve kimyasallarla olan tepkimelerden kompozit malzemeler zarar görmezler. Bundan dolayı kimyasal madde taşınımı yapan tanklarda, aspratörlerde, deniz araçlarında ve borularda kompozit malzeme kullanımı karşımıza çıkmaktadır.

- Isıya ve ateşe karşı dayanıklılık: Kompozit malzemeler, ısı katsayısı düşük olan malzeme gruplarından imal edildiklerinden dolayı yüksek ısı altında verimli kullanımı büyük bir avantajdır. Isıya karşı daha fazla dirençli olması için etkin malzeme eklenebilir.

- Titreşim sönümleme: Kompozit malzemelerin süneklik özelliğinden dolayı doğal titreşim sönümleme ve şok yutabilme gözlemlenir. Çatlağın ilerlemesi titreşim sönümleme özelliğinden dolayı engellenir.
- Renklendirme: Reçine içerisine renkli pigmentler ilave edilerek kompozit malzemeler renklendirilebilir. İşçilik ve maliyet gerektirmez.
- Çeşitlilik: Geniş bir skala ile farklı kombinasyonlar oluşturmak mümkündür.
- Kalıplama kolaylığı
- Elektriksel özellikler
- Geniş renk skalası
- Tasarımda esneklik
- Şeffaflık özelliği
- Beton yüzeylerde uygulama
- Ahşap yüzeylerde uygulama
- Metal yüzeylerde uygulama
- Tamir edilebilirliğin kolay olması
- Sıvı izolasyonu (sızdırmazlık)
- UV ışınlarına dayanıklı olması
- Kolay montaj gibi birçok avantajları vardır.

### 1.2.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunur. Bu dezavantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Hammadde fiyatının pahalı oluşu: Yüksek kalitede kullanılacak olan elyafın m2 fiyatını 50\$ seviyesine kadar çıkabilmektedir.
- Lamine edilmiş kompozit malzemelerin katları arasında kesme dayanımı düşüktür. Bundan dolayı lamine şekilde üretilmiş olan kompozit malzemeler yanal kuvvetlere her zaman uygun değildir. Tabakalar arası ayrılma daha önceki (Ayan 2019) çalışmalarda elde edilen sonuca benzerdir.
- Seçilmiş olan üretim yöntemine göre malzemenin kalitesi değişir. Standart bir kalite yoktur.
- Gevrek yapıda olan kompozit malzemeler kırılgan yapıdadır. (Ayan, 2019)

### 1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler üretilirken sonsuz sayıda farklı malzeme kombinasyonu yapılabilir. Bu durum kompozit malzemeleri sınıflandırırken belirli bir standardının olmamasına yol açar. Fakat yapılarındaki malzemelere ve bileşenlerini aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

#### Matris Yapılarına Göre Kompozit Malzemeler

Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Nano Kompozit Malzemeler

Karbon-Karbon Kompozit Malzemeler

### Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler

Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Tabakalı Kompozit Malzemeler

Karma (Hibrit) Kompozit Malzemeler

Levhasal Kompozit Malzemeler (URL-2, 2020)

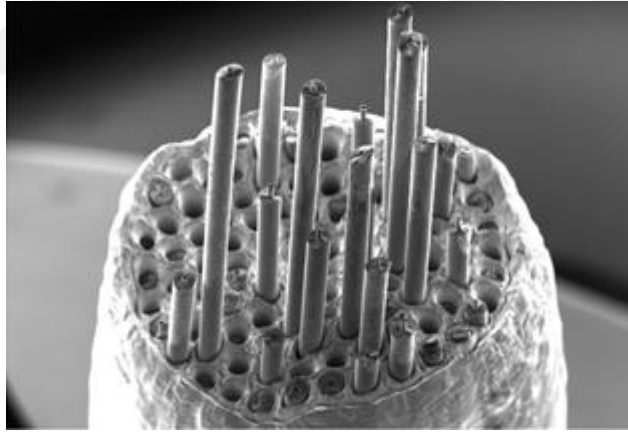
#### **1.3.1 Matris Yapısına Göre Kompozit Malzemeler**

##### **1.3.1.1 Metal matrisli kompozit malzemeler**

Adında da yer aldığı gibi matrisi metal olan kompozit türüdür. Matris malzemesi olarak alüminyum, bakır, magnezyum ve titanyum vb. kullanılırken takviye elemanı (fiber) olarak karbon elyafı ve silisyum karbür gibi seramikler kullanılır (Gülmez, 2018). Kısaca MMK (metal matrisli kompozit) olarak adlandırılır. Endüstride tercih edilen malzeme gruplarında yer alır. Yüksek mukavemet, kırılma tokluğu, aşınma direncinin yanı sıra kolay üretilbildiği için avantajlı konumdadır. Matris ve takviye elemanın arasında oluşan yük geçişini gerçekleştiren ara yüzey mukavemeti etkilediği için takviye elemanın yapısı önem taşımaktadır (Bülbül, 2020). Spesifik bir üretim yapılacağı zaman özel istekleri karşılayabilecek kompoziti elde etmek için kompozitin bileşenleri hakkında her bilgiye sahip olunmalıdır. Takviye elemanı olarak partikül, fiber ve kısa fiber olarak üçe ayrılır. Belirli bir alanda kullanılacak olan kompozit malzeme hakkında tam bilgi en kapsamlı bir şekilde bilinmelidir. Takviye elemanının sürekli veya partikül olması gibi fiziksel özellikleri çok önemlidir (Akdoğan Eker, 2020).

Metal matrisli kompozitlerin yaygın olarak kullanılmasının nedeni yüksek mukavemet, yüksek mekanik özellikler çekme/eğme ve basma mukavemetleri gösterilebilir. Metal malzemeler gibi ısı ve elektrik iletimi, yanıcı olmaması ve nemden etkilenmemesinden dolayı matris malzemesi olarak seçilmesinde önemli rol oynamaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Yüksek özgül ağırlık ve korozyona karşı direncinin düşük olması metal matrisli kompozit malzemelerin dezavantajlarından. Metal matrisli yüksek performans kompozit yapılarda takviye elemanı ve matris arasında ara yüzey bağı iyi oluşturulmalıdır. Mümkün olduğunca en düşük basınç ve sıcaklık altında hızlı bir şekilde katılaşma olmalıdır. Metal matrisli kompozit malzeme üretimi diğer metal malzemelere oranla pahalıdır. Bundan dolayı üretim teknolojisi tam gelişmemiştir.

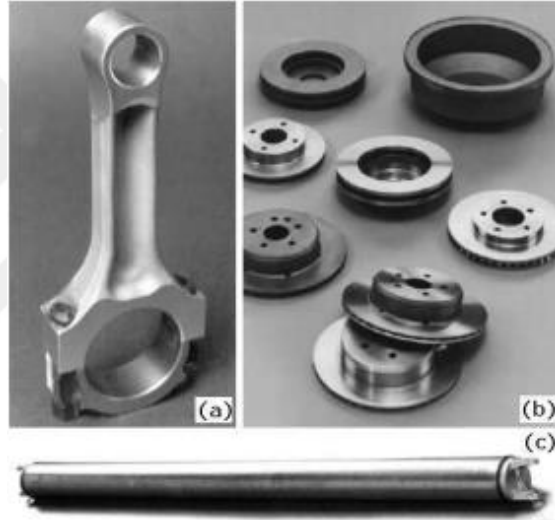
Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan metaller; alüminyum, titanyum, bakır ve magnezyumdur.



Şekil 1.3 SiC takviyeli bakır matrisli kompozitin kırılma yüzeyinin görüntüsü (O'Day, 2019)

Şekil 1.3'te görüldüğü üzere bakır, titanyum ve alüminyum çoğunlukla silisyum karbür ve bor karbür takviye edilir. 300-800°C sıcaklıklar arasında sorunsuz bir şekilde çalışır. Isı iletim kat sayısı yüksek olan bakır ve magnezyum için en çok kullanılan takviye malzemesi grafitir. Matrisi güçlendirmek için her ne kadar takviye elemanı konulsa da sonuç olarak metallerin yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmeye başlamasından dolayı çalışma sıcaklıkları göz önüne alınmalıdır.

Metal matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanı uzay ve havacılık sektöründe uçak iniş takımının yapı parçaları, haberleşme cihazının reflektör ve destek parçalarında ve platform taşıyıcı parçalarında kullanılırken otomotiv sektöründe de fren diskleri, motor parçaları, şaft ve mil gibi yapılarda da karşımıza çıkmaktadır. Metal malzemelere göre daha pahalı olan metal matrisli kompozit malzemeler; delici aletlerden spor malzemeleri gibi yüksek performans gerektiren birçok alanda kullanılmaktadır. Metaller gibi çok kullanılan bir malzeme olabilmesi için üretim maliyetlerinin azalması gerekir. Şekil 1.4'te piston kolu, fren parçaları ve kardan mili otomotiv sanayisinde kullanılan metal matrisli kompozit malzeme örnekleri olarak verilmiştir (Sönmez, 2009) (Kıyasöz, 2018).



Şekil 1.4 Piston kolu (a), fren parçaları (b), kardan mili(c) (Sönmez, 2009)

### 1.3.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler

Yüksek sıcaklıklar altında çalışabilen, metal ve ametal elementlerin birleştirilmesiyle ortaya çıkan inorganik seramiklerdir. Termal şok altında yapısı bozulan seramik matrisli malzemelerin tokluk değeri düşüktür. Kırılgan ve sert yapıda bulunan seramiğin yoğunluğu ve tokluğu düşüktür. Yüksek elastise modülüne sahiptir. Seramikler gevrek olduğu için darbelere karşı dayanımı düşüktür. İçyapıda bulunan en ufak çatlak veya çizik büyük sorunlara yol açar. (Bülbül, 2020) Bundan dolayı son yıllarda seramik matrisli kompozit malzemeler üzerinde yoğun bir çalışma yapılmaktadır. Seramikleri takviye elemanı ile güçlendirilmesi kullanım alanını yaygınlaştırılmasına neden olmuştur. Seramik matrisli kompozit malzemelerde de

sürekli ve süreksiz takviye elemanı olarak iki gruba ayrılır. Sürekli fiber kullanımında tokluk değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden sürekli fiber tercih edilmektedir. Sık kullanılan bazı seramik matrisli kompozitler aşağıda verilmiştir.

- Karbürler (Silisyum karbür)
- Nitrürler (Silisyum nitrür)
- Oksitler (Alümina mullit)
- Cam seramikler (Lityum alüminasilikat) (Sönmez, 2009)



Şekil 1.5 Seramik matrisli kompozitten üretilmiş otomotiv fren diski (URL-3, 2020)

Şekil 1.5’te görüldüğü gibi otomotiv fren disklerinin üretiminde kullanılmasının yanı sıra motor yalıtım parçalarında da seramik matrisli kompozit malzemeler karşımıza çıkmaktadır. Askeri zırhlarda ve yüksek korozyon direnci gereken yerlerde de kullanıma uygundur (Sönmez, 2009).

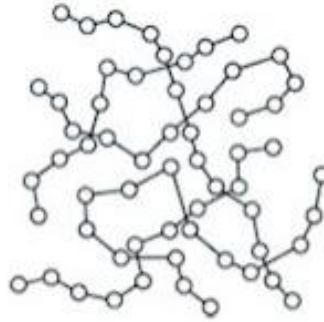
### 1.3.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler

Son yıllarda kullanımı en yaygın olan mühendislik malzemelerinden biri polimer matrisli kompozit malzemelerdir. Karbon, polietilen ve aramid gibi fiberlerin gelişimi sayesinde polimer matrisli kompozit malzemeler de gelişim göstermiştir. Kısacası PMK olarak adlandırılırlar. Mekanik özelliklerinde dolayı yapı malzemeleri olarak kullanımı uygun değildir. Polimerleri üretirken yüksek sıcaklığa ve basınca ihtiyaç duyulmaz. Kompleks parçaların üretimi kolaylıkla sağlanabilir. Düşük sıcaklık altında

şekillendirildiği için kimyasal yapı bozulmaz. Polimer matrisli kompozitlerin üretimini sağlamak için gerekli olan ekipmanlar basittir (URL-11, 2021). Polimerlerin ve polimer kompozit malzemelerin başlıca amacı çelik kadar sağlam, hafif, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve ekonomik olmalarıdır. Her istenilen özelliğin tek bir malzemede bulmak ender rastlanan bir durumdur. Kompozit malzemede fiber halde bulunan polimerler yük taşıyıcı özelliği sergilerken, matris olarak kullanıldığında esnek ve darbe emici bir özellik sergilemektedir. Polimerler iki başlık altında incelenebilir.

#### 1.3.1.3.1 Termoplastik polimerler

Bu plastik türü ısıtıldığında yumuşar şekil verilir ve daha sonra sertleşir. Bu işlem sonrasında mikro yapıda değişiklik gözlemlenmez. 5-50°C arasında verimli kullanılır. Bu grup içerisinde naylon, polietilen, polistren, karbonflörür, akrilikler, selülozikler ve viniller yer alır (Bulut, 2014).



Şekil 1.6 Termoplastik polimer zinciri (URL-6, 2022)

Termoplastiklerde çapraz bağ oluşumu yoktur. Polimer zinciri arası bağlar zayıftır ve oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Sıcaklık artışı ile viskozite düşer ve polimer yumuşamaya başlar. Ergime görülür. Termoplastikler soğuduklarında sertleşirler, ısıtıldıklarında kolay şekil alabilirler, tekrar tekrar ısıtılıp soğutulabilirler, kaynak yapılabilirler ve geri dönüşüm yapılabilen polimerlerdir. İçyapıyı oluşturan monomerlerin özelliklerine ve molekül ağırlığına göre mekanik özellikler değişir.

Yarı kristal veya amorf yapıda bulunan moleküller, yarı kristal yapıdayken yüksek düzen ve dizilim gösterirken amorf yapıdayken yoğun karışık yapıdadır. Amorf yapıda

bulunan malzemelerin ısıtılması ile yapı çözünür ve rijit katıdan viskoz bir sıvıya dönüşür. Yarı kristal yapı ısıtıldığında kristal faz erir ve viskoz bir sıvı haline gelir.

Tüm plastik malzemelerin tüketiminin %80'i termoplastiklerden oluşmaktadır. Tasarımcılar ürünün performansını arttırmak, üretim maliyetini düşürmek amacıyla kullanmaktadır. Termoset polimerlerde olduğu gibi sertleştirme işlemine gerek yoktur, soğumaya başladığında kendi sertliğini alır. Termoplastikler güçlü kimyasallara, petrol ürünlerine ve çevresel koşullara karşı dirençlidir. Termoplastik polimerlerin kompozit yapı halinde avantajları ve geri dönüşüm özelliğinden dolayı kullanım alanları gün geçtikçe genişlemektedir.

Avantajları ve dezavantajları;

- Isının etkisi ile yumuşayıp ergiyebilirler ve kaynak yapılabilir.
- Geri dönüşüm yapılabilir.
- İçyapıda moleküller arası çapraz bağ olmadığı için üretimde çevrim zamanları kısadır.
- Üretim sürecini takip etmek kolaydır.
- Üretim öncesi doğru bir şekilde kurutulduğu zaman herhangi bir gaz salınımı veya su buharı salınımı gözlenmez.

Günümüzde artan çevreyi koruma bilinci ve kaynakların bilinçli şekilde kullanılması dikkate alındığında geri dönüşüm özelliğinden dolayı termoset polimerlere kıyasla önü açık olan malzemelerdir. Dikkat edilmesi gereken bazı konular aşağıda verilmiştir:

- Termosetler sıvı halde iken elverişli değildir.
- Moleküller arası çapraz bağın olmamasından dolayı ısı karşısında dayanım düşmektedir.

- Sürünme özellikleri termosetlerde kötüdür.
- Ateş karşısında eriyip akma eğilimi vardır, termoset yapılar gibi dayanıklı değildir.

### **Sık Kullanılan Termoplastikler**

Polietilen: Düşük ergime sıcaklığına ve düşük yoğunluğa sahip olan polietilenin mekanik özellikleri sıcaklığa, kristallik derecesine ve yoğunluğuna göre değişmektedir. Polietilen neme karşı dirençli olmakla birlikte deformasyon direnci yüksek, kolay işlenebilir, yapı kimyasal olarak kararlıdır. Diğer bir avantajı ise maliyet açısından ucuzdur, fakat UV ışınlarına karşı dayanımı düşüktür, ısı ve çevresel etkilere olumsuz şekilde etkilenmesinden dolayı çatlama oluşur. Diğer bir dezavantajı zor yapılabilişirliğidir. Düşük yoğunluklu polietilen, oyuncakların ve ev eşyalarının hammaddesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen ise boru ve yapısal parçalarda kullanılmaktadır.

Polipropilen: Hafif bir polimerdir. 100°C'nin üzerinde yumuşama başlar. Polietilene göre fazla kimyasal aktiflik gösterir. Elektrik iletkenliği ıslak ortamlarda bile düşüktür. Oda sıcaklığında yüksek mekanik özellikler sergilerler. Ama UV ışınlarına karşı dayanımı düşüktür ve düşük sıcaklıklarda çatlama görülür. Otomotiv sektöründe, beyaz eşyalarda ve borularda kullanılmaktadır.

Polivinilklorür (PVC): Ucuz olmasından dolayı sık kullanılan polimerler arasındadır. İşlemesi kolaydır. PVC ergiyik durumdayken viskozitesi yüksektir. PVC sert ve gevrek bir malzemedir. Kolay renklendirme, iyi titreşim sönümleme, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal direnç, yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı sık kullanılmaktadır. Fakat insan sağlığı açısından olumsuz etkilerinin olması, PVC kullanımını gün geçtikçe azalmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda oyuncak ve gıda sektöründe paketlenme olarak kullanılsa da günümüzde kablo, tel yalıtımı, kalıplarda ve döşemelerde kullanılmaktadır.

Akrilikler: Diğer adıyla polimetilmetakrilat (PMMA) olarak bilinmektedir. Lineer yapıda olan bir polimerdir. Boyutsal kararlılık sağlar. Nem alma potansiyeli düşüktür. Rijit polimerdir. En önemli özelliği ise saydam olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı cam

ile yarışmaktadır. Fakat çizilmeye karşı dirençleri cam gibi yüksek değildir. Diğer bir dezavantajı darbe dayanımının düşük olmasıdır. Kullanım alanları; uçakların camlarında, tıbbi malzemelerde, otomotiv farlarında, elektrik-elektronik cihazlarda ve optik alanlarda kullanılmaktadır (Sönmez, 2009).

Poliamid: Diğer bir adı naylondur. Bu polimer grubunun en sık kullanılan ve bilinen naylon 6 ve naylon 6.6 ikilisidir. Moleküller arası bağlardan kaynaklanan bir fark oluşmaktadır. Sürtünme katsayıları az, yüksek mekanik özellikler sergilerler fakat çok pahalı polimerlerdir. Kendi kendini yağlama özelliği sergileyen bir polimerdir. Bu özelliğinden dolayı naylonlar, yağlanmaya gerek kalmadan hareketli parçalarda kullanılır. Özellikle dişli parçalarında tercih edilmektedir. Başlıca dezavantajları; nemi içerisine çekme ve boyutsal çekme değerlerinin yüksek olmasıdır. Eğlence sektöründe kullanım alanı gittikçe artmaktadır.

Poliamid ailesinin önemli diğer üyesi aramiddir. Kompozit yapılar için önemli rol oynar. Diğer adıyla kevlar, çelik ile aynı dayanım özelliklerini sergiler ve yoğunluğu %20 daha azdır. Zırh yapımında ve yüksek performans sergileyen parçalarda karşımıza çıkmaktadır (Sönmez, 2009) (Ramesh, 2015).

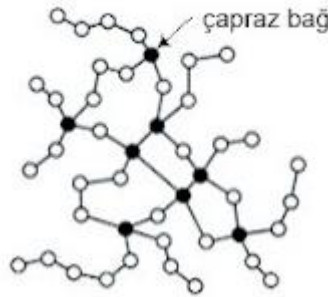
Günümüzde polimerik kompozitlerin %65'ini termosetler oluştururken %35'ini termoplastiklerden oluşmaktadır. Termoset ve termoplastik malzemelerin matris olarak kullanıldığında bazı avantaj ve dezavantajları olmaktadır. Bunlar Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Termoset ve termoplastik matris malzemesinin bazı avantajları ve dezavantajları (Sönmez, 2009)

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

#### 1.3.1.3.2 Termoset polimerler

Bu plastik türü ısıtıldığı zaman mikro yapıdaki değişimlerden dolayı ısıtılıp soğutulduğunda eski yapısını dönüş yapılamaz. Bu grubun içerisinde polyesterler, epoksiler, alalitler ve aminler yer alır (Bulut, 2014).



Şekil 1.7 Termoset plastik polimer zinciri (URL-6, 2022)

Termoset polimerler; katı hale gelmeden önce bağımsız moleküller içerir. Sertleşme gerçekleşikten sonra kimyasal reaksiyonlar sonucunda Şekil 1.7’de de görüldüğü üzere çapraz bağların olduğu 3 boyutlu ağ yapısı oluşur. Mekanik ve fiziksel özellikleri 3 boyutlu ağ yapısına, moleküllerin özelliklerine ve moleküllerin arasındaki bağlara bağlıdır. Çapraz bağlanma süreci kontrol edilebilir. Termosetler, termoplastiklere göre daha gevrekler ve mukavemeti daha yüksektir.

Polimerizasyonun oda sıcaklığında gerçekleştiği polimerler termoset polimer olarak bilinmektedir. Önceden planlanmış polimerizasyon programı ile optimum çapraz bağlar oluşturularak istenilen yapı elde edilebilir. Polimerizasyon sonrasında istenmeyen polimerizasyon olmaması için son işlem yapılır.

İlk polimer matrisli kompozitler termoset polimerlerdir. Matris olarak kullanılan termoset polimerler, polimerizasyon sırasında meydana gelen iç gerilmelere dikkat edilmelidir. İy yapı hassasiyetleri, yüksek performans istenen parçalarda hatalara neden olabilir.

Avantajları ve dezavantajları;

- Termosetler yapılar ısıtıldıkları zaman sıvı hale geçmezler ve bozunurlar. Ateş ve ısı karşısında bozunmadıkları için yapıyı koruyucu özellik sergilerler ve bu özellikleri tercih edilme nedenidir.
- 3 boyutlu yapı ve çapraz bağlardan dolayı ısı karşısında termosetlere göre kararlıdır.
- Zincirler arasındaki bağlardan dolayı moleküller yer değiştiremez. Bundan dolayı sürünme özellikleri iyidir.
- Termoplastiklere göre yüksek dayanım sergilerler.

Termoset polimer malzemelerin geniş kullanım alanına sahip olmasına rağmen aşağıdaki maddelerden dolayı dezavantajlı konuma düşmektedir.

- Tek yönlü, tersinir olmayan sertleşme reaksiyonları tekrar kullanılmaması
- Çapraz bağların oluşması için uzun süren kimyasal reaksiyonlar ve ek maliyetli ısıtma işlemi
- Üretim prosesinin kontrolünün zor olması
- Bazı polimerlerin üretimi sırasında gaz, sıvı çıkması

- Termosetler erimediği için kaynak yapılamaması

### **Sık Kullanılan Termosetler**

Epoksi: Metal veya metal olmayan yüzeylere iyi yapışması, iyi mekanik ve elektrik özelliği, ısı ve kimyasallara karşı dirençli olması ile karakterize edilirler. Düşük polimerizasyon derecesine sahip olan epoksilerde dayanım özellikleri düşüktür ve kimyasallara karşı dirençsizdir. Spesifik performans istendiği zaman formüle edilebilirler. Yüksek performanslı ürünler elde edilebilir. İstenilen ürün özellikleri, yüksek korozyon dayanımı, iyi elektriksel direnç, yüksek mekanik özellikler epoksi reçine ile sağlanabilir. Spor ekipmanlarında, elektrik ve elektronik gibi sadece performansın önemli olduğu uygulamalarda maliyet faktörü göz ardı edilir (Sönmez, 2009).

Polyester: Yaygın olarak kullanılan polimer matris malzemesi olarak karşımıza çıkar. Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta çalışabilecek şekilde farklı çeşitleri vardır. Farklı uygulama alanları için farklı polyester çeşitleri vardır. Örneğin; alev geciktirici, düşük çekmeli, genel amaçlı... vb. Hangi özellikler isteniyorsa ona göre polyester reçine formüle edilebilirler. Polimer zinciri oluşumunda modifiye edilebilmeleri ve çok yönlü olmalarından dolayı kullanım alanı sınırsızdır.

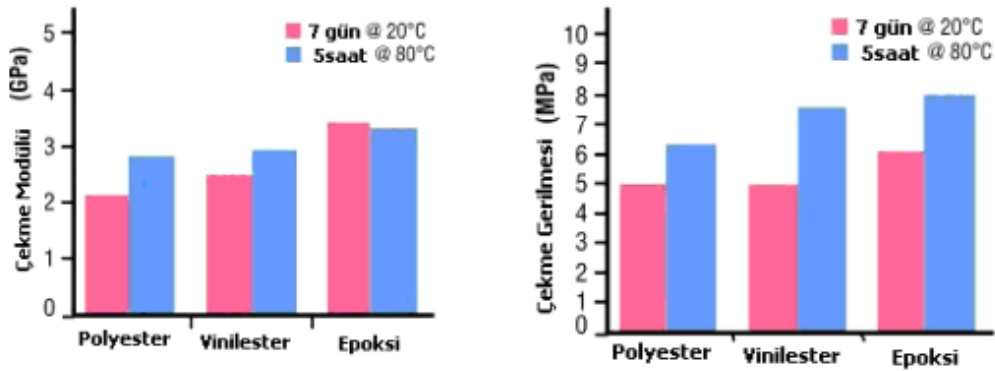
Epoksilere göre daha ucuzdur. Fakat düşük yapışma oranı, nemli ortamlardaki elektrik iletkenliğinin değişmesi, termal şok ve işleme sırasında çatlaması, polimerizasyon çekmesi epoksiye göre zayıf yönleri olarak bilinir. Polyesterlerle farklı fiziksel özelliklerde polyester reçineler elde etmek mümkündür. Polyesterler ile elde edilen ürün yelpazesi çok geniştir. Otomotiv sektöründe, gemi iskeletlerinde, borularda ve büyük tanklarda karşımıza çıkmaktadır.

Fenolikler: Boyutsal kararlılığı ve kimyasal direnci yüksektir. Polimerin bu türü sert ve gevrekli. Piyasada bilinen adı ile bakalit, kalıplama yüksek performans sergiler. Fenolik kompozitlerde güneş ışını rengini ve oksijen rengini soldurduğundan dolayı renklendirmede kısıtlı alana sahiptir. Yüksek sıcaklık dayanımı, boyutsal kararlılık, korozyon direnci, ses yalıtkanlığı, zehirsiz duman ve alev karşı direnci fenoliklerin avantajlarındandır. Fren ve debriyaj balatalarında, havacılıkta ve yalıtım malzemesi

olarak kullanılmaktadır. Farklı takviye elemanları kullanılarak kompozit yapıda kullanılır (Sönmez, 2009).

Vinilester: Epoksilerin ve doymamış reçinelerin kolay işleme-kolay sertleşme gibi özelliklerinden yararlanmak için vinilesterler geliştirilmiştir. Epoksi ve akriliğin reaksiyona girmesi sonucunda elde edilir. Maleik anhidrit kullanılırsa polyester reçinedeki gibi doymamış uç meydana gelir. Vinilesterler, yüksek mekanik dayanım, yüksek korozyon direnci sağlamaktadır. Epoksi reçine kullanımındaki gibi kompleks işlemler gerektirmeden kompozit yapı elde edilir (CTP Teknolojisi).

Yaygın olarak kullanılan polimerler; vinilesterler, epoksi ve polyesterlerdir. Bunların mekanik dayanım grafiği Şekil 1.8’de verilmiştir.

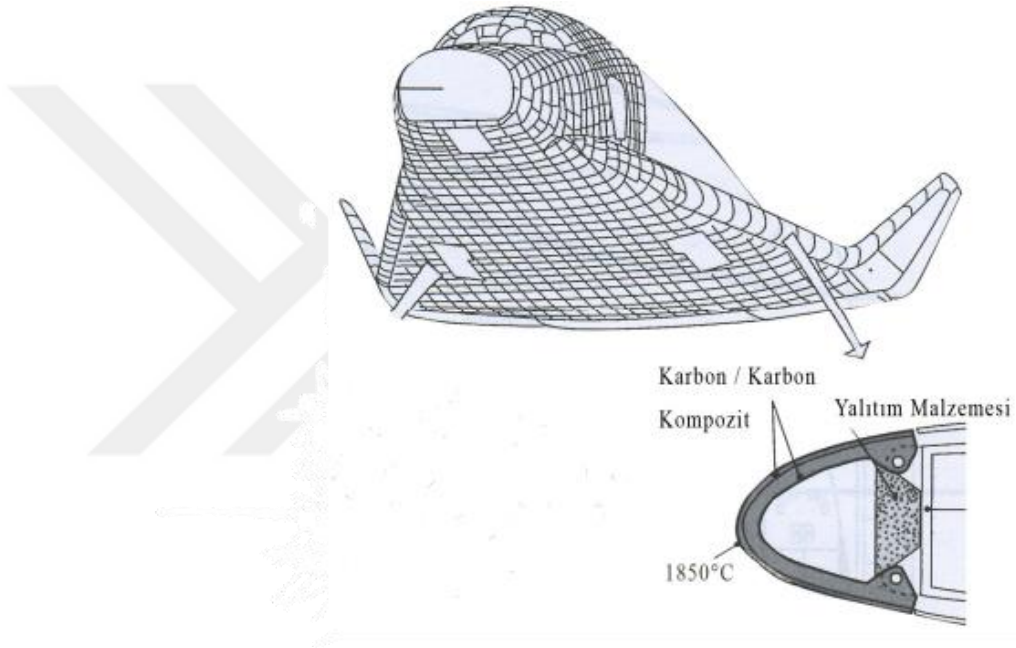


Şekil 1.8 Sık kullanılan matris malzemelerinin çekme modülü ve çekme gerilmesi (Işık, 2008)

#### 1.3.1.4 Karbon-karbon kompozit malzemeler

Adından da anlaşılacağı üzere takviye elemanı ve matris malzemesi karbon olan kompozit türüdür. Monolitik grafitin yapısı kırılgan olduğu için tek başına mukavemeti düşüktür. Büyük ve kompleks şekillerde üretimi zordur. Sıcak şekil verme yöntemi ile yüzey işleme ve uygulanan kuvvet ile ilgili yaşanan sorunlar ortadan kalkmıştır. Termal özellikleri iyidir. Bu kompozit türü yeni ve pahalıdır. Kullanım alanları dardır. Gerilme modülü ve gerilme mukavemeti yüksek olduğundan dolayı 2000°C gibi yüksek sıcaklıklar altında çalışabilir.

Düşük yoğunluklu, kayma ve gerilme kuvvetlerine karşı dirençli, yüksek kırılma mukavemeti, yüksek termal iletkenlik ve düşük termal genleşme katsayısı özellikleri ile üstün bir kompozittir. Karbon-karbon kompozitlerin en önemli dezavantajı oksitlenmeleridir. Kaplama veya kimyasal olarak modifiye edilmediği zaman 400-500°C'de bile kompozit yapıda bozulmalar görülür. Pahalı bir kompozit türü olmasının nedeni ise kaplama ve kompleks üretim yöntemleridir. Roket motorları, türbin motor elemanlarında, sıcak pres yapılan kalıplarda ve türbin motorlarında karşımıza çıkmaktadır (Beşergil, 2018).



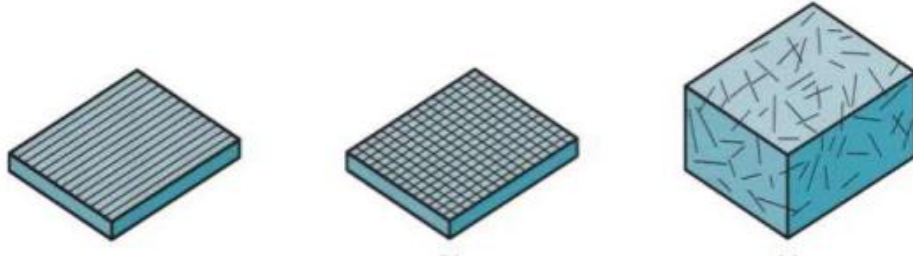
Şekil 1.9 Uzay mekiğinde kullanılan seramik matrisli kompozit malzeme örneği (Sönmez, 2009)

#### 1.3.1.5 Nano kompozit malzemeler

Boyutu 100 nm'den küçük olan tanecikler ile oluşturulan kompozit türüne nanokompozit denir. Nano malzemenin boyutu küçüldüğünde yüzey alanı artar. Nano boyutta olan malzemelerin, makro boyutta olan malzemelere göre aynı hacimde olmalarına rağmen toplam yüzey alanında artış gözlemlenmiştir. Nano malzemelerin yüzey alanlarının artması ile birbirleri ile etkileşimleri değişir.

Lif takviyeli, tabaka ve tanecikli olarak çok fazlı üretilirler. Nanokompozitlerin yüksek alan/hacim oranlarından kaynaklanan malzemelerin temasları halinde ara





Şekil 1.11 Elyaf türleri

### 1.3.2.2 Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde takviye elemanının boyutu, özellikleri kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar genellikle mukavemeti arttırmak için ilave edilir fakat dayanım noktasında çok bir etkiye sahip değildir. Çoğunlukla parçacık ilavesi fiziksel ve mekanik özelliklerin artırılması için kullanılsa da birkaç durum da maliyetin azaltılması yönünde kullanılır (Ünal, 2015).

Parçacık takviyeli kompozitlerde mekanik özelliklerin iyileşmesi parçacık ile matrisin arasında oluşan bağın kuvvetine bağlıdır. Takviye elemanları kübik, tek tip, küresel veya farklı tip geometriye sahip parçacıklardan oluşur. Kompozitin içerisinde rastgele veya yönlendirilmiş şekilde bulunabilir. Matrisin içerisine ilave edilmiş parçacık belirli bir yönlendirme ile belirli bir yönde zorlamalara karşı direnç göstermesi mümkündür (URL-2, 2020).

### 1.3.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozitler, en eski ve en sık kullanılan bir kompozit türüdür. Mühendislik malzemesi olarak birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Farklı özelliklere sahip olan, en az iki tabakanın birleştirilmesiyle tabakalı kompozit oluşur. Elyaf yönelmesi farklı olan iki aynı tabakanın birleştirilmesi ile de tabakalı kompozit oluşturulabilir.

Neme ve ısıya karşı dayanıklıdır. Kullanım esnasında darbelere maruz kaldığında, hasar bakım sırasında ortaya çıkar. Bazı metalik malzemelere göre tabakalı kompozitler darbeye karşı hassas olabilir.

Tabakaların özelliklerine bağlı olarak yüksek mekanik özelliklere sahip olan kompozit malzemeler üretilir. Korozyon direnci düşük olan metallerin yüzeyini yüksek dirence sahip olan plastikler ile kaplanması örnek olarak verilebilir (Kıyasöz, 2018).

#### **1.3.2.4 Karma (Hibrit) kompozit malzemeler**

Tabakalı kompozitler, en eski ve en sık kullanılan bir kompozit türüdür. Mühendislik malzemesi olarak birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Farklı özelliklere sahip olan, en az iki tabakanın birleştirilmesiyle tabakalı kompozit oluşur. Elyaf yönelmesi farklı olan iki aynı tabakanın birleştirilmesi ile de tabakalı kompozit oluşturulabilir.

Neme ve ısıya karşı dayanıklıdır. Kullanım esnasında darbelere maruz kaldığında, oluşan hasar yapılan bakım sırasında ortaya çıkar. Bazı metalik malzemelere göre tabakalı kompozitler darbeye karşı hassas olabilir.

Tabakaların özelliklerine bağlı olarak yüksek mekanik özelliklere sahip olan kompozit malzemeler üretilir. Korozyon direnci düşük olan metallerin yüzeyini yüksek dirence sahip olan plastikler ile kaplanması örnek olarak verilebilir (Kıyasöz, 2018) (Şanlıtürk, 2020).

### **1.4 Elyaf Çeşitleri**

#### **1.4.1 Cam Elyafı (Fiber Glass)**

Elyaf takviyeli kompozitlerde en çok kullanılan takviye elemanı cam elyafıdır. Ergiyik halde bulunan camın çekilmesiyle cam elyafı elde edilir. Ucuzdur ve plastik malzemelerle sık kullanılan takviye elemanıdır.

1930'lu yıllarda cam elyafı İngiltere'de ticari anlamda kullanılmaya başlanmış ve 1950 yılından itibaren plastiklerde takviye elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Düşük maliyet, yüksek kimyasal direnç, yüksek mukavemet ve iyi yalıtım en önemli avantajlarıdır. Düşük elastik modülü, yüksek özgül ağırlık, düşük yorulma dayanımı ve polimerlerle zayıf etkileşimi dezavantajlarının başında gelir.

Cam elyafını çoğunlukla SiO<sub>2</sub> oluştursa da sodyum, kalsiyum, bor, alüminyum ve demir gibi elementlerin oksitlerini içerebilir.

Cam elyafının birim başına düşen dayanım ve çekme dayanımı çeliğe göre daha fazladır. Fakat ısı dayanımı çelikten düşüktür. Kimyasallara karşı dayanımı yüksektir. Kompozitler içerisinde nem almaz ama cam elyaf ile matris arasında nem ile birlikte çözümler meydana gelebilir. Özel kaplamalar ile bu sorunu ortadan kaldırmak mümkündür.

Yanıcı özelliği yoktur ama sıcaklık karşısında yumuşamaya başlarlar. Çok iyi bir elektrik yalıtkanı olduğu için özel durumlarda kullanılabilir.

Cam elyafının üretiminde silis kumuna farklı katkı malzemeleri eklenebilir. Katkı malzemelerinden dolayı farklı özellikler sergileyebilirler. Farklı cam elyaf türleri vardır.

A (Alkali) Camı: Yüksek miktarda alkali içeren bir cam türüdür. Elektrik yalıtkanlığı düşüktür. En sık kullanılan cam türüdür.

C (Korozyon) Camı: Düşük oranlarda bulunan alkaliden dolayı elektrik yalıtkanlığı çok iyidir. Mukavemeti yüksektir. Suyu karşı direnci yüksektir. Nemli ortamlarda E-Camı kullanılır. Sık tercih edilenlerin arasında yer almasının nedeni yüksek çekme dayanımı, ısı, ateş, kimyasal ve nem direncinin yüksek olmasından kaynaklanır. Düşük termal genleşme katsayısına sahiptir. Endüstride ekonomik cam olarak da bilinir.

S (Mukavemet) Camı: Mukavemeti yüksek camdır. Islak halde yüksek dayanım sergilerler. Filament halindeyken bile mukavemeti yüksektir. Mekanik özellikleri iyidir. Pahalıdır (Demirel, 2007) (Gülmez, 2018) (Yalçın, 2012).

Tablo 1.2 Cam türlerinin bazı özellikleri (Demirel, 2007)

| ÖZELLİKLER                                     | CAM TÜRLERİ           |        |        |                       |                      |                      |        |
|------------------------------------------------|-----------------------|--------|--------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------|
|                                                | E-Camı                | A-Camı | M-Camı | S-Camı                | C-Camı               | D-Camı               | R-Camı |
| Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )            | 2,54                  | 2,45   | 2,89   | 2,49                  | 2,45                 | 2,16                 | 2,58   |
| Çekme dayanımı (MPa)                           | 3600                  | 3100   | 3500   | 4500                  | 3400                 | 2450                 | 4400   |
| Kopma uzama oranı (%)                          | 4,8                   | -      | -      | 5,4                   | 4,8                  | -                    | -      |
| Çekme E-Modülü (GPa)                           | 76                    | 72     | 111,3  | 86                    | 70                   | 53                   | 85     |
| Kırılma indisi                                 | 1,548                 | 1,512  | 1,635  | 1,523                 | -                    | 1,47                 | -      |
| Isıl genleşme katsayısı (cm/cmK <sup>°</sup> ) | 1,6x10 <sup>-6</sup>  | -      | -      | 1,7x10 <sup>-6</sup>  | 2,2x10 <sup>-6</sup> | 3,1x10 <sup>-6</sup> | -      |
| Lif çapı (mm)                                  | 3-20x10 <sup>-3</sup> | -      | -      | 3-13x10 <sup>-3</sup> | -                    | -                    | -      |
| Yumuşama noktası (C <sup>°</sup> )             | 850                   | 700    | -      | -                     | 660                  | 770                  | 990    |
| Dielektrik sabiti                              | 6,33                  | -      | -      | 5,34                  | -                    | 5,8                  | -      |

#### 1.4.1.1 Cam elyafı üretim yöntemi

Cam elyafının üretilmesini beş başlık altında inceleyebiliriz.

1. Harmanlama
2. Camın ergitilmesi
3. Elyaf çekilmesi
4. Bağlayıcı uygulaması

#### 1.4.1.1.1 Harmanlama

Cam elyafın üretimi için ilk adım hammadde teminidir. Hammadde temin edildikten sonra homojen bir şekilde karışımı yapılmalıdır.

Kil, kum, kaolen, fluspat, dolomit ve kireç cam elyafının ana malzemeleridir. Çeşitli cam elyaflarını üretmek için sadece oranlar ve katkı maddeleri değişir.

Harmanlama makinelerine veri girişi ile ihtiyaç duyulan kadar malzemelerin tartılıp mikserle geçişi ile karıştırılma işlemi başlar.

Eski zamanlarda harmanlama işlemi insan gücüyle yapılırdı. Fakat günümüz teknolojisi ile makinelerle gerçekleştirilir. Mikserlerde 6 farklı bölgede 3 dakika türbülans oluşturarak harmanlama işlemi yapılır. İyi öğütülmüş ve harmanlanmış tozlarda segregasyon oluşumu engellenir.

Mikserlerde harmanlanmış olan hammadde basınç yardımı ile şarjörlere gönderilir. Her fırında 4 adet şarjör vardır. Şarjörlerin kenarında bulunan motorun görevi hammaddenin borularda tıkanmamasını ve fırına kolayca ulaşabilmesini sağlamaktadır. Motorlar sürekli bir titreşim halindedir. Bu titreşim hareketi sağlar. Fırındaki sıvı cam miktarının azalışı ile şarjörlerden otomatik olarak fırına hammadde temini yapar. Burada akış sürekli ve cam seviyesinin ölçümü yapılır. Kontrollü bir üretim sağlanır. Sırasıyla kemer bölgesi, fırının iç kısmı ve kanalları takip ederek eriyik camın akışı sağlanır.

Harmanlama işleminde en büyük hata verilen oranların yanlış olması ve tane boyutlarının birbirinden farklı olmasından kaynaklanır. İki tozdan biri çok büyük olursa harmanlama işlemi esnasında hava verildiği zaman tozlar birbiriyle karışmak yerine büyük taneli olan dibe çökebilir. Küçük bir hata camın özelliklerinin değişmesine neden olur. Fırınlarda 24 saat çalıştıkları için yanlış oranlarda üretilmiş olan camı temizlemek zordur ve birkaç gün üretimi durdurmak zorunda kalınabilir. Sorunsuz bir üretim için verilen oranlarda hammadde kullanılmalı, hammadde tane boyutları iyi incelenmeli ve kullanılan hammadde değiştirilmemelidir.

#### **1.4.1.1.2 Camın ergitilmesi**

İzlenecek 3 temel adım vardır.

Birinci adım; hammaddeyi sıvı faza geçirip camsı yapı elde etmektir.

İkinci adım; ergitme işlemi yapılırken sıcak üfleme yapılır. Sebebi ise CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi gazların uçurularak saflaştırma işlemidir. Eğer bu gazların sıvı camın içerisinde çıkarılması çekilen elyafın içerisinde hava boşlukları oluşumu görülür.

Üçüncü adım; homojenizasyondur. Homojenizasyon ile cama bir form verilir.

Harmanlama işlemi yapılırken hammadde şarjörlerden geçerek 1600°C'deki fırına iletilir. Fırının ısıtılmasında doğalgaz veya elektrik kullanılabilir.

#### **1.4.1.1.3 Elyaf çekilmesi**

Fırınlardan 4 kanalı vardır ve her kanal 14 kovandan oluşmaktadır. 56 kovandan elyaf çekilir.

Elyaf çapı 5-20 mm arasında çekebilmek için kovanlarda 300-4800 delik vardır. Delik çapı 1.0-1.4 mm arasında değişmektedir. Delikler küçüldükçe yüzey gerilimi azalır ve ince elyaf çekmek o kadar kolay olur.

Kovanlardan geçen sıvı camın belirli bir viskozitesi olmalıdır. Yoksa elyaf çekme işlemi gerçekleştirilemez. Fırının içerisindeki sıvı cam miktarı, elyaf sarma hızı, deliklerin çapı, sıcaklık ve hammaddenin akışkanlığı önem arz eder.

Sarılma işleminde istenilen elyafın elde edilmesi için deliklerde tıkanıklık olmaması gerekir. Kovanları ısıtarak tıkanıklık ortadan kaldırılır.

Kovan plakalarının altından soğutma işlemi yapılır. Deliklerden çıkan sıvı cam hava veya su ile soğutulur.

Elyaf çapının azaltılması isteniyorsa sarma hızı arttırılır, ergiyik camın yüksekliği azaltılır, delik boyutu ktlr, sıcaklık düşürülür veya cam hammadde oranları değiştirilir.

#### **1.4.1.1.4 Bağlayıcı uygulanması**

Su ile soğutma işleminin amacı; bağlayıcının elyafa iyi tutunması ve elyafın bağlayıcıyı emmesini sağlamaktır.

Bağlayıcı elyafın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Elyafın yüksek performans sergileyebilmesi için elyafın ve bağlayıcının birbirleriyle uyumlu olmalıdır.

Kovan deliğinden çıkan elyaf soğutma işleminden sonra el ile tutulabilir. Elyaf bağlayıcı uygulaması ise dönen merdaneleri bağlayıcı ile temas ettirildikten sonra arasından elyafın geçirme işlemidir.

Elyaf nihai ürüne göre farklı şekillerde sarılır. ekilmiş olan elyafın tümünün yapısı aynıdır, farklı bağlayıcılar ile ürün çeşitliliği oluşur.

Sarma işlemi bittikten sonra ürünün kurutulması gerekir. Fırınlarda buharlaştırarak fazla su elyaftan uzaklaştırılır.

#### **1.4.2 Karbon Elyafı**

Yüzde 90 oranında karbon içeren elyaflara karbon elyafı denir. Karbon iyi bir iletken olduğundan dolayı Edison ampullerin üretiminde kullanılan karbon filamentlerin 1879 yılından günümüze kadar sentezlenip karbon elyaf üretilmiştir. Metal malzemelere göre sertliği düşüktür. Epoksi ile karbon elyafı birleştirildiği zaman yüksek dayanıklılık ve sertlik sergiler. Karbon elyafı pahalıdır ve yüksek değerli malzemelerde kullanılır.

Tablo 1.3 Bazı karbon elyafların değerleri

| Ürün Kodu   | Çekme Dayanımı<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Elastiklik Modülü<br>(GPa) | Yoğunluk<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| T300 3K     | 3650                                   | 231                        | 1,76                              |
| T650/35 3K  | 4550                                   | 241                        | 1,77                              |
| Thornel P25 | 1400                                   | 160                        | 1,90                              |
| Thornel P75 | 930                                    | 320                        | 1,70                              |

Piyasada 2 çeşit karbon elyafı bulunmaktadır.

1.Sürekli Elyaf: Dokuma, tel bobin ve örgü uygulamalarında kullanılırken ayrıca tek yönlü bantlar ve prepreg kompozitlerde karşımıza çıkar. Bütün reçineler ile kombinasyon yapılabilir.

2.Kırpılmış Elyaf: Enjeksiyon ile kalıplama ve basınç ile kalıplama yöntemleri kullanılacaksa kırpılmış elyaflar kullanılır. Makine parçaları ve valf üretiminde karşımıza çıkar. Yüksek korozyon direnci ve yüksek yorulma direnci göstermesinin yanı sıra sağlam ve serttirler (Çaylak, 2020) (Gülcan, 2019).

#### 1.4.2.1 Karbon elyafının üretilmesi

Karbon elyafın üretimi 4 ana başlıkta incelenir. Bunları sırasıyla oksidasyon, karbonizasyon, yüzey iyileştirme ve kaplama işlemleridir.

##### 1.4.2.1.1 Oksidasyon

Karbonizasyon işleminden önce atomik bağların termal kararlılıkta olması için sıcaklık verilir. 30-120 dakika boyunca hava ortamında 200-300°C’de lifler ısıtılır (URL-4, 2020). Bu işlem ile lifte bulunan hidrojenin ayrılması istenir. Karbonizasyon işleminden önce elyaflar kesilir ve grafit teknelerine koyulur. Merdiven yapıda bulunan liflerin kararlı bir yapı olan halka yapıya dönüşmesi sağlanır. Elyafın rengi önce beyazdan kahverengiye daha sonra siyaha döner (URL-1, 2020)

#### **1.4.2.1.2 Karbonizasyon**

Lif stabil hale geldikten sonra 1000-3000°C’de bulunan fırının içerisinde oksijensiz bir karışım ile birkaç dakika boyunca lifler ısıtılır. Liflerin çok yüksek sıcaklıklarda yanmamasının neden ortamda oksijenin bulunmamasından kaynaklıdır. Fırının içerisindeki gaz basıncı yüksektir ve fırının giriş-çıkışlarında oksijenin girmemesi için kapatılır. Isıtma işlemi başladığında su buharı, karbon monoksit, karbon dioksit, azot, hidrojen ve birçok karbon olmayan atomlar kontrollü ortama salınır. Karbon olmayan atomlar liften uzaklaştırılırken karbon atomları, karbon kristallerini oluşturur (URL-4, 2020). Uygulama sıcaklığına göre elyafın sınıfı belirlenir (URL-1, 2020).

#### **1.4.2.1.3 Yüzey iyileştirme**

Karbonizasyon işleminden sonra elyaf ve epoksi arasındaki ara yüzeyin kalitesi düşüktür. Elyafın iyi yapışması istenmesinden dolayı yüzeyler hafifçe oksitlenir. Yüzeyin oksitlenmesiyle birlikte iyi kimyasal özellikler görülür. Yüzeyin oksitlenmesi yüzeyi aşındırır ve pürüzlendirir. Bundan dolayı mekanik bağlanma özelliği iyileşir. Oksidasyon işlemi için, nitrik asit, sodyum hipoklorit gibi sıvılara veya hava, karbon dioksit gibi gazlara daldırılarak yapılır. Elektrik iletkenliği özelliği kazandırmak için banyo yaptırılarak üzerine elektrolit kaplama yapılır (URL-4, 2020).

#### **1.4.2.1.4 Kaplama**

Kaplama işlemi kompozitlerin dokuma, sarım gibi oluşabilecek hasarlardan korumak için yapılan bir işlemdir. Kompozit malzeme ile uyumlu olacak şekilde seçim yapılır. Sık kullanılan kaplama malzemesi epoksi, naylon, polyester gibi ürünlerdir. Kaplanan fiber bobine sarılır (URL-4, 2020).

#### **1.4.3 Bor Elyafı**

Bor elyafı kendi içerisinde bir kompozittir. Bor elyafı, filamaların üzerine bor kaplanarak imal edilen bir elyafır. Filamalar çekirdek olarak adlandırılır. Çekirdek çoğunlukla tungstenden oluşmaktadır. Yeni uygulamalarda karımıza karbon çekirdek çıkmaktadır (Vatangül, 2008).

Bor lifleri cam liflerine oranla 6 kat daha fazla elastiklik modülüne, yoğunluğa ve mukavemete sahiptir. Bu sebeple hava araçları ve yüksek performans sergileyen yerlerde kullanılır. Yüksek mukavemet/yoğunluğa sahip olan bor lifleri hava araçlarında uçak, helikopter ve füze gibi uygulamalarda tercih edilir. Düşük elastiklik modülü nedeniyle kullanıldığı alanlar sınırlı iken 1958 yılında ABD’de buhar çöktürme yöntemi kullanılarak bor filamentü üretimi gerçekleştirilmiştir (Mısıtık, 2009).

#### **1.4.3.1 Bor elyafının üretilmesi**

Bor lifi üretilirken, karbon lifi ya da tungstenin üzerine kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle cam tüpler içerisinde üretimi yapılır. 100-140 µm çapında üretilir. Polimerlerle uyumlu olan bor lifi metallerle reaksiyona girer. Bor lifi eğer metal matrisli kompozitler içinse B<sub>4</sub>C ile kaplanırlar. Sıcaklığın artışı ile çekme dayanımı ve modülü azalır. Bor lifi prepreg (önceden reçine emdirilmiş elyaf) olarak satışa sunulur. Çekirdek 1.25 µm çapındadır. Dikey konumdaki çekirdek cam reaktörden belirli bir hızla geçmektedir. Lifi her iki ucunda elektrik teması bulunan civa havuzu vardır. Reaktörün iki ucunda elektrik vardır. Tungsten kor haline gelir. 1300°C’de tungsten telin üzerine çöktürme işlemi uygulanır. İşlem sonuna doğru telin ağırlığı artar. Reaktör içerisindeki çekirdeğin kalma süresine bağlı olarak çekirdek kalınlığı değişmektedir. Bundan dolayı reaktörün hızı kontrol altındadır (Mısıtık, 2009).

#### **1.4.4 Kevlar (Aramid) Elyafı**

Aramid, ‘aromatik poliamid’in kısaltılmış halidir (Türk, 2019). Karbon, oksijen ve azottan oluşan aramid elyafı hoş kokuludur. Sentetik bir elyaf olan aramid, yüksek performans sergiler. Başlıca avantajları; kolay ısıtılabilir, yüksek darbe dayanımı, yüksek mukavemet ve bütün reçinelere uygun olabilmesi sıralanabilir. Yaygın olarak kullanılan bir elyaf çeşitidir.

Sarı renkli, düşük yoğunluklu olan aramid elyafının dayanıklılığı yüksektir. Ultraviyole ışınına maruz kaldığında özelliklerini kaybetmesinden dolayı karanlık ortamda muhafaza edilmelidir (Bıyıklıoğlu, 2019).

Patenti 1965 yılında DuPont firması tarafından alınmış olan kevlar fiber ticari bir marka haline gelmiştir (URL-5, 2021).

Tablo 1.4 Bazı kevlar elyafının özellikleri

|            | Çekme Mukavemeti<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Elastik Modülü<br>(GPa) | Uzama<br>% | Yoğunluk<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------------------------------|-------------------------|------------|----------------------------------|
| Kevlar 29  | 2920                                     | 70                      | 3,6        | 1,44                             |
| Kevlar 49  | 3000                                     | 112                     | 2,4        | 1,44                             |
| Kevlar 149 | 3450                                     | 179                     | 2          | 1,47                             |

6 çeşit aramid elyaf bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla;

- Kevlar 29: Zırh malzemelerinde, halatlarda ve kablolarda karşımıza çıkmaktadır. Kevlar 29'un özellikleri; yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve yüksek kopma uzamasıdır.
- Kevlar 49: Otomotiv sanayisinde ve denizcilikte karşımıza çıkmaktadır. Yoğunluk değerli Kevlar 29 ile benzerlik gösterse de kopma uzaması değeri düşüktür ve mukavemeti yüksektir.
- Kevlar 100: Kevlar 29 ve Kevlar 49 ile aynı malzemedir. Fakat tek farkı renklendirilmiş olmasıdır.
- Kevlar 119: Otomotiv sektöründe kemer, hortum ve iç aksam kauçuklarında karşımıza çıkmaktadır. Yüksek uzama, yüksek esneklik ve yüksek yorulma direnci istenilen durumlarda tercih edilir.
- Kevlar 129: Basınç altındaki dayanımı, yüksek direnci ve hafifliği ile motosiklet koruyucu ekipmanlarında karşımıza çıkmaktadır.
- KM2: Kurşungeçirmez yeleklerde ve kasklarda karşımıza çıkmaktadır. Yüksek dayanım sergiler ve kumaş haline getirilmiştir (Keskin, 2019).

#### **1.4.4.1 Kevlar elyafının üretilmesi**

Kevlar, 1,4-phenyle-diamine (para-phenylenediamine) ve terephthaloly chloride monomer solüsyonunun yoğunlaşma reaksiyonu ile hidroklorik asit içerisinde çözünmesinin ürünüdür. Oluşan ürün sıvı kristal davranışında ve polimer zincirlerinin iplik yönünde dizilmesi şeklindedir. Polimerleşme için hexamethylphosphoramide çözücü olarak kullanılıyordu. Fakat güvenlik sebeplerinden ötürü N-methylpyrrolidone ve kalsiyum klorür solüsyonuyla Dupont tarafından değiştirilmiştir. (URL-5, 2021)

### **1.5 Kompozit Malzemelerde Lif ve Matrisin Görevleri**

Kompozit yapının davranışlarının incelenmesi için, kompozit malzemeyi oluşturan takviye elemanının ve matrisin görevinin bilinmesi gereklidir.

Kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanın görevleri şunlardır:

- Etkiyen yük altında yükü taşımaktır. Yapı kompozitlerinde yükün %70-90'ı takviye elemanı tarafından taşınır.
- Tokluk, mukavemet, termal dayanım ve yapısal özellikleri kompozitlere kazandırır.
- Takviye elemanın cinsine göre elektriksel yalıtım veya iletkenlik sağlar.

Kompozit malzeme yapı taşı olan matrisin görevleri şunlardır:

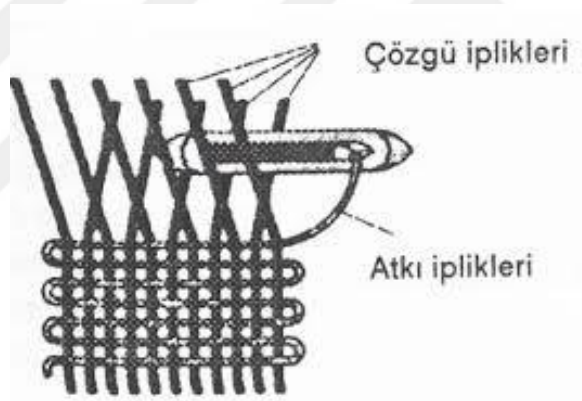
- Matris, yükü iletir ve yapıyı bir arada tutar.
- Matris takviye elemanı izole eder ve her takviye elemanı birbirinden ayrı hareket eder. Bu özellik çatlak ilerlemesinin önüne geçer.
- Matris, takviye elemanını kimyasal etkilere karşı korur.

- Matris malzeme cinsi, kompozitin uzamasını, sertliğini ve darbe dayanımında etkili rol oynar (Mısıtık, 2009).

## 1.6 Kompozit Malzemelerde Dokuma Kumaş Takviyesi

Çözü; örme kumaşlarda kenara paralel şekilde kumaş boyunca uzanan ipliklere denir. Çözü ipliği, kumaş boyunca kenara paralel ipliklerdir. Dokumacılıkta kumaşı oluşturan iki iplikten biri çözüdür. Atkıların geçirildiği, kumaşın uzunluğunu belirleyen ipliklerdir.

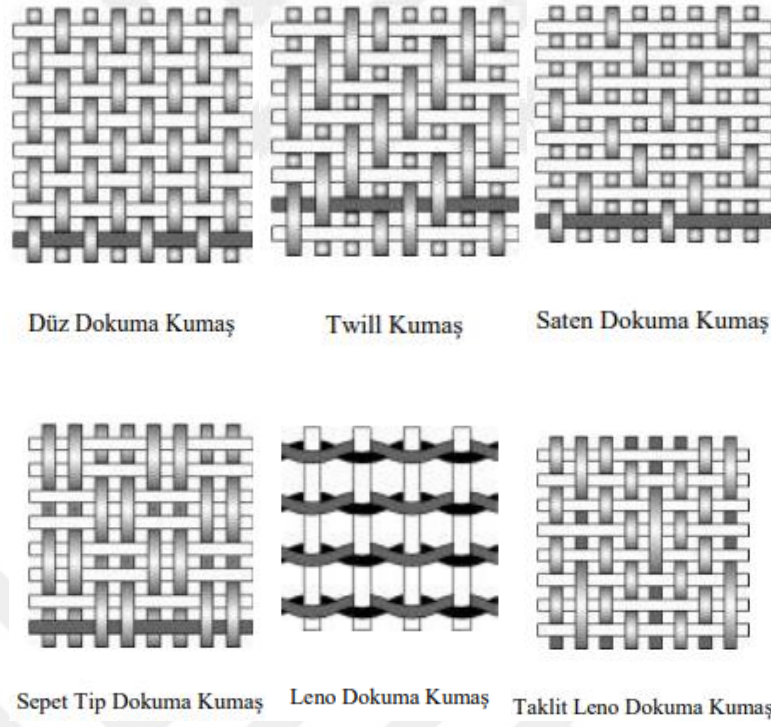
Atkı; kumaşın üretim yönüne dik, kumaşın enine olan ipliklerdir. Atkı ipliği, kumaşta çözü iplikleri arasından geçirilerek enine olacak şekilde kumaşın bir ucundan diğer ucuna geçen ipliklere denir. Atkı iplikleri dokuma sırasında aktiftir (URL-6, 2021).



Şekil 1.12 Atkı ve çözü iplikleri

Takviye elemanı olarak kullanılan elyaflar, dokuma teknolojisi ile kumaş eldesinden oluşturulan yapılardır. Karbon, aramid ve cam en çok kullanılan takviye elemanlarıdır. İki boyutlu ve üç boyutlu dokuma kumaşlar olmak üzere iki ana grupta incelemek mümkündür.

Dokuma kumaşlardaki çözü ve atkı birbirlerinin düzenli uyumla oluşan dizilimlerden oluşur. Mekanik kenetlenme ve bütünlüğü kumaş sağlamaktadır. En çok kullanılan dokuma çeşitleri Şekil 1.13'te gösterilmiştir.



Şekil 1.13 Elyaf örgü çeşitleri (Tursun, 2019)

Her çözgü her atkı lifinin altından ve üstünden dönüşümlü olarak geçer. Bu dokuma şekli en zor kumaş dokuma şekli olarak bilinir. Makul ölçüde gözenekli ve iyi stabiliteye sahiptir. Nispeten düşük mekanik özellik sergilemesinin nedeni yüksek elyaf kıvrım seviyesine sahip olmasıdır.

#### 1.6.1 Twill Dokuma Kumaş (Twill)

Çözgü elyafının bir veya daha fazla düzenli bir örüntüde iki veya daha fazla atkı elyafının altından ve üstünden geçirilerek örülür. Düz veya çapraz yönelim kumaşa görsellik verir. Elyaf kıvrım seviyesi daha az olduğu için yüzey pürüzlülüğü azdır ve yüksek mekanik özelliklere sahip olmasına sahip olmasını sağlar.

#### 1.6.2 Saten Dokuma Kumaş (Satin)

Çözgü ve atkıların daha az kesişecek şekilde twill dokumaların farklı bir versiyonudur. Saten örgüler yassı olduğu için sıkı dokuma yapılabilir. Elyaf kıvrım seviyesinin az olmasından dolayı mekanik özellikleri iyidir. Bir yüzünde çözgünün sıklıkta ve diğer yüzünde de atkı çoğunluktadır. Bundan dolayı kumaşın iki yüzü farklı mekanik özellik sergiler.

### **1.6.3 Sepet Tip Dokuma Kumaş (Basket)**

Kumaş örgü tipi düz dokuma ile benzerdir. Fakat çözgü elyafı iki veya daha fazla ve atkı elyafı lifi iki veya daha fazla örüntü oluşturulmasıyla elde edilir. İki atkı ve iki çözgüden oluşan kumaşlar 2 X 2 sepet olarak belirtilir. Sepet örgü tipi düzdür ve elyaf kıvrım yüksekliği düz dokumaya göre daha güçlüdür ve stabilitesi düşüştür.

### **1.6.4 Leno Dokuma Kumaş**

Düşük elyaf sayımı olan açık kumaşlarda stabiliteyi artırır. Bitişik çözgü elyafları, her atkıyı kilitleyecek şekilde sarmal çift olacak şekilde atkı elyafının etrafında bükülmesiyle düz dokuma tarzıdır. Leno dokuma kumaş diğer dokuma çeşitleri ile birlikte kullanılmalıdır. Nedeni ise atkılar arası açıklıklardan dolayı etkili kompozit üretilmez.

### **1.6.5 Taklit Leno Dokuma Kumaş**

Bir örüntü oluşturularak birkaç çözgü elyafının alttan geçmeli olarak birbirinden saparak her iki veya daha fazla elyafın birbirine geçtiği düz dokuma çeşitidir. Pürüzlülüğü, kalınlığı ve gözenekliliği artırılmış bir kumaş türüdür (Tursun, 2019).

## **1.7 Doğal Kompozitler**

Fiberler kompozit yapı içerisinde temel yük taşıma amacı ile görev alırlar. Matris içerisindeki fiberin görevi; uzunluğuna, hacimine, türüne ve oryantasyona göre değişir. Kompozit malzeme için fiber seçimi önemlidir. Kompozit malzemenin karakterini belirler. Fiberin türüne bağlı olarak aşağıdaki özelliklerin değiştiği görülmektedir.

- Yoğunluk
- Çekme modülü ve dayanımı
- Basma modülü ve dayanımı

- Kırılma ve yorulma dayanımı
- Darbe dayanımı
- Elektriksel ve termal özellikler
- Maliyet

Fiber türleri üç gruba ayrılır. Doğal fiberler, sentetik organik fiberler ve sentetik inorganik fiberlerdir. Doğal fiberler; ipek, pamuk, yün vb., bitkisel yada hayvansal bileşiminden oluşan ürünlere denir. Sentetik organik fiberler; aramid ve polietilen olarak en sık karşımıza çıkar. Sentetik inorganik fiberler; cam elyafı, alümina, boron, karbon ve silikondur.

Doğal liflerin, karbon ve cam elyafına göre avantajları sırasıyla;

- Düşük maliyet
- Düşük yoğunluk
- Yüksek tokluk
- İyi ısı özellik
- Kabul edilebilir özgül dayanım
- Doğada çözülebilir olması
- Cam elyafa göre iyi ses absorbe etmesi başlıca avantajlarıdır.

Doğal liflerin başlıca dezavantajları;

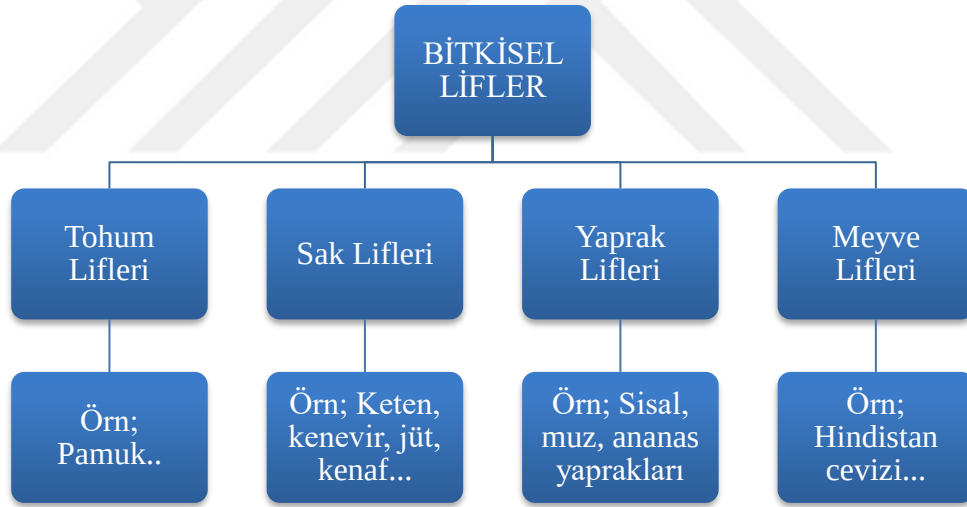
- Su ile reaksiyona girme

- Sınırlı uzunluk
- Fiber çapının büyük olması
- Fiber çap aralığının geniş olmasıdır.

Bitkisel fiberlerin su ile reaksiyona hızlı girmelerinden dolayı elde edilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri olumsuz şekilde sonuçlanır. Bu durumun önüne geçmek için kimyasal işlemlerle fiberler hidrofilik özellik kazandırılabilir. Fakat kimyasal işlemler maliyeti artırır.

### 1.7.1 Doğal Lifler

Bitkisel lifler 4 ana gruba ayrılır (Sarıkaya, 2019).



Şekil 1.14 Bitkisel liflerin sınıflandırılması (Bulut vd., 2011)

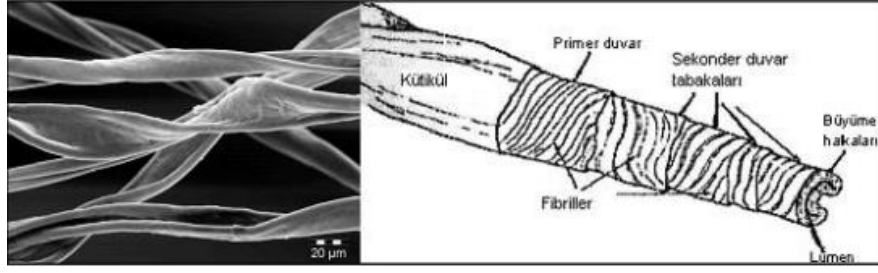
#### 1.7.1.1 Tohum lifleri

Tohum liflerinde temel yapı taşı selülozdur. Doğada fotosentez ile bitkilerin oluşturdukları organik maddeye selüloz denir. Örnek olarak pamuk ve kapok lifleri verilebilir.

#### 1.7.1.1.1 Pamuk lifleri

Pamuk lifi, pamuk bitkisinin tohumları üzerinde oluşur. Tohumların üzerinde lifler kısa ve uzun halde bulunabilir. Lif gelişimi 45-55 gün arasında tamamlanmaktadır. Pamuk liflerinin özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Pamuk, krem beyaz rengindedir.
- 10-65 mm arasında değişen pamuk liflerinin uzunluğu pamuk cinsine göre değişmektedir.
- Pamuk lifi çapı 6-25  $\mu\text{m}$  arasındadır.
- Elastik modülü düşüktür. %2'lik elastik uzamadan sonra geri dönme %75'tür.
- Yanma özelliği vardır.
- İnce, uzun ve olgun liflerde mukavemetin yüksek olduğu görülür.
- Nem tutma özelliği vardır.
- Pamuk lifinin yoğunluğu 1,5-1,55 g/cm<sup>3</sup> arasındadır.
- Kuvvetli asitlerle teması halinde bozunur.
- Sülfürik asitte çözünür.
- 150°C sıcaklıkta bozunma başlar.
- Güneş ışını, oksijen, nem ve kirli ortamlarda polimer bozunma gözlemlenir. Dayanıklılıkta azalma görülür (MEB, 2020) (URL-7, 2021).



Şekil 1.15 Pamuk lifinin mikroskopik görüntüsü (MEB, 2020)



Şekil 1.16 Pamuk (URL-7, 2021)

#### 1.7.1.1.2 Kapok lifleri

Kapok ağacı Afrika’da yetişir. Ağaçta kapsül şeklinde meyve yetişir. Pamuk bitkisine göre daha kolay kabuğundan ayrılır. Kapok liflerinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Rengi sarı, dayanıksız ve düşük elastik modüle sahiptir.
- 1-3.5 mm arasında değişen lif uzunluğuna sahiptir.
- Kapok lifleri, pamuk liflerine göre daha hafiftir.
- Isı, ses ve hava izolasyonunda kullanılır.
- Hidrofobik özelliğe sahiptir. Uzun süre sudan etkilenmez. Islandığı zaman çabuk kurur.
- Kapok lifleri tek hücrelidir (MEB, 2020).



Şekil 1.17 Kapok meyvesi (URL-7, 2021)

#### 1.7.1.2 Sak lifleri

Sak liflerinin diğer ismi bast lifi olarak geçmektedir. Sak lifleri bitkisinin gövdesinden elde edilir.

##### 1.7.1.2.1 Jüt

Jüt; ıhlamur ailesinden olup, tropikal iklimlerde yetişir. 2 ile 4 metre arasında uzayan, odunsu bir bitkidir. Türü çok fazladır. Ticari olan türü *Corchorus Capsitilaris*'dir. Jütün yetiştiği yer Hindistan'dır. Jüt, yıllık bir bitkidir.

Pamuktan sonra en çok kullanılan doğal lif jüttür. Jüt lifi ipeksi ve altın rengindedir. Üretilen doğal liflerin arasında imalatı en ucuz iplik türüdür. Doğada %100 bozunabilir. Geri dönüşümlü ürünler üretilabilir ve çevre dostu olarak bilinir. Jüt ayakkabı, çanta, giyim, tarım, inşaat, otomotiv ve ilaç sektörlerinde karşımıza çıkar.



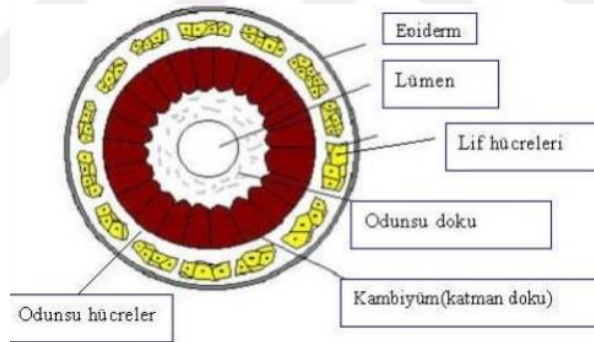
Şekil 1.18 Jütün elyaf halı (Demir, 2019)

Jütün gövdesinde bulunan lif hücreleri demetler halinde bulunur. Primer duvarında linyin, sekonder duvarında selüloz bulunur. Bitki gövdesi enine incelendiğinde beşgen veya altıgen şekilli köşeli hücreler vardır (Demir, 2019).

#### 1.7.1.2.2 Keten

Gün geçtikçe keten üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Sebebi ise tekstil ürünlerinde, yağ ve kompozit malzemelerin hammaddelerinde yer almasıdır. Keten; otomotiv sektöründen tekstile kadar uzanan bir geniş yelpazeye sahiptir.

Doğal lif olmasından dolayı çevre kirliliği oluşturmamaktadır. Kullanılmaları için temizlenmeleri gerekmektedir. Temizleme aşamaları birçok aşamadan oluşmaktadır. Keten gövde lifidir. Kabuk ve iç doku arasında gövdenin dış kısımlarından lif elde edilir. Havuzlama yöntemi ile lifler kullanıma hazır hale gelir. Havuzlama yöntemi biyokimyasal bir yöntem olup liflerin lif olmayan dokudan ayrılmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.19 Keten lifinin enine kesit görüntüsü (Demir, 2019)

Şekil 1.19'da görüldüğü üzere enine kesit alındığında farklı yapılar gözükmemektedir. Lif yığınları epidermis tabakası sarılmıştır. Gövdenin boyunca uzanan, kuvvetli gövde lifleridir.

- 0,014-0,025 mm arasında lifin kalınlığı değişir.
- Lif demetinin uzunluğu 30-90 cm arasında değişirken tek lifin uzunluğu 7-8 cm'dir.
- Kopma uzaması yaşken %2,2 kuruyken %1,8'dir. Islakken kopma uzaması %20 daha fazladır.

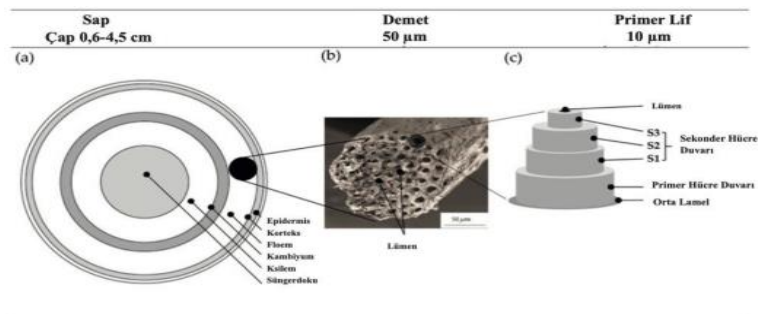
- Özgöl ağırlığı 1,5 g/cm<sup>3</sup> olarak bilinmektedir.
- Pamuktan daha fazla nem çekebilme özelliği vardır. Nemli olduğu halde kuru hissiyatı verir.
- 120°C üzeri sıcaklıklarda bozunma görülür.
- Uzun süre güneş ışınına maruz kaldığı zaman dayanıklılığında düşüş meydana gelmektedir.

Yazlık dış giyimde kullanılmasının nedeni serin tutmasıdır. Su tesisatlarında ve kaliteli kağıt yapımında da kullanılmaktadır (Demir, 2019).

#### 1.7.1.2.3 Kenevir

Kenevir; cannabaceae familyasına ait olup, ısırgangillere yakın, tek yıllık odunsu bir bitkidir. Bitkinin gövdesinden elde edilen liflerden kendir adı verilen iplik elde edilir. Hamurlu kısmı ise kâğıt yapımında kullanılır. Kenevir endüstri sektöründe; ilaç yapımında, biyodizel yakıt yapımında, otomotiv sektöründe ve kozmetik ürün yapımında karşımıza çıkmaktadır.

Ilıman ve tropik bölgelerde yetişen kenevirin anavatanı Orta Asya'dır. Kenevirin yapısı sert, çalı şeklinde büyüyen, gövdesinin içi boş, dioik, palmat yaprak şekline sahip ve tek yıllık bir bitkidir. Ekildikten 120-140 gün arasında hasat yapılır. Lif hücreleri kabukta demet halinde bulunur. Lifin üretimi; çürütme, dövme ve taraklama yolları izlenir. Lifler parlak sarı veya esmerdir. Lifler dayanıklı ve oldukça uzundur.



Şekil 1.20 Kenevir lifinin yapısı (Demirbilek vd., 2021)

## **Kenevirin Özellikleri**

- İnşaat sektöründe izolasyon malzemesi olarak kullanılır.
- Ses yalıtımını sağlar.
- Radyasyon emicidir.
- Tuğla ve betondan hafiftir. Daha sağlamdır.
- Ateşe dayanıklıdır.
- Bir ağacın 5 katı oksijen yayar.
- Her lif demetinde 30-50 arasında lif hücresi bulunur.
- Lif hücrelerinin inceliği 20-35 mikrondur.
- Lif uzunluğu ortalama 40-45 mm arasında olurken bitkinin boyuna bağlı olarak 2 metreye kadar çıkabilmektedir. Lifi uzunluğu boğumlar arası mesafe ile belirlenir (Kaya vd., 2020) (URL-7, 2021).

## **Kenevir Lifinin Fiziksel Özellikleri**

Dayanıklılık, yüksek mukavemet ve emme özelliği bulunan kenevir doğal lif olarak sınıflandırılır. Yıllık lif verimi yüksek olup, kenevir liflerinden elde edilen kumaşlarda boncuklanma gözlemlenmez.

20°C’de %65 bağıl nemde %12, %95 bağıl nemde ise %30 nemi içerisine hapseder. Bu değerler diğer doğal liflerden daha yüksektir. UV koruma sağlama, iyi elektrostatik özellikler, antialerjik özellikler sergilemesi en büyük avantajlardır.

Kenevir üretiminde kullanılan az su, gübre ve zirai ilaçlara ihtiyaç duyulmadığından dolayı toprağın ve çevrenin korunmasında etkili rol oynar.

Tablo 1.5 Bazı doğal liflerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması (Kaya vd., 2020)

| Lif cinsi | Tek lif uzunluğu (cm) | İşlem görmüş lif uzunluğu (cm) | Kuru özgül mukavemet (cN/dtex) | Yaş özgül mukavemet (%kuru) | E-modül (MPa) | Yıllık lif verimi (kg/hektar) |
|-----------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------|
| Pamuk     |                       | 1-6                            | 25-50                          | 105                         | 11            | 800-1000                      |
| Kenevir   | 100-300               | 65-75                          | 35-70                          | 105                         | 12,7          | 3000                          |
| Jüt       | 160-360               | 65-75                          | 30-34                          | 100                         | 19-35         | 2200                          |
| Keten     | 20-40                 | 10-40                          | 30-55                          | 105                         | 12-26         | 2000                          |

### Kenevir Lifinin Kimyasal Özellikleri

Kenevir lifinin yapısındaki bileşikler; selüloz, hemiselüloz, lignin, pektin ve bal mumudur. Pektin kenevir bitkisinin primer duvarında ve orta lamellerde bulunmaktadır. Polisakkarit türevi olan pektinin su tutma özelliği vardır. Lignin maddesi ise fenilpropan türevi olup izotopik haldedir. Kenevir liflerinde bulunan lignin maddesinden dolayı kaba lif olarak adlandırılır. Lignin, liflerin kırılkan ve sert halde olmasını sağladığı gibi kimyasallara karşı dirençli olmasını sağlar. Hemiselülozlar ise nefes alabilirlik, ısı izolasyonu gibi özelliklerini life katkıda bulunurlar.

Tablo 1.6 Bazı doğal liflerin kimyasal bileşimleri (Demirbilek vd., 2021)

| Lif     | Selüloz (%) | Lignin (%) | Hemiselüloz (%) | Pektin (%) | Mum (%) |
|---------|-------------|------------|-----------------|------------|---------|
| Kenevir | 70-74       | 3,5-5,7    | 15-20           | 0,8        | 1,2-6,2 |
| Jüt     | 61-72       | 61-72      | 18-22           | 0,2        | 0,5     |
| Sisal   | 78          | 78         | 10              | -          | 2       |
| Keten   | 64-72       | 2-2,2      | 18-20           | 1,8-2,3    | -       |
| Rami    | 69-91       | 0,4-0,7    | 5-15            | 1,9        | -       |
| Kenaf   | 45-57       | 22         | 8-13            | 0,6        | 0,8     |
| Pamuk   | 85-90       | -          | 5,7             | 0-1        | 0,6     |

Kenevir liflerinin yapısında selüloz olduğu için derişik inorganik asitlerle etkileşime girerler. Sıcaklık artışı ile zayıf asitler liflerde mukavemette azalmasına sebep olur. Alkalilerle işlem görmüş kenevir lifleri dayanıklıdır. Baziklerle işlem görmüş liflerin mukavemetinde artış görülür (Demirbilek vd., 2021).

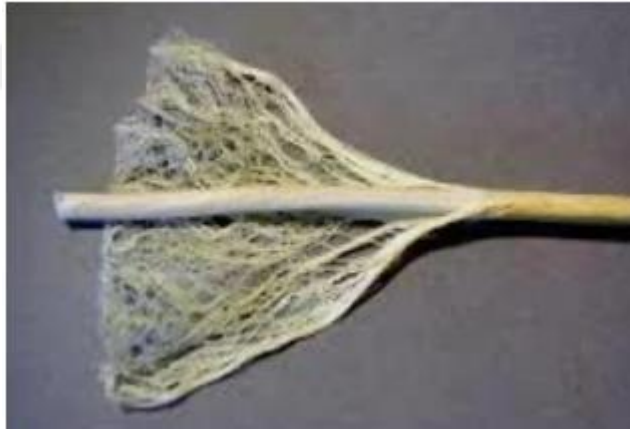
Kenevirin istenmeyen özelliklerinden biri ise ikincil lifin varlığıdır. Genellikle gövdenin alt kısmında, birincil liften orta kısımda görülür. İkincil liflerin %40'ı uygun

kabul edilebilir. İkincil lif daha kısa, daha kalın, daha sert ve daha kırılıgandır (Kaya vd., 2020).

### **Kenevirden Lif Eldesi**

Endüstriyel uygulamada kullanılacak liflerin belirleyici bir özelliği olgunluktur. Bir lifin olgunluğu ikincil duvarın dışarıdan içeriye gelişmesiyle gözlemlenmektedir. Olgunlaşmış sakın hücre duvarı incedir ve lümen yapısı hacimce küçüktür. İkincil duvarın gelişimi, bitkinin büyümesi ve çiçeklenme aşaması olarak sınıflandırılır. Lifin karakteristik özelliklerini hasat dönemi direkt olarak etkilemektedir. Lifin kalitesini belirlemek için hasat zamanının doğru seçilmesi önem arz eder.

Saplardan lifleri ayırmak için kullanılan üç ana uygulama vardır. Bunlar; mekanik ayırma, biyolojik havuzlama ve kimyasal yöntemdir. Bu işlemler lifleri odunsu gövdeden uzaklaştırmak için yapılır (Kaya vd., 2020).



Şekil 1.21 Kenevir sakından liflerin ayrılması (Kaya vd., 2020)

**Mekanik Yöntem:** Kenevirin saplarını kırıp ezerek liflerin ve odunsu bölgenin birbirinden ayrılması için kullanılan bir yöntemdir. Havuzlama yöntemine göre daha hızlı ve daha ekonomiktir. Fakat lifler daha serttir. Bunun sebebi ise hücre arası pektine mekanik yol ile girilmesi mümkün değildir (Kaya vd., 2020).

**Biyolojik Havuzlama Yöntemi:** Kenevir sapları tarlaya serilir. Burada mikroorganizmaların etkisi ile dış pektinin parçalanması sağlanır. Yüksek nemli bölgelerde sıcaklık ve nemin etkisiyle mantar oluşur. Mantarların çoğalması bu işlemi

daha da kolaylaştırmaktadır. En az 1,5 aylık zamanda çürüme ile lif oluşumu gerçekleşir. Çürüme olayı yavaş gerçekleştiğinden dolayı lifler yumuşak ve ince yapıdadır (Kaya vd., 2020) (URL-7, 2021).

**Kimyasal Yöntem:** En uygun yöntemlerden biridir. Çöplerinden ve saplarından ayrıştırılmış eşit uzunlukta ve temiz lifler elde edilir. Kimyasal yöntemden önce kenevir kesilir, alkali su ile basınç altında pişirme işlemi yapılır. Bol su ile yıkanır ve pektin maddesi uzaklaştırılmış olur. Kurumuş olan kenevir lifi pamuk gibi lifler ile karıştırılarak ip elde edilir (Kaya vd., 2020).

#### **1.7.1.2.4 Kenaf**

Kenaf, tek yıllık bitkidir. Subtropik ve tropik ortamlarda yetişir. Kenaf, 1-2 metre derinliğe inen kazık köklere sahiptir. Bitkinin saplarının dikenli yapısından dolayı jüte benzer. Ekilmesine bağlı olarak bitkinin sapları dallanır. Seyrek ekim yöntemi ile bitki de daha çok dallanma görülür. Sık ekildiği zaman ise dallanmalar olmadan bitki 3-4 metreye kadar uzarlar. Lif uzunluğu 1-3 metreye kadar ulaşabilmektedir. Kendi kendine kenaf bitkisi döllenabilir. Bitkinin tohumlarından %15-25 oranlarında yağ elde etmek mümkündür. Bitki saplarından yakacak olarak kullanıldığı gibi yeşil alan oluşturulmasında çim, fide yetiştirilmesinde, tarladaki yabancı otları arındırmada kullanılır. Kenaf bitkisinden lif elde etmek için kullanılan yöntem, keten ve kendir üretiminde de kullanılan havuzlama yöntemidir. Enine kesit alındığı zaman birçok lif görülür. Havuzlama yöntemi ile üretim yaparken soğuk su kullanılırsa 2-3 hafta, sıcak su kullanılırsa 4-5 günde lif elde edilir. Çiçekleri büyük olduğundan dolayı pamuğu andırır. Ülkemizde Antalya, Adana ve GAP bölgesinde yetiştirilebilir (Karaca, 2021).



Şekil 1.22 Kenaf bitkisi ve fiber haline getirilmiş kenaf (URL-8, 2020)

### 1.7.1.3 Yaprak lifleri

Yaprak lifleri, bazı tek çenekli bitkilerin yapraklarından elde edilen liflere denir. Homojen yapıda bulunmayan lifler, sert yapıdadır. Kaba olan bu lif eğilip, bükülmesi oldukça zordur. Halat, sicim ve bazı dokumaların yapısında bulunur.

#### 1.7.1.3.1 Sisal

Sıcak ve nemi seven sisal, en çok lif elde edilen yaprak lifidir. Afrika, Endonezya ve Brezilya’da sisal yetiştirilir. Sisal, 7-8 yaşına geldiği zaman lif elde etmek mümkündür. Sisal yapraklarının %80-85’i sudan oluşur ve yaprakları etlidir. Çürütme yöntemi ile %3-4 arasında lif elde edilir. Bir sisal bitkisinden 15-20 yıl lif elde etmek mümkündür. Hücre demetleri birbirine yapışıktır. Lif boyu 100 cm, rengi sırasıyla beyaz, sarı ve kahverengi olur. Sisal lifinde %65-72 arasında selüloz vardır.

Nem çekme özelliğinin iyi olmasının nedeni ise lifin küçük gözeneklere sahip olmasıdır. Sağlam ve tuza karşı dayanıklıdır. Diğer kaba liflere oranla esnektir (MEB, 2020).



Şekil 1.23 Sisal bitkisi ve lif eldesi (URL-9, 2022) (URL-10, 2022)

#### 1.7.1.3.2 Muz

Muz bitkisinde çok miktarda lif vardır. Meyveler hasat edildikten sonra lif üretimi yapılır. Orta kuşak bölgesinde yetişen muz bitkisi dünyanın çoğu yerinde yetişmektedir. Muz lifinin üretimi bölgeden bölgeye değişmektedir. En çok kullanılan yöntem Japonya ve Nepal yöntemidir.

Japonya yöntemi: Muz lifinin 13. yy'a kadar kullanımına rastlanmaktadır. Muz lifinin üretilmesi, bitkinin yetiştirildiği andan itibaren özen gösterilir. Yaprakların ve sürgülerin yumuşak elde edilmesi için bazı dönemler vardır. Muz bitkisi hasat edildikten sonra postas kostik ile kaynatılır. Bu sayede lifler yumuşar. İç taraftaki lifler yumuşak, dış taraftaki lifler daha serttir. Dış liflerden masa örtüsü, döşemeler üretilir.

Nepal Yöntemi: Japonya yönteminde sürgünlerden lif elde edilirken, Nepal yöntemi ile yalancı gövdeden lif elde edilir. Lifler mekanik olarak yumuşatılır. Güneş ile ağrıtılarak kurutulurlar. İpeğe benzer bir görüntü elde edilir.

Sak lifi ailesine mensup olan muz lifinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birlikte birçok özelliği vardır. Bunlar aşağıda verilmiştir.

- Rami ve bambu lifine benzeyen muz lifi bükülebilirliği açısından iyidir.
- Kimyasal bileşimi lignin, selüloz ve sekülozdur.
- Lif kuvvetli ve hafiftir.

- Parlak bir görünüme sahiptir.
- Yüksek nem emme özelliği vardır.
- Doğa dostudur.
- Lif çapı 2,400 nanometredir (Aşam, 2021).

#### 1.7.1.3.3 Ananas yaprakları

Ananas lifi enine kesit alındığı zaman silindirik ve uçlarına doğru kavisli bir yapıda olduğu gözlemlenmektedir. Lif hücrelerinde çok miktarda selüloz ve lignin bulunur. Lifin kimyasal yapısı yetiştiği yere, iklimine, liflerin olgunluk seviyesine göre değişmektedir.

Ananas lifleri iyi mekanik özelliklere sahiptir. Ananas liflerinin kopma uzaması 143-1627 MPa ve kopma uzaması %0,88-4 aralığında değişir. Ananas liflerini yapraktan ayırma prosedürlerine göre fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Kimyasal özellikleri incelendiğinde jüt lifi ile karşılaştırılmaktadır.



Şekil 1.24 Ananastan lif eldesi (Kalaycı, 2017)

#### 1.7.1.4 Meyve lifleri

Meyve lifleri sık, kalın ve dayanıklıdır. İp, keçe ve fırça yapımında karşımıza çıkmaktadır.

#### 1.7.1.4.1 Hindistan cevizi

Hindistan cevizi lifinin elde edilmesi meyvenin dış kabuğundandır. Meyvenin etrafında gözenekli, kısa tüylerin içerisinde bulunmaktadır. Liflerin hava ile teması ile kararmalar görülür. Meyve olgunlaştıkça liflerin lignin miktarı artmaktadır. Olgun bir lif elde edilmek isteniyorsa 10-12 ay arasında hasat edilmelidir. Liflerin mekanik olarak ayrılması suda 10 gün bekletilerek tamburlardan kısa tüyleri ayıtlanması ile elde edilir. Liflerin bir arada durmasını sağlayan mikroorganizmalar 10 gün suda bekletilerek yok edilir ve havuzlama yöntemi olarak bilinir.

Hindistan cevizi lifi kimyasal ve fiziksel özellikleri yetiştirildiği yere, ağacın türüne, meyvenin olgunluğuna göre değişmektedir. Bu etkiler lifin uzunluğunu, çapını, mukavemetini ve esnekliğini etkilemektedir. Lif uzunluğu 20-150 mm ve çapı 10-50 mikrometre arasında değişmektedir. Keten, jüt, kenavir ve ramiye göre mukavemeti düşüktür. Kırılgan ve koyu kahverengi olan hindistan cevizi lifi mikroskop ile incelendiği zaman kolay şekilde ayırt edilebilir (Gündoğan, 2016).



Şekil 1.25 Hindistan cevizinin enine görüntüsü (Gündoğan, 2016)

### 1.8 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi

Her malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri farklıdır. Üretilirlik açısından da farklılıklar gösterir. Her malzeme için aynı yöntemle üretilmez. Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluştuğu için üretim yöntemleri farklılık gösterebilir. Mesela metaller talaş kaldırmaya daha

uygunken kompozit malzemelerde talaş kaldırma içerisindeki takviye malzemesinden dolayı malzemenin zarar görür. Metal, seramik ve polimer matrisli olarak gruba ayrılan kompozit malzemelerin üretim yöntemleri de farklıdır (Sönmez, 2009).

### **1.8.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi**

Metal matrisli kompozit üretiminden önce üretilmesi istenilen malzemenin istenen mekanik, fiziksel özellikleri ile maliyet, istenilen ürünün şekli, takviye elemanının dağılım türü, matris malzemesi ve takviye elemanının uyumu göz önünde bulundurulur (Sönmez, 2009). Metal matrisli kompozitlerin üretimi katı hal ve sıvı hal üretim yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Sıvı hal üretimi yaparak metal matrisli kompozit malzeme üretiminde genellikle seramik parçacıklar kullanılarak matrise farklı yöntemler kullanılarak takviye edilir. Takviye elemanı olarak kullanılacak seramiğin özellikleri ve ıslatılabilirliği önemli rol oynar. Takviye malzemesi olarak kullanılan çoğu seramik malzeme, matris olan metal ergiyik malzeme tarafından yeterince ıslatılamadığından dolayı seramikler ön işleme tabii tutulmaktadır. Üretilen metal matrisli kompozitler de en çok kullanılan yöntemler; Sıvı metal emdirmesi, Sıkıştırılmalı döküm veya dövme döküm tekniği, Basınçlı infiltrasyon, Sıvı metal karışım yöntemi, Plazma püskürtme yöntemi, Yarı katı karıştırma yöntemi, toz metalürjisi yöntemi ve sıcak presleme yöntemidir (Kıyasöz, 2018).

Metal matrisli kompozitlerde matris elemanı olarak alüminyum, titanyum, magnezyum ve bakır olarak sıralanırken takviye elemanı olarak silisyum karbür, bor karbür, alümina, titanyum borür, bor ve grafit kullanılır (Sönmez, 2009).

### **1.8.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemi**

Seramik malzemeler sert, kırılğan, düşük tokluk ve kopma uzamasına sahiptir. Seramik, termal şok karşısında çabuk etkilenen bir malzemedir. Fakat yüksek sıcaklık altında çalışabilirler.

Takviye elemanının sürekli veya süreksiz olması nihai ürünü etkiler. Üretim şekli de önemli rol oynamaktadır. Seramik matrisli kompozit malzemelerin üretiminde en sık

şerit (bant) döküm yöntemi, ergiyik matris sıcak presleme yöntemi, enjeksiyon yöntemi, kimyasal buhar kaplama ve sızdırma yöntemi karşımıza çıkmaktadır.

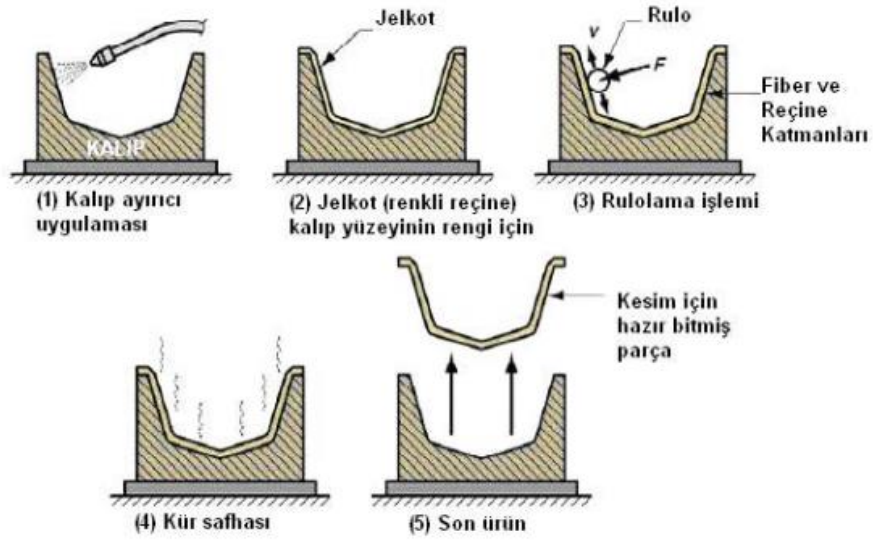
Seramik matrisli kompozitlerin üretiminde malzemenin yoğunlaşması ve toklaşması için sinterleme yöntemi kullanılır (Sönmez, 2009).

### **1.8.3 Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemi**

Polimer matrisli kompozitlerin üretiminde takviye elemanının ilavesi ile matris elemanının karıştırılıp, uygun basınç ve uygun sıcaklık altında polimer esaslı matrisin kürleşerek sertleşmesi ile nihai ürün elde edilir. Elde edilen nihai ürünün kalitesini polimerizasyon süreci belirler. Polimerizasyon; basınç, sıcaklık ve zaman arasındaki ilişkidir. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde olduğu gibi matris, takviye elemanını yeterli derecede ıslatmış olmalıdır. Takviye elemanının yeterli derecede ıslatılması, matrisin içerisinde doğru derecede yer almasıyla da alakalıdır. Açık ve kapalı üretim yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. En çok kullanılan açık kalıplama yöntemleri; el yatırma ve püskürtme yöntemidir. Pres kalıplama, transfer kalıplama, infüzyon vakumla kalıplama, otoklav kalıplama, filamentli sarma, pultrüzyon, santrifüj yöntemi, reçine enjeksiyon ve reaksiyonlu enjeksiyon yöntemi kapalı kalıpla üretim yöntemidir (Sönmez, 2009).

#### **1.8.3.1 El yatırması yöntemi**

Az sayıda üretilecek ürün için uygundur. İlk zamanlardan günümüze kadar kullanılan bu üretim yöntemi gelişmeye açıktır. Uygulama alanı geniş olan el yatırması yöntemi, yüksek mukavemet istenen büyük parçaların ve tek yüzü düzgün olan nihai ürünlerin üretimi için kullanılır. Kalıptan tarafta olan yüzeyi düzgün, diğer yüzeyi ise pürüzlüdür. El yatırması yöntemi ile parça üretebilmek yoğun işçilik gerektirir. Seri üretime uygun değildir.



Şekil 1.26 El yatırması yöntemi aşamaları (Işık, 2008)

Şekil 1.26’da da görüldüğü üzere sırasıyla üretim için aşamalar vardır. Üretime başlamadan önce kalıp temizlenir. Temizlenmiş olan yüzeye fırça veya sprey tabancası yardımıyla yüzeyden ayırıcı özelliği olan jelkot yüzeye uygulanır. 0,5 mm kalınlığında jelkot sürülür. Jelkot kuruduktan sonra yüzeye kuru olan takviye elemanı konulur. Daha sonra kullanılacak olan reçine elle takviye elemanının üzerine sürülür. İstenilen kalınlığa kadar takviye elemanı üst üste konularak reçine sürülür. Reçine sertleşene kadar rulolama işlemi yapılır.

Rulolama işleminin yapılmasındaki amaç; tabakaların arasında olabilecek hava boşluklarını engellemektir. Her kat için rulolama işlemi uygulanır. Ara yüzey ayırıcı olarak fluorokarbon ve türevleri kullanılır.

Üretilen kompozitin kalıptan ayrılması için silikon boyalar da kullanılmaktadır. Fakat silikon boyaların kullanımı ileri ki aşamalarda sorun çıkarabilir. Politetrafluoroetilen ayırıcılar genellikle yüksek sıcaklık istenen uygulamalarda kullanılır.

Takviye elemanının kalınlığını ve türünü tasarımcı mühendisler belirler. El yatırması ile kompozit üretim yöntemi geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Kullanıcıya, kumaşın yerleşim şekline göre üretim yapılabilen prodestir.

Reçineye numunenin kullanımı için katalizörler, hızlandırıcılar veya gerekli olan başka şeyler ilave edilebilir. İlaveler ile dışarıdan herhangi bir sıcaklığa ihtiyaç

kalmadan oda sıcaklığında reçinenin kürleşmesi sağlanır. Kürleşmeyi hızlandırabilmek için sıcaklık kullanılabilir.

Reçinede gerçekleşen kimyasal reaksiyonlarda malzeme yüksek dayanıma sahip ve hafif nihai ürünler elde edilmektedir. Matris malzemesi beton, takviye elemanı demir çubuk olan bir kompozit gibi reçine, elyaf takviyesi için matrisin görevinin görmektedir.

Polyester veya epoksi bu proses için uygundur. Polyester, epoksiye göre daha ucuz ve kolay kullanımdan dolayı epoksiye göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Polyester kullanıldığı zaman nihai ürünü kalıptan ayırmak için ayırıcı çeşitleri çoktur. Fakat epoksi için özel ayırıcı kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise epoksinin iyi yapıştırma özelliğinin olmasıdır.

El yatırması üretim yöntemi ile üretilen nihai ürünün tek tarafının düzgün olması, yoğun işçilik gerektirmesi ve işçinin yeteneğine bağlı olarak kalitenin değişmesi dezavantajlarıdır.

Avantajları;

- Üretilcek parça boyutunun kısıtlı olmaması
- Tasarımda esneklik
- Maliyet açısından ucuz olması
- Geniş renk skalası
- Kolay kalıplama imkanı
- Diğer üretim yöntemlerine oranla düşük ilk yatırım maliyeti
- Prototip üretmeye ve büyötmeye olanak sağlaması

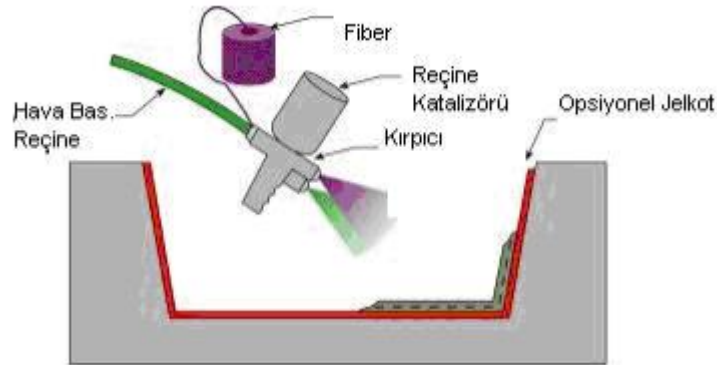
- Bölgesel mukavemet kazandırma başlıca avantajlarıdır.

El yatırması yöntemi ile otomobil ve gövde panelleri, yüzme havuzları, depolama tankları, tekne gövdeleri, mobilya-dekorasyon ürünleri, korozyona dayanımlı ürünlerin üretiminde kullanılır (Işık, 2008).

### 1.8.3.2 Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi, el yatırması yönteminin biraz daha gelişmiş halidir. El yatırması yönteminden farklı olarak reçine tabanca ile püskürtülür. Tabanca kullanıldığı için işçilikte de azalma görülür.

Püskürtme tabancasında aynı anda elyaf kırılıp reçine katalizöründe karıştırma işlemleri gerçekleşir. Parçanın mukavemetinin söz konusu olmadığı yerlerde tabanca ile püskürtme yöntemi kullanılarak üretim yapılabilir.



Şekil 1.27 Püskürtme yöntemi ile üretim (Işık, 2008)

Püskürtme yöntemindeki üretim adımları el yatırması yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Kalıp temizlendikten sonra ilk kat olarak ayırıcı sürülür. İlk kat olarak jel tabaka oluşturulur. Jel tabakanın sertleşmesiyle tabanca ile lif karışımı şeklindeki gibi uygulanır. Sprey tabancası elyafları 20-40 mm arasında keser. Daha sonra kesilmiş olan lif reçine-katalizör karışımı ile tabancanın ucundan çıkar.

Püskürtme tabancası iki çeşittir. Birincisi ve en çok kullanılanı reçinenin içerisine hızlandırıcı ve katalizör ilave edilmiş şekilde katalizör enjeksiyon tabancalarıdır.

İkincisi ise çift kaplı püskürtme tabancalarıdır. İki farklı kaptan çıkan tabancanın dışarısında birleşir, kalıbın yüzeyinde sertleşme başlar.

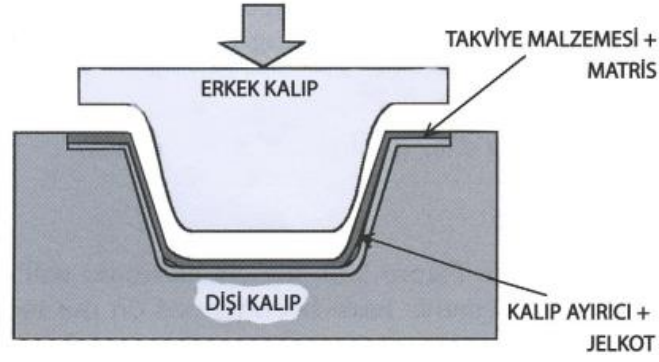
Karıştırma işlemi tabancanın içerisinde gerçekleştiğinde insan sağlığına verdiği zarar minimuma indirilir.

Püskürtme yönteminde de çalışma prensibine göre havasız veya hava püskürtmeli olarak ikiye ayrılmaktadır. Şu an en çok kullanılan havasız püskürtme tabancasıdır. Havasız püskürtme tabancaları daha kontrollü bir dağılım sağlarlar. Özel nozullardan geçen reçine, hidrolik basınçla çalışır. Takviye elemanı ve reçineyi doygunluk seviyesine getirerek damlacıklar halinde püskürtülür. Hava ile püskürtme yönteminde basınçlı hava kullanılır. El yatırması üretim yöntemi ile aynı avantaja ve kullanım alanlarına sahiptir. Fakat;

- Püskürtme yöntemi ile üretim yöntemi el yatırması yöntemine göre kullanılan malzemelerin maliyeti daha az
- Kullanılan malzemenin israf edilmeden kullanılması
- Püskürtme tabancası ile elyafa reçine emdirme zamanının kısaltılması
- İşçiliğin azalması
- Katalizörün ve reçinenin israf edilmeden kullanılması avantajlı hale getirmektedir. (Işık, 2008)

### **1.8.3.3 Pres (Basınçlı) kalıplama yöntemi**

Pres kalıplama yöntemi ile üretimde kalıp boşluğuna yerleştirilmiş matris ve takviye elemanlarının üzerine erkek kalıbın basınç ve ısı yardımıyla şekildeki gibi kapanmasıyla oluşan kompozit malzeme üretim yöntemidir. Kalıbın yüzeyine kalıp ayırıcı ve jelkot sürülerek üretilen parçanın yüzey kalitesini artırır ve kalıptan çıkarılması daha kolay olur.

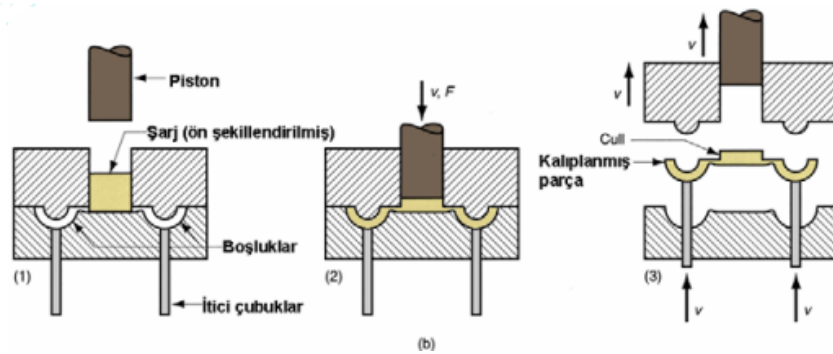


Şekil 1.28 Pres kalıplama yöntemi (Sönmez, 2009)

Pres kalıplama birçok yöneme sahip bir üretim yöntemidir. Otomotiv sektöründe çokça kullanılan bir üretim yöntemidir. SMC üretim yönteminde prepreg kullanılır. Prepreg; elastik kağıt veya plastik film gibi tabakaların arasında bulunan fiber-matris malzemenin, merdanelerin arasından geçerken yeterli ısıtma ile elde edilen yarı mamul ürünlerdir (Sönmez, 2009).

#### 1.8.3.4 Transfer kalıplama yöntemi

Çalışma prensibi basınçla üretim yöntemine benzer. Transfer kalıplama yönteminde karışım kalıp dışarısında hazırlanır. Ön ısıtma ve basınç yardımıyla kalıp boşluğuna gider ve ısının etkisi ile şekil alır. Transfer kalıplama yöntemi ile küçük ve karmaşık şekilli parçaların üretimi yüksek basınç altında kolaylıkla gerçekleştirilir (Sönmez, 2009).



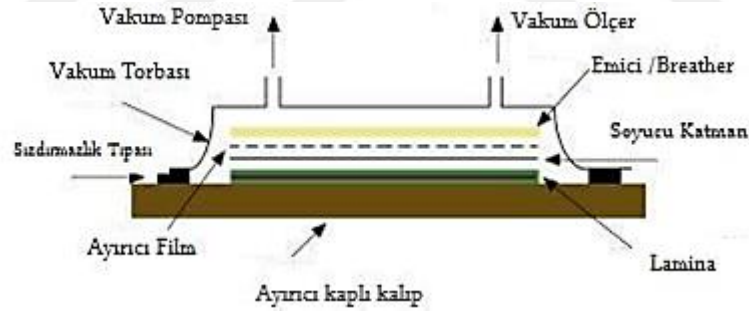
Şekil 1.29 Transfer kalıplama üretim yöntemi (Varol, 2021)

### 1.8.3.5 Soğuk kalıplama yöntemi

Soğuk kalıplama yöntemi ile üretimde oda sıcaklığında, orta boyuttaki numunelerin üretimi için kullanılan bir yöntemdir. Prepreg malzeme kalıp arasına koyularak herhangi bir ısı uygulamadan, oda sıcaklığında malzeme katılaşır. Oda sıcaklığında hızlı bir şekilde katılaşan düşük viskoziteye sahip olan polyester malzeme kullanılır. Yüksek kalıp basınçları ve yüksek sıcaklık gerekli olmadığı için maliyetli olmayan bir üretim biçimidir (Sönmez, 2009).

### 1.8.3.6 Vakum kalıplama yöntemi

Vakum kalıplama yöntemi, açık kalıplama yöntemlerinden birisidir. Şekil 1.30'da görüldüğü üzere prepreg malzeme kalıbın üzerine yerleştirilerek vakumu sağlayacak olan vakum poşeti ile sızdırmazlık sağlanır. Vakum poşetinin altındaki parçanın atmosferik basınç yardımı ile şekil almasını sağlarken, parçanın içerisinde kalmış olan hava kabarcıklarının uzaklaşmasını sağlayarak numunenin mukavemetini artırılır.



Şekil 1.30 Vakumla kalıplama yöntemi (CTP Teknolojisi)

### 1.8.3.7 Otoklav kalıplama yöntemi

Vakumla kalıplama ve basınçlı kalıplama yöntemleri hızlı ve kolay parça üretim gerçekleştirilebilse de, üretilen parçaların kaliteleri, boyut ve şekil açısından eksik kalmaktadır. Otoklav üretim yöntemi diğer iki yöntemin alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Vakumla kalıplama yöntemine benzeyen bu yöntem, kompozit üretilirken parçanın basıncının ayarlanabilir bölümüne yerleştirilir. Bölmeye yerleştirilen kompozitin basınçla birlikte ısı etkisi ile polimerizasyon sağlanmış olur. Genelde ısıtma işlemi 2 kademeyle gerçekleşir. İlk ısı kademesinde reçinenin

viskozitesini düşürmek ve var olan hava kabarcıklarının önlenmesi için yapılırken, ikinci ısı kademesinde polimerizasyon gerçekleşir. Numunenin kalıptan çıkma süresi uzundur, pahalı bir yöntemdir. Fakat büyük parçaların üretimi için kullanılan bir yöntemdir. Havacılık sektöründe kullanılır.



Şekil 1.31 Otoklav resimleri (Işık, 2008)

#### 1.8.3.8 Filament (Sarma) yöntemi

Sarım sırasında ya da önceden reçine emdirilmiş olan sürekli liflerin dönen mandrel üzerine geometriye uygun bir şekilde sarılması ile oluşturulan bir üretim yöntemidir. İstenilen sarım modeli için operatörler, sarım hızı, sarım geometrisi, mandrel hızı, basıncın oranı, lifin açısı ve bant genişliği önemli rol oynamaktadır. Düzgün ürün yüzeyi için devrim niteliğinde bir üretim yöntemidir. Mandrel sabit bir şekilde iken lif dağıtım ünitesinin ileri-geri hareket yaparak istenilen açıda üretim yapılmaktadır.

Avantajları;

- Lifler sürekli olmasından dolayı mukavemetin yüksek olması sağlanır.
- İmalat kolay bir şekilde gerçekleştirilir.
- Büyük yapıları elde edebilir.
- Üretim maliyeti düşüktür.
- Reçine olarak termoset ve termoplastik kullanılabilir.
- Takviye elemanı ve reçine olarak birçok seçenek vardır.

Dezavantajları;

- Mandrelin makineden çıkarabilecek şekilde tasarımı olmalıdır.
- Sarım yollarının kolay değiştirilmemesi
- Mandrellerin kompleks şekilde ve pahalı olması
- İçbükey parçalar üretilmemesi
- Dış yüzeyinin mukavemet bakımından zayıf olması başlıca dezavantajlarındanır.

Kullanılan polyesterlerin kimyasal dayanım açısından daha iyi sonuçlar vermesi için izohtalik polyesterler kullanılır.

Sıcaklık ve korozyona karşı dirençli olması için reçine olarak bisfenol tercih edilir.

Vinil esterler sertlik, kimyasal dayanım sağlarken yapıyı avantajlı hale getirir.

Yüksek mekanik özellikler sergileyen epoksi reçine, iyi yapışma özelliği, kimyasal dayanım ve düşük çekme özelliklerini de seriler. Yapısal olarak beklenen performansı sergiler.

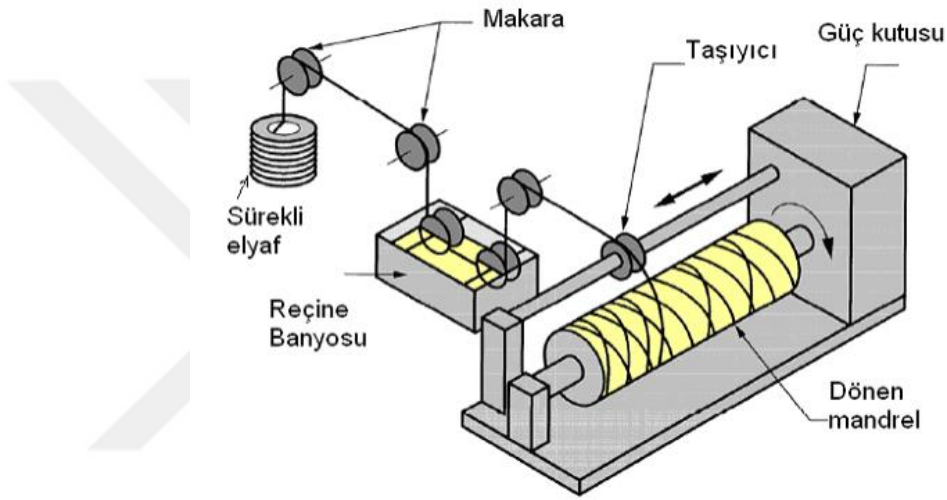
Elyaf lar sürekli olduğunda mandrele sarılmadan önce reçine banyosu yaptırılır. Fakat elyaf lar kırılmış ise reçine ile eş zamanlı olarak püskürtülür ya da mandrel in üzerine dökülür.

Yüksek performans beklenen uygulamalarda prepreg elyaf lar kullanılır. Prepreg önceden reçine emdirilmiş elyaf demektir. Bu sistem daha pahalı olmasına rağmen kontrol altında yapılabilmesinden ve karmaşık parça üretilebilir olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Günümüzde termoplastiklerin reçine olarak kullanılması yaygınlaşmıştır. Takviye elemanı ve matrisin mandrele sarılırken farklı teknikler ile önceden sarılması mümkündür. Mandrel in bant ile temas haline geçtiği bölgenin ısıtılması bütün bir yapı elde etmek mümkündür. Fakat bu proses ekonomik açıdan maliyetlidir.

En sık kullanılan mandrel, çelik mandrellerdir. Çelik mandrellerin kolay hareket edebilmesinden ve kromla kaplayarak yüksek parlaklık sağlanabileceğinden dolayı tercih edilirler.

Bazı yapılarda mandrelin çıkarılması mümkün değildir ve kompozit malzemenin bir yapı taşı gibi gözüktür. Örneğin; basınç hortumlarındaki mandrel, kompozitin iç yüzeyindeki izolasyonu sağlayan bariyer yüzey oluşur ve bu hortumun içerisinde basınçlı sıvı ve gazların izolasyonunu sağlar.



Şekil 1.32 Elyaf sarım düzeneği (Işık, 2008)

Elyafın sarımı iki eksenliden altı eksenliye kadar değişir. Birçok nümerik kontrollü sarım makineleri vardır (Işık, 2008).

#### 1.8.3.9 Pultrüzyon (Profil çekme) yöntemi

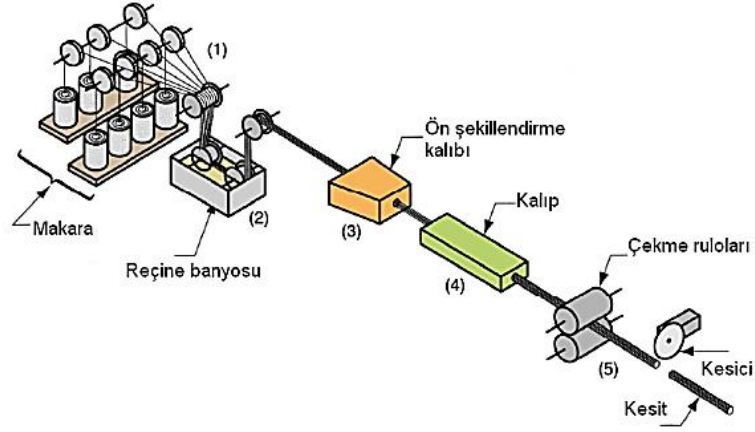
Şekil 1.33'te de görüldüğü üzere takviye elemanları, matris ile doldurulmuş bir içerisinden geçirilir. Takviye elemanları matrisin içerisine daldırıldıktan sonra ısıtılmış bir kalıptan geçirilerek şekillendirilir. Sürekli fiberin kullanımından dolayı elyaf yönünde mukavemette artış gözlemlenir. Takviye yönüne dik yükü karşılamak için özel dokumalar kullanılmaktadır. Bu üretim yönteminde daha çok yarı mamul ürünler üretilir. Örneğin; konvansiyonel plastik, metal ekstrüzyon (Sönmez, 2009).

Avantajları;

- Malzemeden ve zamandan tasarruf sağlanır.
- Otomasyon sayesinde seri üretim yapılabilir.
- Büyük parçaları üretmek mümkündür.
- İşçilik maliyeti düşüktür.
- Elyafların büyük kısmı çekme dayanımını karşılayabilecek şekilde boyuna yerleştirilir.
- Sürekli bir prosestir ve bundan dolayı istenilen uzunlukta üretim yapmak mümkündür.
- Kullanılanacak kumaş veya preprege göre lif-reçine maliyeti daha düşüktür.

#### Dezavantajları;

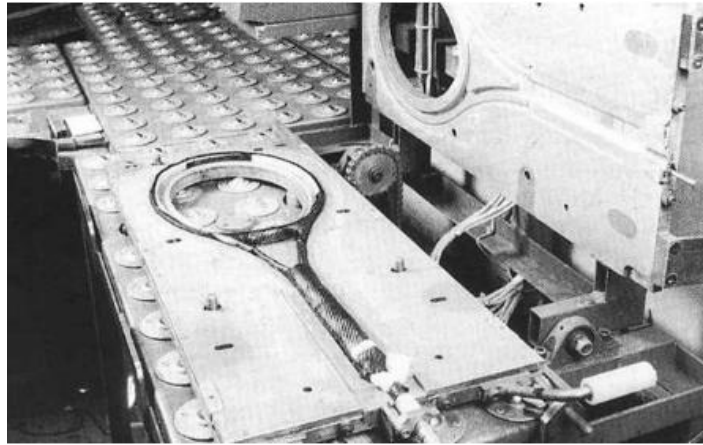
- Elyaflar çekme yönünde yerleştirildiğı için enine mukavemet düşüktür. Bundan dolayı tasarımcıların daha kalın parçalar tasarlamalıdır.
- Kullanılan reçineler kalıba yapışma eğilimi gösterdiği için parçanın yüzey kalitesinde hatalar meydana gelmektedir.
- Reçine kalıp içerisinde uzun süre beklemektedir. Hata olduğu zaman müdahale etmek zorlaşır (Işık, 2008).



Şekil 1.33 Pultruziyon yöntemi aşamaları (Işık, 2008)

#### 1.8.3.10 Matris enjeksiyon yöntemi

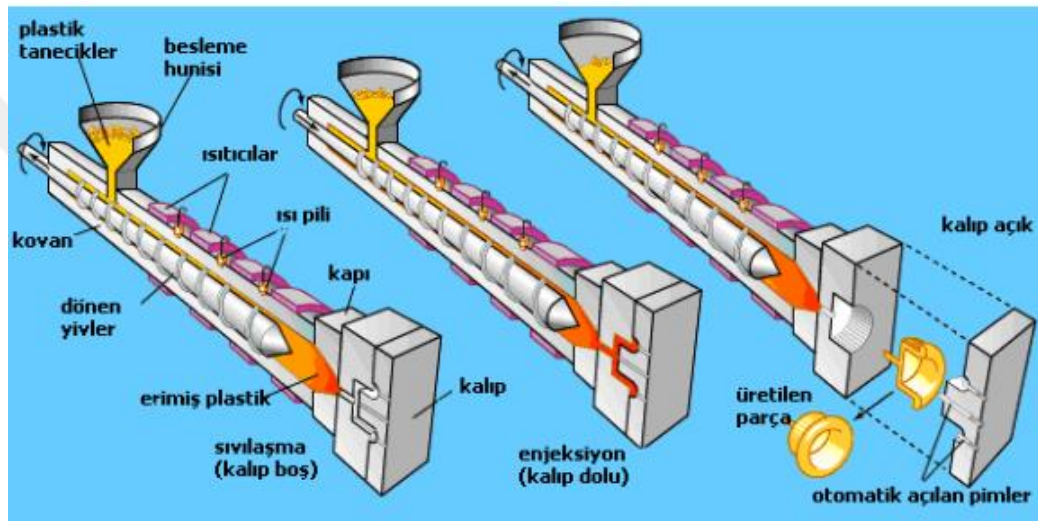
Şekil 1.34’te de görüldüğü gibi takviye elemanı kalıbın boşluğuna yerleştirilir ve düşük viskoziteye sahip matris kalıp boşluğuna enjekte edilir. Matris, yerçekimi etkisi veya basınçla kalıba enjekte edilir. Takviye elemanının daha iyi ıslatılabilmesi için özel durumlarda matris ön enjeksiyon ile kalıba basılabilir. Polimerizasyon ısı ile kalıbın içerisinde gerçekleştirilebilir. Seri üretime uygundur. Metal kalıpların tercih edilmesinin nedeni ısıyı iyi iletmeleleridir (Sönmez, 2009).



Şekil 1.34 Matris enjeksiyon üretim yöntemi ile raket üretimi (Sönmez, 2009)

### 1.8.3.11 Enjeksiyon yöntemi

Kısa fiberlerle üretim yapılacağı zaman kullanılan bir yöntemdir. Şekil 1.35'te de görüldüğü gibi sürekli dönen bir sonsuz vida, fiberi ve matrisi karıştırır. Dönme hareketi homojenliği sağlar. Ayrıca vida dönerken sürtünmeden kaynaklanan bir ısıyı ortaya çıkarır ve karışım ısınır. Karışım kalıbın boşluğuna enjekte edilerek parça üretimi başlar. Takviye elemanının yönü, karışımın kalıp içerisine akışı ile kontrol edilir (Sönmez, 2009).



Şekil 1.35 Enjeksiyon yöntemi ile numunenin hazırlanışı (Işık, 2008)

### 1.8.3.12 Santrifüj yöntemi

Boru, tank, direk, depo gibi silindirik yapıların üretiminde savurma yöntemi kullanılır. İçi boş mandrelin içerisine kırılmış elyaf ve reçine püskürtülür. Yüksek hızla dönen mandrelde oluşan merkezkaç kuvvetinin etkisi ile reçine ve matris laminantın iç yüzeyine yapışır. Santrifüj yöntemi ile üretilen parçanın dış yüzeyi kalıbın iç yüzeyini temsil eder. Çoğunlukla iki yüzeyi de düzgün ürünler elde edilmektedir.

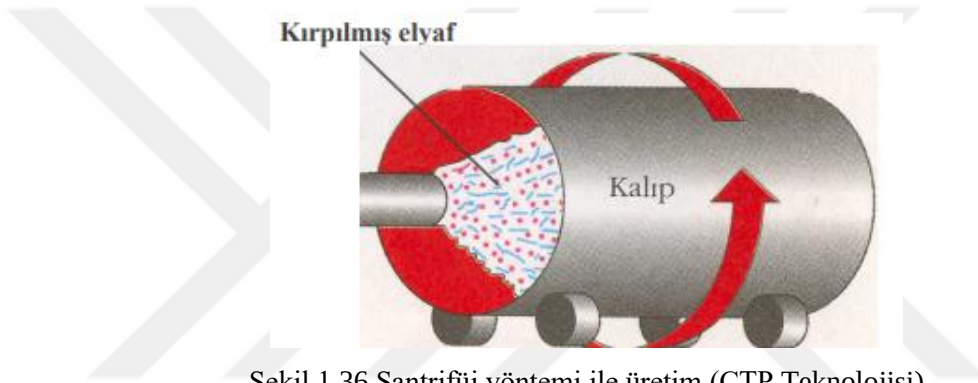
Üretilen parçanın kimyasal etkilere karşı dirençli olması için iç yüzeyine saf epoksi sürülebilir. Püskürtülen epoksi sayesinde yüzey kalitesi artırılabilir. Santrifüj yöntemi ile istenilen şekilde parça elde edildiğinde soğutma sıvısı püskürtülerek kalıp soğutulur.

Avantajları;

- Düzgün bir dış yüzey elde edilmesi
- Üretim sırasında çıkan gazların kontrol edilebilmesi

Dezavantajları;

- Büyük boyutlu parçaların üretiminde döndürme sırasında sorun çıkması ve tül ile iç yüzeye uygulama yapılması (Işık, 2008).



Şekil 1.36 Santrifüj yöntemi ile üretim (CTP Teknolojisi)

Kompozit malzemeler ve arasındaki bağlantı incelenebilir. Aşağıda verilen tabloda kullanılacak malzemeye uygun üretim yönteminin seçilmesinde önemli rol oynar. Üretim yöntemlerindeki farklılığa göre ve ürün ve üretimin arasındaki bağlantıyı anlamak için Tablo 1.7, Tablo 1.8 ve Tablo 1.9'ü incelemek yararlı olacaktır.

Tablo 1.7 Matris ve üretim yöntemi tablosu (CTP Teknolojisi)

|                                        | Termosetler      |            |        |            |         | Termoplastikler |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
|----------------------------------------|------------------|------------|--------|------------|---------|-----------------|-----------------------|--------|--------------|------------|--------------|-----------|-----|-----|------------------------|-------------------|--|
|                                        | Polyester reçine | Vinilester | Epoksi | Poliüretan | Fenolik | ABS             | Akrilik               | Naylon | Polikarbonat | Polietilen | Polipropilen | Polistren | PPS | PVC | Termoplastik Polyester | Yüksek Performans |  |
| El yatırması                           | ■                | ■          | ■      |            | ■       |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Püskürtme                              | ■                | ■          |        | ■          |         |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Pres kalıplama                         | ■                | ■          | ■      |            | ■       |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Takviyeli termoplastik levha kalıplama |                  |            |        |            |         |                 |                       | ■      | ■            |            | ■            |           | ■   |     |                        |                   |  |
| RRIM                                   |                  |            | ■      | ■          |         |                 |                       | ■      |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| RTM                                    | ■                | ■          | ■      | ■          | ■       |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Pultruzyon                             | ■                | ■          | ■      |            | ■       |                 | Halen Geliştiriliyor. |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Elyaf sarma                            | ■                | ■          | ■      |            | ■       |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Otomatik şerit yerleştirme             | ■                | ■          | ■      |            |         |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Santrifüj kalıplama                    | ■                | ■          | ■      |            |         |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Devamlı levha                          | ■                | ■          |        |            |         |                 | ■                     |        |              |            |              |           |     |     | ■                      | ■                 |  |
| Ekstrüzyon                             | ■                | ■          |        |            | ■       | ■               | ■                     | ■      | ■            | ■          | ■            | ■         | ■   | ■   | ■                      | ■                 |  |
| Enjeksiyon kalıplama                   | ■                | ■          |        |            | ■       | ■               | ■                     | ■      | ■            | ■          | ■            | ■         | ■   | ■   | ■                      | ■                 |  |
| Rijitleştirilmiş TP levha              | ■                |            |        |            |         | ■               | ■                     |        | ■            |            | ■            |           |     | ■   |                        |                   |  |
| Rotasyone l kalıplama                  | ■                | ■          |        |            |         |                 |                       |        |              | ■          | ■            |           |     | ■   |                        |                   |  |
| Vakum kalıplama                        | ■                | ■          | ■      |            |         |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Basınçlı torba kalıplama               | ■                | ■          | ■      |            |         |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |
| Otoklav                                | ■                | ■          | ■      |            |         |                 |                       |        |              |            |              |           |     |     |                        |                   |  |

Tablo 1.8 Bazı üretim yöntemlerinin özellikleri (Sönmez, 2009)

| Üretim Yöntemi                             | Çıktı (Adet)    | Çevrim Zamanı             | Yatırım     | İşçilik Maliyeti |
|--------------------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------|------------------|
| El yatırma                                 | 1-1000          | 30 dakika ila birkaç saat | Düşük       | Yüksek           |
| Püskürtme                                  | 1-1000          | 30 dakika ila birkaç saat | Düşük       | Yüksek           |
| Matris Enjeksiyon                          | 200-10000       | 30 dakika ila birkaç saat | Orta        | Orta             |
| Soğuk Kalıplama                            | 500-20000       | 5-30 dakika               | Orta-Yüksek | Orta             |
| Sıcak Kalıplama (keçe ve ön şekillendirme) | Kitlesel Üretim | 1 ila 10 dakika           | Yüksek      | Orta             |
| Sıcak Kalıplama (Prepreg)                  | Kitlesel Üretim | 2 ila 5 dakika            | Yüksek      | Düşük            |
| Yüksek Basınç Enjeksiyon                   | >10000          | -                         | Yüksek      | Düşük            |
| Otoklav                                    | <5000           | -                         | Orta        | Orta             |
| Filament Sarma                             | <10000          | Parçaya göre değişken     | Yüksek      | Yüksek           |
| Santrifüj Kalıplama                        | -               | 10 dakika ila Birkaç saat | Yüksek      | Düşük            |
| Pulturuzyon                                | Sürekli         | Sürekli                   | Yüksek      | Düşük            |
| Sürekli Emdirme                            | Sürekli         | Sürekli                   | Yüksek      | Düşük            |

Tablo 1.9 Parça boyutları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları (Sönmez, 2009)

| Parça boyutu,<br>Maksimum alan<br>(m <sup>2</sup> ) | Kalınlık<br>(mm)                | Örnek Kullanım                     | Yüzey<br>Pürüzlülüğü | Üretim Yöntemi                                |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| Nerdeyse sınırsız,<br><300                          | Sınırsız,<br>genellikle<br>2-10 | Denizcilik                         | 1                    | El yatırma                                    |
| Neredeyse sınırsız                                  | Sınırsız,<br>genellikle<br>2-10 | Denizcilik                         | 1                    | Püskürtme                                     |
| 15 m <sup>2</sup> 'ye kadar                         | 1-10                            | Otomotiv gövde<br>elemanı          | 2                    | Matris enjeksiyon                             |
| 15 m <sup>2</sup> 'ye kadar                         | 3-10                            | Otomotiv gövde<br>elemanı          | 2                    | Soğuk kalıplama                               |
| 5 m <sup>2</sup> 'ye kadar                          | 1-16                            | Otomotiv gövde<br>elemanı          | 2                    | Sıcak kalıplama (keçe<br>ve ön şekillendirme) |
| 5 m <sup>2</sup> 'ye kadar                          | 2-10                            | Otomotiv gövde<br>elemanı          | 2                    | Sıcak kalıplama<br>(prepreg)                  |
| 10 m <sup>2</sup> 'ye kadar                         | -                               | Elektrik-<br>elektronik<br>eşyalar | 2                    | Yüksek basınç<br>enjeksiyon                   |
| 30 m <sup>2</sup> 'ye kadar                         | 3-15                            | Boru, tüp                          | 2                    | Santrifüj                                     |
| 20 m <sup>2</sup> 'ye kadar                         | -                               | Havacılık                          | 1                    | Otoklav                                       |
| 5 cm-25 metre arası<br>özel ekipmanlar              | 1-10                            | Basınç tankı                       | 1                    | Filament sarma                                |
| Limitli kesit                                       | 3-20                            | Profil                             | Tümü                 | Pultrüzyon                                    |
| Limitli kesit                                       | 1-4                             | Çatı malzemesi                     | 2                    | Sürekli emdirme                               |

## 2. LİTERATÜR

Ramesh vd., (2015) sonlu elemanlar analizi kullanılarak kenevir-cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin analizini incelemişlerdir. Bu çalışmada  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  olmak üzere iki farklı fiberin oryantasyonu incelenmiştir. Kenevir ve cam elyafı kullanarak kısmen çevre dostu kompozit yapı elde etmişlerdir. Numunelerin eğilme, çekme ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Çekme numunesi için ASTM D638, eğilme testi için ASTM D790 ve darbe testi için ASTM D6110 standartları kullanılarak numuneler kesilmiştir. Kompozit yapıların taramalı elektron mikroskobu ile kırık yüzeylerini incelemişlerdir. Numunenin elastik davranışını analiz etmek için ve mekanik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak için NX Nastran 9.0 yazılımını kullanmışlardır. Liflerin açısı  $90^\circ$  olduğu zaman çekme mukavemeti 69,86 MPa, eğilme mukavemeti 162,566 MPa iken  $0^\circ$ 'de çekme mukavemeti 49,27 MPa, eğilme mukavemeti 164.35 MPa bulmuşlardır.

Bhoopathia vd., (2014) muz/kenevir/cam takviyeli kompozitlerin imalatı ve özelliklerini değerlendirmişlerdir. İlk numune cam/muz, ikinci numune kenevir/cam ve üçüncü numune cam/kenevir ve muz liflerinden üretmişlerdir. Alt ve üst katlar cam elyafı ortaya ise doğal elyafları yerleştirmişlerdir. ASTM D638'e göre çekme testi, ASTM D790'a göre eğilme ve ASTM A370'e göre darbe testi numunesi kesilmiştir. Çekme, eğilme ve darbe testlerini yapmışlardır. Çekme testinin sonucunu en iyi veren numune muz/cam elyafı ile üretilmiş olan kompozit yapıda, 39,5 MPa elde etmişlerdir. Eğilme ve darbe mukavemetinde ise muz/kenevir/cam kompozitinden üretilmiş olan numuneden elde etmişlerdir.

Bhoopathi vd., (2018) kenevir-cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik dayanımları üzerinde çalışmalar konusunu incelemişlerdir. Cam elyafı, kenevir ve epoksi reçine kullanarak kompozit yapı elde etmişlerdir. El yatırması ile üretilen kompozit numunelere çekme, eğilme ve darbe dayanımlarını incelemişler ve SEM görüntülerine bakmışlardır. Kompozitin üretiminde lifler kalıp boyutunda kesilmiş ve belirli bir düzen içerisinde 5 kat kenevir ve epoksi şeklinde katmanlar oluşturulup en üst ve en alt katmanları cam elyafındandır. Çekme testi numunesi için ASTM D638,

eğilme testi için ASTM D790 ve darbe testi numunesi için ASTM A370 standardına göre numuneler kesilmiştir. Maksimum gerilme dayanımı 38,47 MPa, darbe enerjisi 4,99-5,83 J olarak bulunmuştur. Taramalı elektron mikroskobu ile içyapıyı incelemişlerdir.

Neves vd., (2017) kenevir elyafı takviyeli epoksi kompozitlerin çekme özelliğini incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kenevir elyafı içeren kompozit üretimi yapmışlardır. Köpek kemiği şeklinde 5,8x4,5 mm dikdörtgen şekilli kalıpta çekme numuneleri üretilmiştir. Çekme mukavemetini ve elastik modülü bulmuşlardır. Yapıdaki kenevir lifinin artması ile mukavemette de artış gözlemlenmiştir. Fakat; elastik modül %30 kenevir lifi takviyeli kompozit malzemeden üretilen numunede en yüksek değerde olduğunu gözlemlenmiştir. Maksimum gerilme değeri 53,08 MPa olarak belirlenmiştir. SEM görüntüsü olarak içyapı incelemesi yapmışlardır.

Neves vd., (2019) epoksi biyokompozitleri ile kenevir lifi ile güçlendirilmiş polyester matrisler arasındaki karşılaştırmalı mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kalıbın içerisine yerleştirilmiş ağırlıkça %10, 20 ve %30 kenevir lifi ile kompozit üretmişlerdir ve kompozit üretiminde basınç kullanılmıştır. 150xx120x7 mm bir kalıba sıralı bir şekilde yerleştirilerek üretim sağlanmıştır. ASTM D790 standardına göre eğilme testi numunesi kesilmiştir. Epoksi ve polyester kullanılarak üretilen kompozitlerin çekme dayanımları, eğilme dayanım ve modüllerini karşılaştırmışlardır. Epoksi ile üretilen kompozitlerde kenevir lifi takviyesi artışı ile eğilme dayanımında artış gözlemlenirken, polyester ile üretilen kompozit malzemelerde %20 kenevir lifi takviyesinden sonra eğilme dayanımında azalma görülmüştür. Her iki reçine ile yapılan çekme deneyinde ise lif artışı ile çekme mukavemetinin artışı gözlemlenmiştir.

Ribeiro vd., (2021) kenevir kumaşı ile epoksi kompozitlerin mekanik, termal ve balistik performansını incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak kenevir kumaşının hacimce oranları %10, %20 ve %30'dur. 150x120x10 mm olan metal bir kalıpta, 5 MPa basınç altında 24 saat boyunca liflerin sabit kalacağı şekilde üretilmiştir. Dinamik Mekanik analiz için numuneler ASTM D4065-01 standardına uygun olarak

kesilmiştir. Her bir numunenin yoğunluğu  $1,11 \text{ g/cm}^3$  olarak tespit edilmiştir. Fourier dönüşümü kızılötesi spektromu (FTIR), izod darbe testi, çekme testi, ısı analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve balistik testler yapmışlardır. Sadece %30 kenevir takviyeli kompozit numune balistik testten geçmiştir. Çekme testinde de diğer testlerde olduğu gibi en başarılı olan kompozit yapı %30 kenevir kumaşı takviyeli numuneler olduğunu belirlemişlerdir.

Madhusudhana vd., (2018) kenevir elyafı takviyeli polimer kompozitlerin kırılma tokluğu üzerindeki parametre etkilerinin deneysel olarak incelemişlerdir. Keneviri %5 NaOH çözeltisi ile yıkayıp güneş altında kurutulmuştur. Matris malzemesi olarak vinilester ve Hindistan cevizi kabuğu tozu, takviye elemanı olarak kenevir kullanılmıştır. Kompozit malzeme el ile yatırma yöntemi kullanmışlardır. Numuneler ASTM D5045 standartlarına göre kesilmiştir. Tek kenarı çentikli eğme numunesi dikdörtgen şeklindedir. Çekme ve kırılma tokluğu testi yapmışlardır. Dolgu malzemesinin kalınlığa etkisinin çekme mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir ve sonuç dolgu içeriğinin artmasıyla başlarda yüksek olan mukavemet sonra azalmıştır. %10 dolgu malzemesine sahip olan 10 mm kalınlığındaki numune en iyi sonucu vermiştir. Dolgu malzemesi ile kenevir oranı arttıkça numunelere yapılan çekme testlerinde ise mukavemetin azaldığını gözlemlemişlerdir. %15 dolgu malzemesi kullanıldığında maksimum çekme mukavemetini elde etmişlerdir. Takviye elemanının yüzdesi arttığında da mukavemetin azaldığını görmüşlerdir. En yüksek çekme mukavemeti %25 oranında takviye elemanı kenevir olan numunede gözlemlemişlerdir.

Akash vd., (2018) sisal/kenevir elyaf takviyeli hibrit kompozitler üzerine deneysel bir çalışma üzerinde çalışmışlardır. Sisal ve kenevir lifleri 10-15 cm arasında kesilmiş ve NaOH çözeltisi ile yıkanmıştır. 3 gün kuruması beklendikten sonra matris olarak epoksi reçine kullanılarak, soğuk pres üretim yöntemi ile numuneler üretilmiştir. Sisal ve kenevir oranı yarı yarıyadır. %10,20,30,40 ve %50 lif ağırlığı ile hibrit kompozit üretilmiştir. Eğilme testi için ASTM D790, su emme testi numunesi için ASTM D2240 standartlarına göre kesilmiştir. Levhaların eğilme dayanımı ve sertlik dayanımı incelemişlerdir. Yüzde lif artışı ile mukavemette artış gözlenmiştir. Fakat %40'dan sonra mukavemette düşüş gözlemlenmiştir. Sertlik ise elyaf artışı ile

düzenli artış gözlenmiştir. Bunun sebebi ise ağırlığın artması ile tıkanma derecesinde artış olmasıdır.

Sair vd., (2018) kenendir lifinin poliüretan ile güçlendirilmiş kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kenendir lifleri 5-10 cm aralığında kesilmiş olup ağırlıkça lif oranları %0; 5; 10; 15; 20; 25 ve %30'dur. Su soğurumu için ASTM D2842, termal iletkenlik numunesi için ASTM C177, çekme testi için ASTM D638, eğme testi için ASTM D790 standartları kullanılarak numuneler kesilmiştir. Çekme ve eğilme mukavemeti ağırlıkça %15'te maksimum değerler gözlemlenmiştir. %20'de düşüş gözlemlenmesinin sebebi, homojenliğin sağlanamamasından kaynaklanmıştır. Lifin matris ile bağlanamaması tespit edilmiştir.

Thiagamani vd., (2019) kenendir/sisal elyaf takviyeli biyoepoksi hibrit kompozitlerin mekanik, absorpsiyon ve şişme davranışlarının istifleme dizilerinin etkilerini araştırmışlardır. Numuneler dört kattan oluşmuştur. İlk numune 4 kat çift yönlü dokuma kenendir paspas kumaştan, ikinci numune 4 kat sisal paspas kumaştan, üçüncü numune kenendir+sisal+sisal+kenendir paspas kumaşlardan, dördüncü numune sisal+kenendir+kenendir+sisal paspas kumaştan, beşinci numune kenendir+kenendir+sisal+sisal paspas kumaştan, altıncı numune ise kenendir+sisal+kenendir+sisal paspas kumaştan yapılmıştır. Çekme testi için ASTM D3039, sertlik testi için ASTM D2240, basınç testi için ASTM 695 ve su soğurumu testi için ASTM D570 standartları kullanılarak numuneler kesilmiştir. Çekme, sertlik, basınç, su soğurumu testi yapılmıştır. Çekme mukavemeti maksimum sadece kenevirden oluşmuş kompozit yapıdan elde etmişlerdir. Sertlik testi en iyi sonucu epoksiden sonra dört kat kenendir elyafı vermiştir. Basınç testinde ise en iyi sonucu veren epoksi olup daha sonra dört kat kenendir vermiştir. Sisal/kenendir arasındaki lif uyumunun düşük olmasından dolayı sadece epoksiye göre daha düşük değerler elde etmişlerdir.

Sawpan vd., (2012) kenendir lifi takviyeli polilaktik ve doymamış polyester kompozitlerin eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Kenendir lifine silan ve alkali tedavisi uygulamışlardır. Matris olarak polyester kullanılmıştır. Kısa (4,9 mm) ve uzun (65 mm) lif uzunluğuna sahip kompozit yapılar üretilmiş olup, kısa lif oranının %30,40

ve %50 ve uzun lif oranının %30,34 ve %40 oranlarındadır. Sıcak pres ile 3 dakika boyunca 5 MPa basınç ve 185°C’de üretmişlerdir. Eğilme testi için ASTM D790 standardına uygun olarak kesilmiştir. SEM ve optik mikroskop ile içyapısı numunelerin incelenmiştir. Eğilme testinin maksimum değerler verdiği numune kısa silan/alkali iyileştirmesi yapılmış ve %30 ağırlığında olan kompozit malzemedir. %30’dan fazla lif oranı olduğunda matris ile homojen şekilde yapışmadığından dolayı gerçek sonuçlar elde edilememiştir.

Miritoiu vd., (2019) kenevir lifleri ile güçlendirilmiş bazı kompozit malzemeler arasındaki karşılaştırmaları incelemişlerdir. Çekme testi için 200x25x4,5 mm ve eğilme testi için dammar bazlı kompozit numune kesilmiştir. Daha sonra kenevir takviyeli numune için 170x25x6 mm boyutlarında çekme testi numunesi kesilmiştir. Eğme testi için 100; 120; 140 ve 160 mm boyutlarında 20 ve 25 mm et kalınlığında numuneler kesilmiştir. %60 dammar, %40 epoksi kullanılarak üretilen kompozitlerin çekme mukavemeti, poisson oranı ve kopma uzamasını incelemişlerdir. Kenevir/epoksi kompozitlerine göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Elkhaoulani vd., (2013) doğal liflere dayalı polimer kompozitin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %5; 10; 15; 20; 25 ve %30 kenevir lifi kullanılarak epoksi ile karıştırılmıştır. 200°C sıcaklığa çıkartılarak enjeksiyon kalıplama yapmışlardır. Çekme testi için ISO 527-1:2012 standartı uygulanırken burulma testi numunesi 58x5,5x2 mm boyutlarında numune kesilmiştir. Maksimum değeri ağırlıkça %20 kenevir lifi ile üretilen kompozit malzemedan elde etmişlerdir. Bunun sebebi ise lif ve matris yapışmasının kötü olmasından kaynaklanmıştır. Çekme ve burulma mukavemetlerinde artış gözlemlenmiştir.

Asthana vd., (2021) epoksi bazlı ipek, kenevir ve çelik yününün mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada her bir takviye elemanı ağırlıkça %10 kullanılmıştır. Ayrı ayrı kalıba yerleştirilen takviye elemanlarının üzerine epoksi reçine dökülmüş ve basınç altında kurumaya bırakmışlardır. Eğilme dayanımı en yüksek kenevirden yapılmış kompozit malzeme verirken, darbe dayanımında ise çelik yününden yapılmış epoksi kompozit verdiğini gözlemlemişlerdir.

Baghaei vd., (2017) kenevir liflerindeki ligninin lakkaz tarafından oksidasyonunun mekanik üzerine etkileri kenevir liflerinin ve tek yönlü lif/ epoksi kompozitlerin özelliklerini incelemiştir. Lakkaz aktivitesi, kenevirden ligninin uzaklaştırılması olarak ilk aşama tamamlanmıştır. Ayrıca liflere endo-poligalakturonaz (EDTA) tedavisi de uygulanmıştır. Endo-poligalakturonaz (EPG) tedavisi liflerin hücre duvarlarını yıkmak için kullanılır. 140 mm uzunluğunda kesilmiş lifler, kalıba yerleştirilerek farklı hacimlerde lif yoğunlukları değişmektedir. EDTA ve EPG ile pektin uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen kompozitlerde sertlik artışı gözlemlenmiştir. %50'lik lif hacmine sahip %0,5 EDTA+%0,2 EPG+0,5 lakkaz ile işlenmiş kendinden üretilen kompozit numunenin 42 GPa sertliği ve 326 MPa çekme değerini bulmuşlardır.

Lebrun vd., (2013) tek yönlü kenevir/kağıt/epoksi ve keten/kağıt/epoksi kompozitlerinin çekme ve emprenye davranışını incelemiştir. Siyah ladin liflerinden hamur üretilmiştir. Bu hamurdan suyu çıkarmak için preslenmiş ve kağıt haline getirilmiştir. 100°C sıcaklıkta 15 dakika boyunca kurutulmuştur. Kağıt kompozitin içinde ve dışında yer almıştır. Çekme deneyi numunesi için ASTM D638 ve ASTM D3039 standartları kullanılarak kesilmiştir. Deneyin sonuçlarına göre young modülü yani elastikliği azalmıştır. Kağıdı bağlayıcı olarak kullanmışlardır. Kusurları kapatmaktadır ve homojenliğini sağlamışlardır. Tek yönlü keten ve kağıttan üretilen kompozit numune 173,1 MPa olarak bulmuşlardır.

Vaisanena vd., (2017) kompozit uygulamalar için kenevir liflerinin modifikasyonunu incelemiştir. Kenevir lifleri alkali, enzimatik, buhar ve odun distilat iyileştirmelerini yapmışlardır. Kompozitler %30 kenevir lifi oranıyla üretilmişlerdir. 250x2520x3 mm kalıpta üretilmiş olan kompozit plakalar ISO 178, darbe testi ISO 179-1 ve eğilme testi ISO 527-1'e göre kesilmiştir. Su emme ISO 62'ye göre kesilmiştir. Mekanik işlenmiş olan kenevirlerden üretilmiş kompozitlerin çekme değerleri yüksektir. Kenevir epoksi içerisinde başarılı bir şekilde takviye elemanı görevini görmüşlerdir. Katmanlar 0° ve 90° lif açıları ile numuneyi üretmişlerdir. Hasır kenevir kumaşının üzerine iyileştirme yapılmış kenevir liflerini püskürtmüşlerdir. Buhar ile işlenmiş olan kenevir lifleri ile kompozit üretememişlerdir. Sebebi ise ağırlıkça yeterli miktarda takviye elemanı olmamasıdır. Çekme ve eğilme testi için test

hızını 1 mm/dk olarak ayarlamışlardır. Mekanik olarak işlenmiş olan kenevir lifinden üretilen kompozit numunenin çekme mukavemeti 64 MPa olarak tespit etmişlerdir. Diğer işlemlerin kenevir lifini zayıflattığını ve kompozit malzemede mukavemet özelliklerinin zayıfladığını bulmuşlardır.

DiLandro vd., (2014) kenevir takviyeli ve biyobazlı epoksi matrisli kompozitleri incelemişlerdir. Biyoepoksi ve epoksi kullanılarak karşılaştırma yapmışlardır. 240 g/m<sup>2</sup> kenevir düz dokuma elyafı kullanılmışlardır. Kurlenme özelliğini belirleyebilmek için diferansiyel taramalı kalorimetrisini kullanmışlardır. Lif açısı 0/0/45/45/0/45/45/0/0 olarak numune üretmişlerdir. Kullanılan kumaşlar kenevir, keten, keten/karbon, cam ve karbon elyafıdır. Reçine enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanarak numuneleri üretmişlerdir. Su emme testi ASTM D570, Çekme testi ASTM D3039 ve eğilme testi ASTM D7264'e göre yapılmıştır. Giriş enjeksiyon basıncını 0,5 bar olarak ayarlamışlardır. Elyaf oranı hacimce %40 olarak belirlemişlerdir. Kompozit yapı kolaylıkla üretilmiştir. Çekme testi sonucu 63 MPa olarak bulmuşlardır.

Suriyaprakash vd., (2022) güçlendirilmiş epoksi reçineli rami, kenevir lifi ve Hindistan cevizi kabuğu parçacık hibrit kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerine deneysel araştırma yapmışlardır. Lifleri temizledikten sonra NaOH çözeltisinde 2-3 saat bekletip kurutmuşlardır. Çekme testi için ASTM D3039, eğme testi için ASTM D790 ve darbe testi için ASTM A256 standardına göre numuneler kesilmiştir. En iyi mekanik test sonucu veren numune 2'dir. Numune 2'nin içeriği %14 kenevir lifi, %14 rami ve %2 hindistan cevizi kabuğu takviyesi yapmışlardır. Eğilme testi sonucu 104,7 MPa ve çekme testi sonucu 71,5 MPa olarak bulmuşlardır.

Eski vd., (2021) kenevir lifi ve kenevir-karbon lifi kompozitleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Kırpılmış kendir lifleri yaklaşık olarak 1 ve 2 cm'dir. Kendir lifi 20x20 cm kalıplara sığacak bir şekilde ayarlanmıştır. Kendir lifleri rastgele dağılım sağlanmıştır. Kenevir lifleri 90° açı ile üretilmiştir. Kendir liflerinin her bir katmanı pres ile sıkıştırma işlemine tabii tutulmuştur. Kompozit numunelerin her biri 4 kat preslenmiş kendir liflerinden oluşmaktadır. 90°, 60° ve 45° lif yönlendirmesi ile üretilmiştir. Sandviç yapıyı karbon elyafı ile elde edilmiştir. Epoksi ile kendir liflerini 24 saat kalıpta bekletildikten sonra oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Eğilme

testi için ASTM D790 standardı kullanılmıştır. Optik mikroskop görüntüsü incelenmiştir. Yoğunluk ölçümü hacim ve numune ağırlığı ile hesaplanmıştır. Kırpılmış kendir lifi ve 90° yönlendirilmiş karbon elyafı ile üretilmiş kompozitler numuneler en yüksek gerilme değerini veren numunelerdir.



### **3. AMAÇ, MATERYAL ve METOT**

#### **3.1 Amaç**

Bu çalışmada el ile yatırma üretim yöntemi kullanılarak kendir liflerinin mekanik özellikleri ve cam/kevlar elyafı ile farklı kombinasyonlar uygulayarak mukavemet değerlerini arttırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla 0°, 45° ve 60° olmak üzere 3 farklı lif yönlendirmesi ile üretim gerçekleştirilmiştir. Daha iyi mekanik özellikler elde edebilmek için kevlar ve cam elyafları takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Farklı elyaf dizilimleri ile dayanım değerlerinin artması amaçlanmıştır. Matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak kendir lifi, cam elyafı ve kevlar elyafı kullanılmıştır. Burada kendir lifi el ile dokuma yapılarak elde edilen takviye kumaşının ağırlığı 400 gr/m<sup>2</sup> düzeyindedir.

Üretilen kompozit numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için üç noktalı eğme ve çekme testi yapılarak mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Elde edilen kompozit yapı optik mikroskop ile incelenmiş ve çentik darbe tokluklarındaki değişim incelenmiştir.

#### **3.2 Materyal**

Yüksek lisans tezi kapsamında doğal bir fiber olan kendir lifi ve kendir/cam elyafı, kendir/kevlar elyafı ile üretilmiş kompozit numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Kendir liflerinin kompozit yapı içerisinde düzgün dağılım göstermesi için kendir liflerinden bir dokuma yapılmıştır. 30x45 cm boyutlarında üretilen numunelerde yaklaşık 55 gr kendir lifi kullanılmış, elde edilen dokumanın ağırlığı yaklaşık olarak 400 gr/m<sup>2</sup> düzeyinde olmuştur. Daha sonra el ile yatırma yöntemi ile kendir takviyeli kompozit numune üretilmiştir. Takviye malzemesi olarak kendir lifi ve matris olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Kompozit plaka halindeki numuneler ASTM D638 ve ASTM D790'a göre çekme ve üç noktalı eğme çubuğu olarak kesilmiştir. Numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

### 3.2.1 Kenevir (Kendir) Lifi Dokuma

HEMP BOUQUET KASTAMONU şirketinden temin edilen kendir lifleri mekanik olarak elle tarama yöntemi ile temizlenmiş, kısa liflerden arındırılmıştır. Temizliği yapılan lifler 30x60 cm boyutundaki ahşap çerçevede el ile dokunmuştur. Çözüğü ipi olarak sentetik ince iplikler kullanılmış, çözgü iplikleri arasındaki mesafe 3,75 mm olarak ayarlanmıştır. Her bir numune için 55 gr  $\pm$  2 gr kendir lifi kullanılarak ortalama 400 gr/m<sup>2</sup> düzeyinde yoğunluklu dokumalar elde edilmiştir. Şekil 3.1’de kendir lifinin örülmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kaskakta kendir lifinin örülmesi

Şekil 3.2’de kaskaktan çıkarılmış kendir elyafından örülmüş dokuma görülmektedir. Elyaf çıkarıldıktan sonra dokuma kumaş halinde kalabilmesi için çözgü iplikleri birbiri ile düğümlenmiş ve liflerin stabil halde kalması sağlanmıştır.



Şekil 3.2 Örölmüş ve kasnaktan çıkarılmış kendir lifi

### 3.2.2 Kevlar Elyafı

Kevlar (aramid) elyafı kompozitshop.com sitesinden temin edilmiştir. Kevlar kumaş, 200 gr/m<sup>2</sup> ağırlığındadır.

### 3.2.3 Cam Elyafı

Cam elyafı kompozitshop.com sitesinden temin edilmiştir. Deneylerde 200 gr/m<sup>2</sup> ağırlığındaki cam elyaf kumaş kullanılmıştır.

### 3.2.4 Epoksi Reçine

Şeffaf, ince döküm reçine kullanılmıştır. Epoksi, epoksirecine.com sitesinden temin edilmiştir. Üreticinin kullanım talimatları uyarınca 2/1 oranında epoksi ve sertleştirici kullanılmıştır. Elde edilen karışım 5 dakika süresince homojen bir yapı elde etmek için karıştırılıp kullanılmıştır.

## 3.3 Metot

Bu çalışmada 0°, 45°, 60° lif açıları ile kendir elyafları ile kompozit üretilerek, onların çekme, 3 noktalı eğme sonuçları araştırılmış ve optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir.

### 3.4 Deney Numunelerinin Hazırlanması

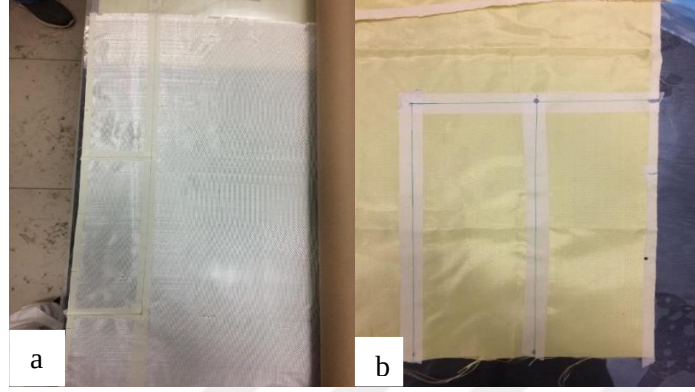
Deneyisel çalışmada, takviye elemanı olarak kendir, cam elyafı (E-Glass) ve kevlar elyafı kullanılmıştır. Kendir lifi dokunduktan sonra yaklaşık 400 gr/m<sup>2</sup> ağırlığındadır. Matris malzemesi olarak şeffaf, ince döküm epoksi kullanılmıştır.

Tablo 3.1 Numunelerin numaralandırılması

|           | Numunelerin İçyapısı   | Lif Açıları |
|-----------|------------------------|-------------|
| Numune 1  | Kendir                 | 0°          |
| Numune 2  | Kendir+Cam             | 0°          |
| Numune 3  | Kendir+Kevlar          | 0°          |
| Numune 4  | Kendir                 | 45°         |
| Numune 5  | Kendir+Cam             | 45°         |
| Numune 6  | Kendir+Kevlar          | 45°         |
| Numune 7  | Kendir                 | 60°         |
| Numune 8  | Kendir+Cam             | 60°         |
| Numune 9  | Kendir+Kevlar          | 60°         |
| Numune 10 | Kendir+Cam (11 kat)    | 0°          |
| Numune 11 | Kendir+Kevlar (11 kat) | 0°          |
| Numune 12 | Cam (6 kat)            | 0°          |
| Numune 13 | Kevlar (6 kat)         | 0°          |

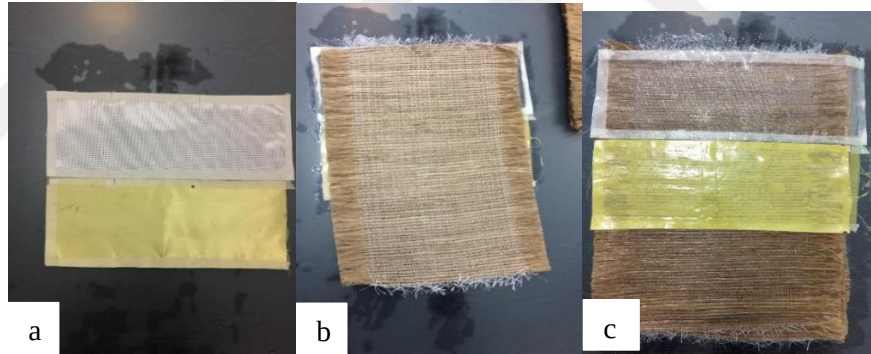
Deney numunelerinin üretiminde elle temizlenmiş olan kendir elyafı önce 0° lif açısı yapacak şekilde yatırılmıştır. Üretim yapılacak olan cam yüzey iyice selülozik tiner ile silinerek yüzeyde bulunan kir ve toz uzaklaştırılmıştır. Temizlenmiş yüzeye kalıp ayırıcı dökülüp bez ile düzgün bir şekilde dağıtılıp kuruması beklenmiştir. Daha sonra bir lifi üç parçaya bölünecek şekilde ayarlanıp cam ve kevlar elyafı kesilmiştir (Şekil 3.3). İlk kat olarak cam ve kevlar elyafı yerleştirilerek epoksi ile sabitlenmiştir. Daha sonra kendir elyafının ilk katı yerleştirilmiş, ince olacak şekilde bir kat epoksi sürülmüştür. Tekrar kendir elyafı yerleştirilerek bu işlem 8 kat kendir elyafı olacak şekilde tekrarlanmıştır. Cam ve kevlar elyafı üst ve son tabaka olarak konumlandırılmış ve üretim süreci tamamlanmıştır (Şekil 3.4). Daha sonra kompozit yapının içerisinde hava kalmaması için roll-on ile baskılama işlemi yapılarak numune içinde kalan, gözle görülen hava kabarcıklarının yapıdan uzaklaştırılması ve yapının yoğunluğunun artırılmasına çalışılmıştır. Üretici firma talimatları gereği mekanik özelliklerin tam olarak oluşması için 1 hafta beklenmiş, testler onuncu günde yapılmıştır.

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi önce kalemle kesilecek yerlere nokta koyulup kabaca ölçülendirilmiştir. Noktalar arasına kağıt bant yapıştırılıp kesim için cetvel yardımıyla çizgiler çekilmiştir. Kesim makası ile çizgiler üzerinden kesilmiştir.



Şekil 3.3 Cam (a) ve kevlar (b) elyafının ölçülmesi ve kesilmesi

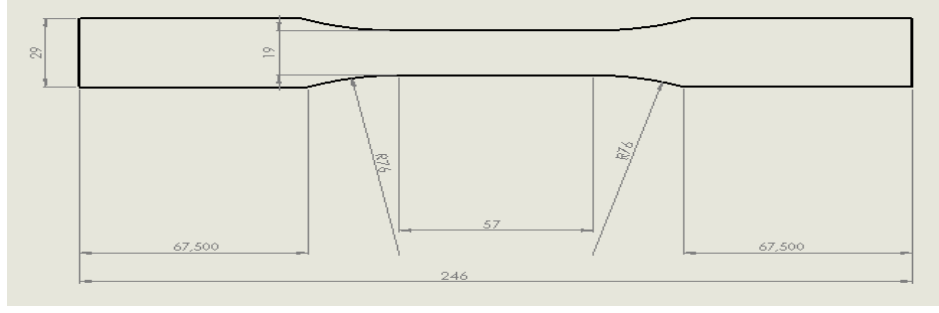
Diğer numunelerde aynı aşamalardan geçilerek üretilmiştir.



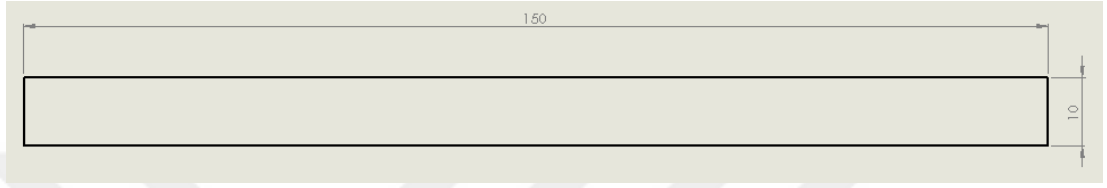
Şekil 3.4 Numune1, numune2 ve numune3'ün cam ve kevlar elyafının yerleşimi (a), kendir dokumasının yerleşimi (b) ve sandviç yapının tamamlanması (c)

### 3.5 Numunelerin Hazırlanması

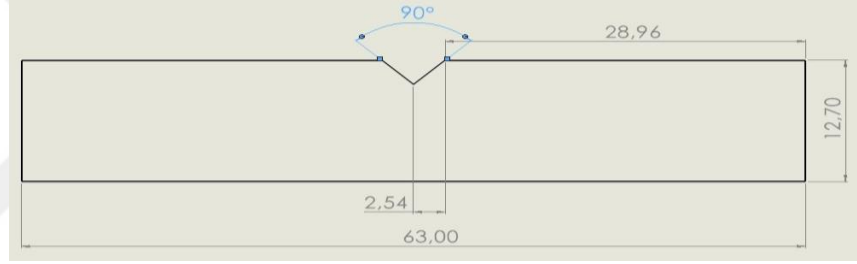
Üretilen levhalar ASTM D638'e göre çekme çubuğu Şekil 3.5'te, ASTM D790'a göre üç noktalı eğme çubuğu Şekil 3.6'da ve ASTM D256'ya göre darbe testi çubuğu Şekil 3.7'de teknik resimleri verilmiştir. ASTM standartlarına göre kesilmiş olan numunelerin pürüzlü yüzeyler ince zımpara ile düzeltilmiştir. Kuru bez ile temizleme işlemi yapılmıştır. Numuneler asetatlı kalem kullanılarak sırayla numaralandırma işlemine tabii tutulmuştur. Numaralar sağ ve sol bağlantı bölgesi olmak üzere iki ucuna yazılmıştır.



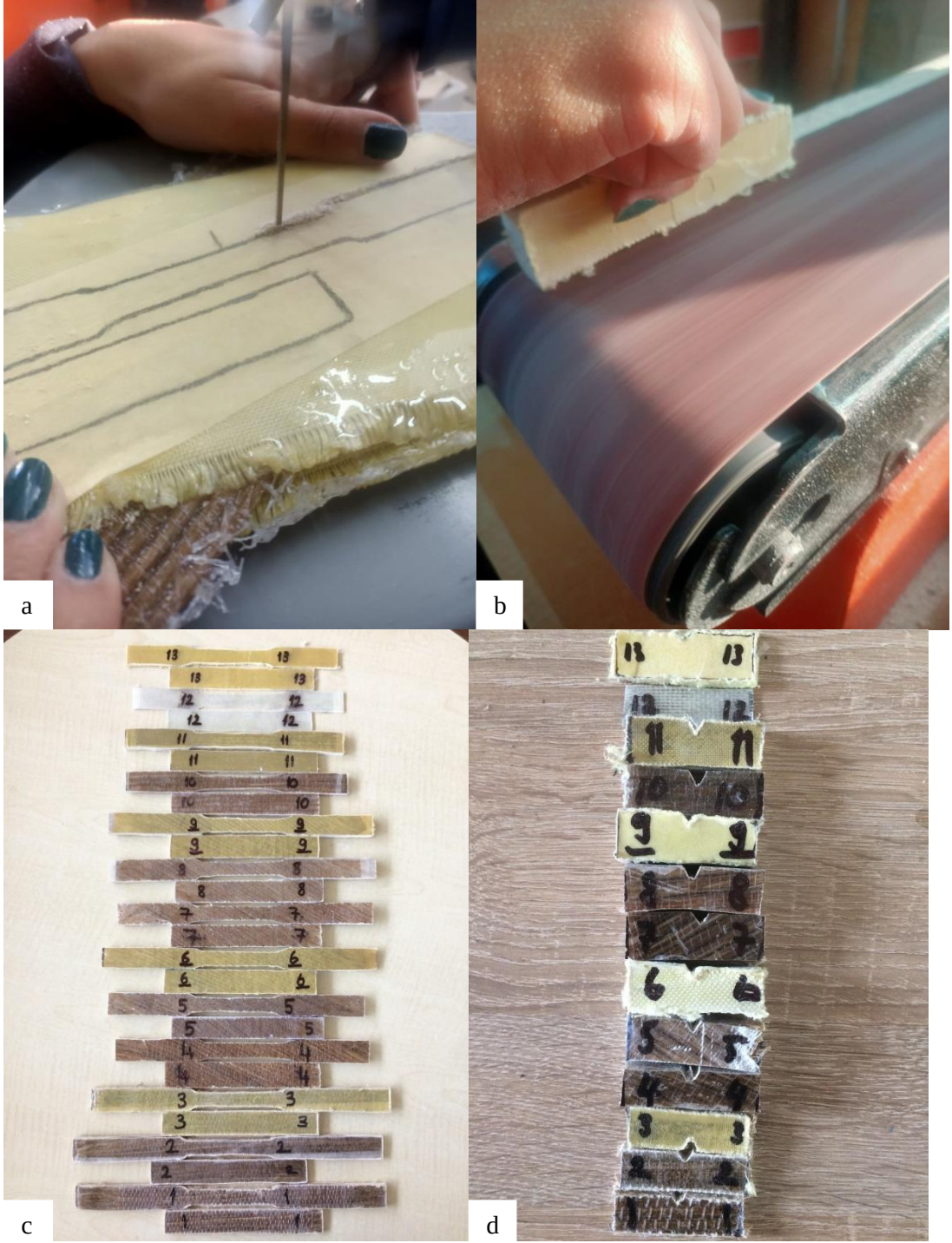
Şekil 3.5 ASTM D638 standardına göre çekme çubuğu teknik resmi



Şekil 3.6 ASTM D790 standardına göre üç noktalı eğme çubuğu teknik resmi



Şekil 3.7 ASTM D256 standardına göre darbe çubuğu teknik resmi



Şekil 3.8 Kompozit levhadan çekme çubuğu numuneleri, üç noktalı eğme çubuğu numuneleri ve darbe testi numunesi deney üretimi (a), numunelerin zımparalanması (b), çekme ve üç noktalı eğme numuneleri (c) ve çentik darbe tokluğu numuneleri (d)

#### 4. DENEY SONUÇLARI

Kendir ile üretilmiş kompozit numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi için;

- Çekme deneyi
- Üç noktalı eğme deneyi
- Çentik darbe tokluğu testleri uygulanmıştır.

##### 4.1 Çekme Deneyi Test Sonuçları

ASTM D638'e göre hazırlanan çekme numunelerine çekme testi yapılmıştır. Çekme testi Shimadzu Autograph AGS-X Universal Mekanik Test Cihazı markalı makine ile 2 mm/dk çekme hızında yapılmıştır (Şekil 4.1). Elde edilen çekme testlerinin sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

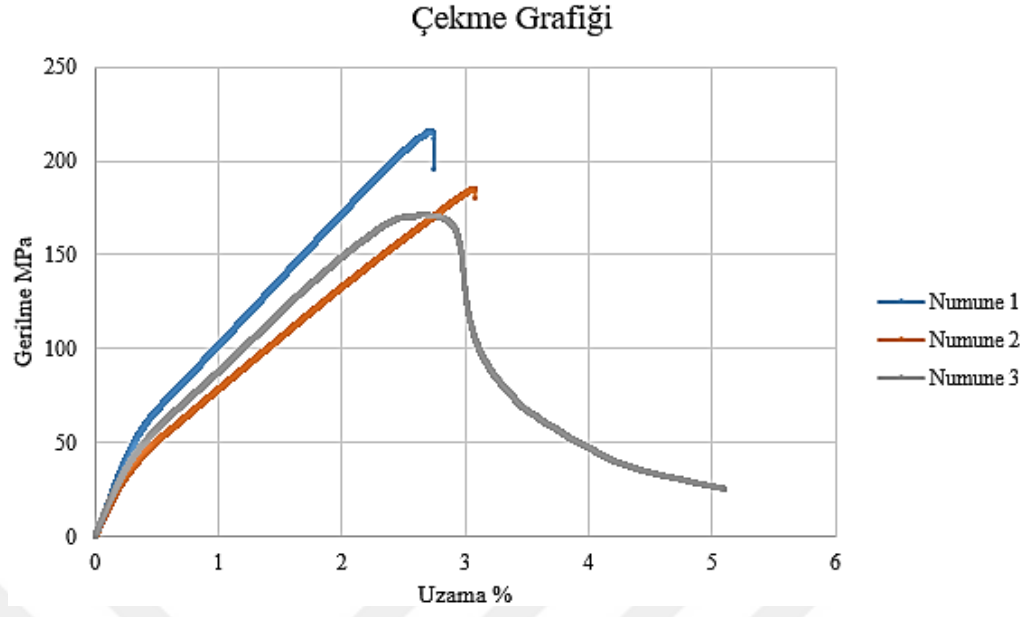


Şekil 4.1 Çekme testinin yapılışı

Tablo 4.1 Çekme deneyinin sonuçları

| Numuneler | Et Kalınlığı (mm) | Maksimum Kuvvet (N) | Maksimum Uzama (mm) | Maksimum Gerilme (N/mm <sup>2</sup> ) | Birim Uzama (%) |
|-----------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Numune 1  | 4,7               | 12561,7             | 6,262               | 216                                   | 2,722           |
| Numune 2  | 5,2               | 13567,2             | 7,034               | 184                                   | 3,06            |
| Numune 3  | 5,4               | 10711,1             | 6,075               | 171                                   | 4,64            |
| Numune 4  | 14,5              | 14031,98            | 3,034               | 81                                    | 3,91            |
| Numune 5  | 16,65             | 20301,201           | 3,391               | 82                                    | 4,15            |
| Numune 6  | 15,5              | 20196,14            | 6,885               | 80                                    | 3,6875          |
| Numune 7  | 13,26             | 16108,98            | 3,627               | 80                                    | 1,933           |
| Numune 8  | 14,85             | 14671,75            | 5,123               | 61                                    | 2,573           |
| Numune 9  | 17,01             | 18492,76            | 4,272               | 73                                    | 4,141           |
| Numune 10 | 14,23             | 21707,71            | 5,194               | 127                                   | 4,3375          |
| Numune 11 | 11,92             | 20115,54            | 4,198               | 164                                   | 2,674           |
| Numune 12 | 2,5               | 4965,78             | 5,687               | 370                                   | 3,754           |
| Numune 13 | 2,7               | 6701,11             | 6,388               | 389                                   | 4,216           |

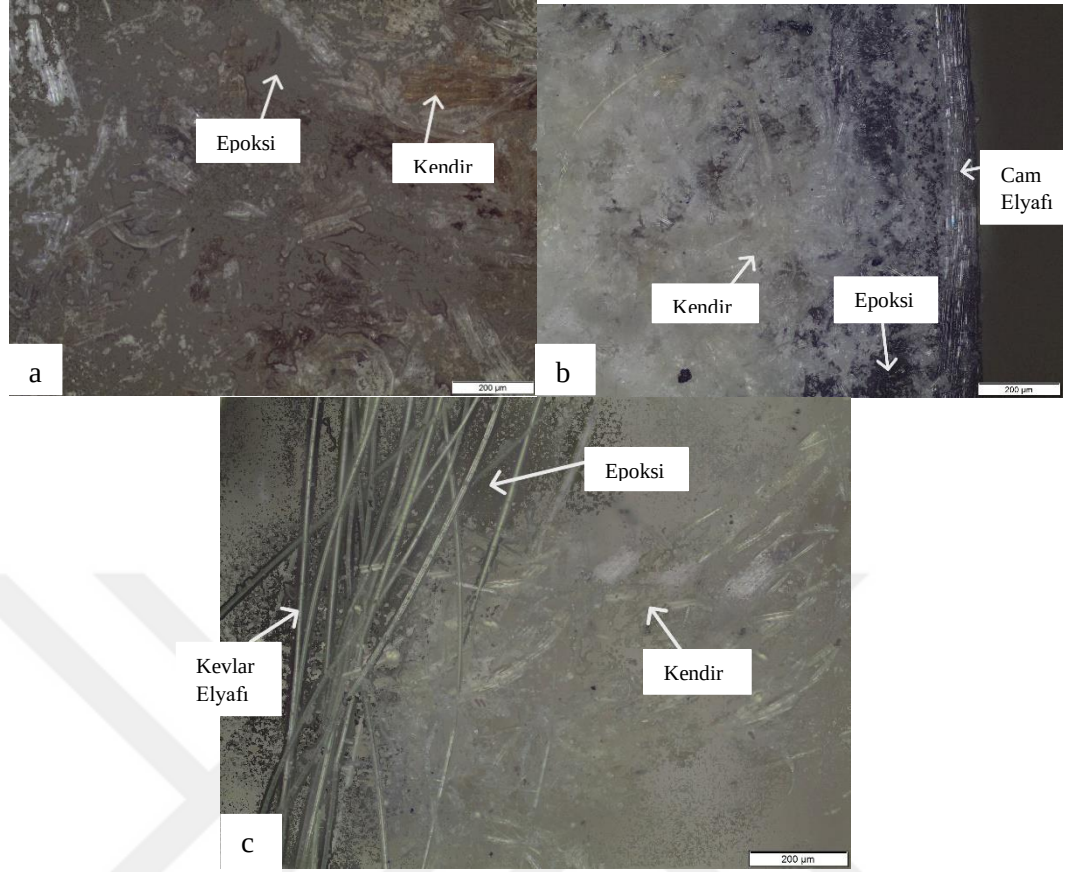
Grup 1, 0° fiber yönlendirmesi ile üretilmiş kompozit numunelerdir. Numune 1'in çekme dayanımı 216 MPa, Numune 2'nin çekme dayanımı 184 MPa ve Numune 3'ün çekme dayanımı 171 MPa değerleri elde edilmiştir. 1. grupta çekme dayanımını maksimum veren 216 MPa ile Numune 1'in değeri ölçülmüştür. Daha sonra 184 MPa ile Numune 2 ikinci en iyi değeri vermiştir. Kevlar elyafı ve kendir elyafının uzama değerlerinin farklı olmasından dolayı çekme testi yapılırken kevlar elyafının sünererek kopması daha uzun sürmüştür. Numune 1, Numune 2 ve Numune 3'ün çekme testi sonucu kırılma yüzey görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Burada kevlar elyafının Şekil 4.3 c'de yapıdan ayrıldığı görülmektedir. Bu üç numuneye ait içyapının mikroskop görüntüleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.2 Çekme testi grafiği grup 1

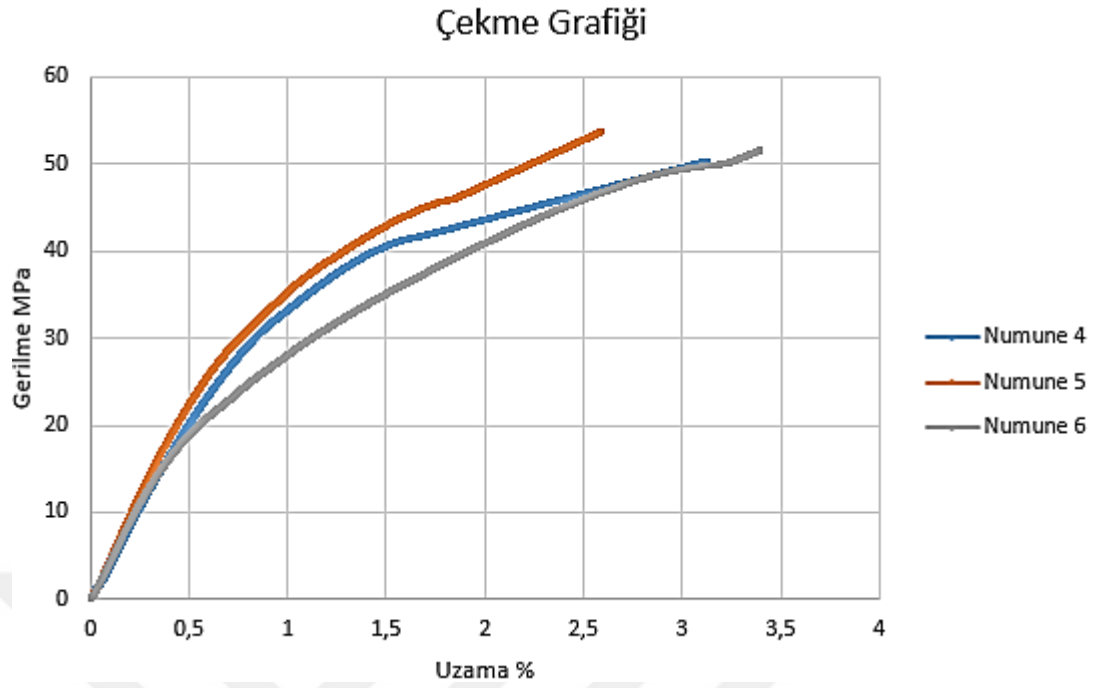


Şekil 4.3 Numune 1(a), Numune 2(b) ve Numune 3(c)'ün çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

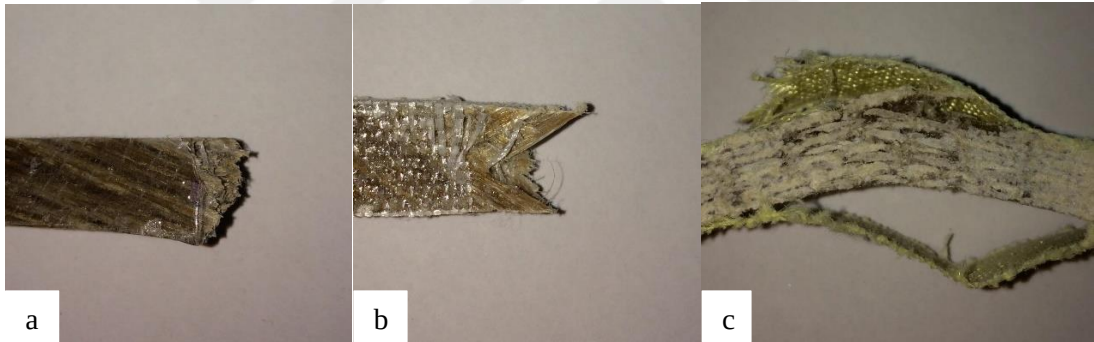


Şekil 4.4 Numune 1(a), Numune 2(b) ve Numune 3(c)'ün optik mikroskop görüntüsü

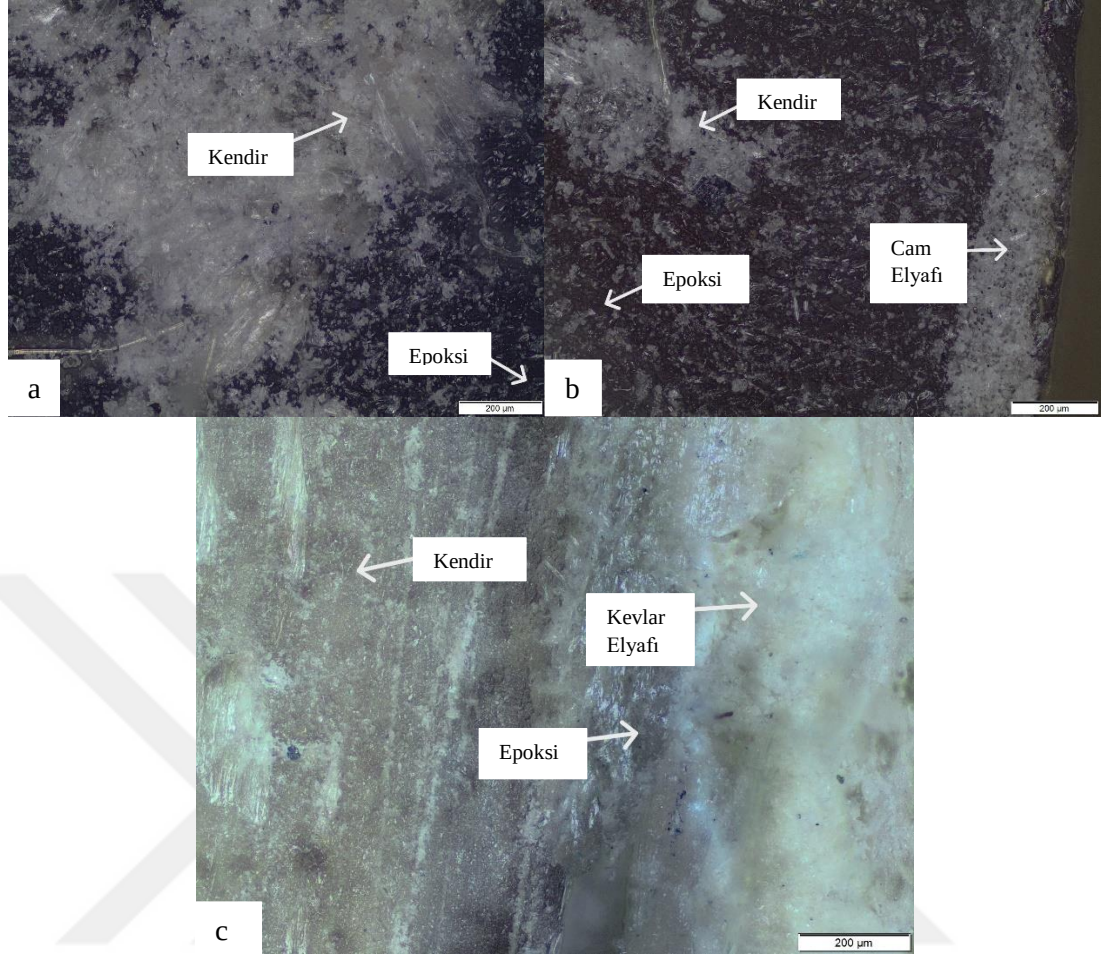
Grup 2, 45° fiber yönlendirilmesi ile üretilmiş kompozit numunelerdir. Numune 4'ün çekme dayanımı 81 MPa, Numune 5'in çekme dayanımı 82 MPa ve Numune 6'nın çekme dayanımı 80 MPa değerleri elde edilmiştir. En iyi sonucu 82 MPa gerilme ile Numune 5 vermiştir. Numune 5 cam elyafı ve kendirden yapılmıştır. Numunelerin boyun kısmında lifler kısa ve süresizdir ve bundan kaynaklanan mukavemette düşüş gözlemlenmiştir. Kevlar elyafının kopma uzaması kendir lifinden büyük olduğundan dolayı numunenin orta kısmında bir kopma meydana gelme gözlenirken, dış kısmındaki kevlar elyafının yapıdan ayrıldığı görülmüştür (Şekil 4.6c). Bunun bir diğer sebebi ise kevlar kumaşın içerisine epoksi reçine emmemesi olarak nitelendirilebilir. Şekil 4.7'de grup 2 numunelerinin kırık yüzeylerinin optik mikroskop görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.5 Çekme testi grafiği grup 2

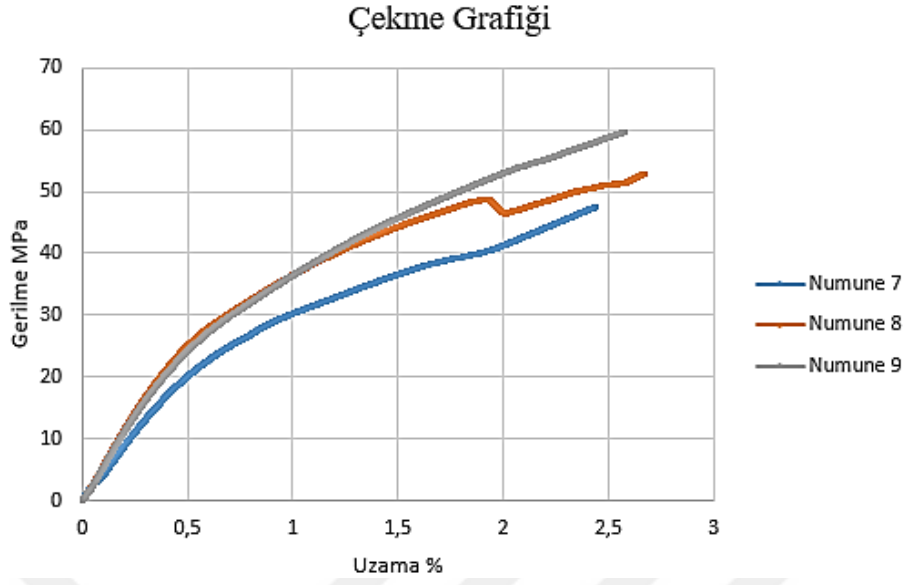


Şekil 4.6 Numune 4(a), Numune 5(b) ve Numune 6(c)'nin çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

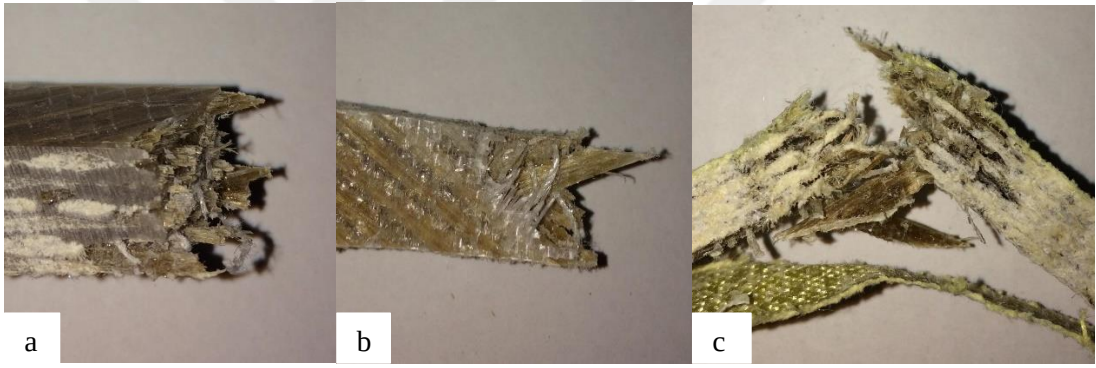


Şekil 4.7 Numune 4(a), Numune 5(b) ve Numune 6(c)'nin optik mikroskop görüntüsü

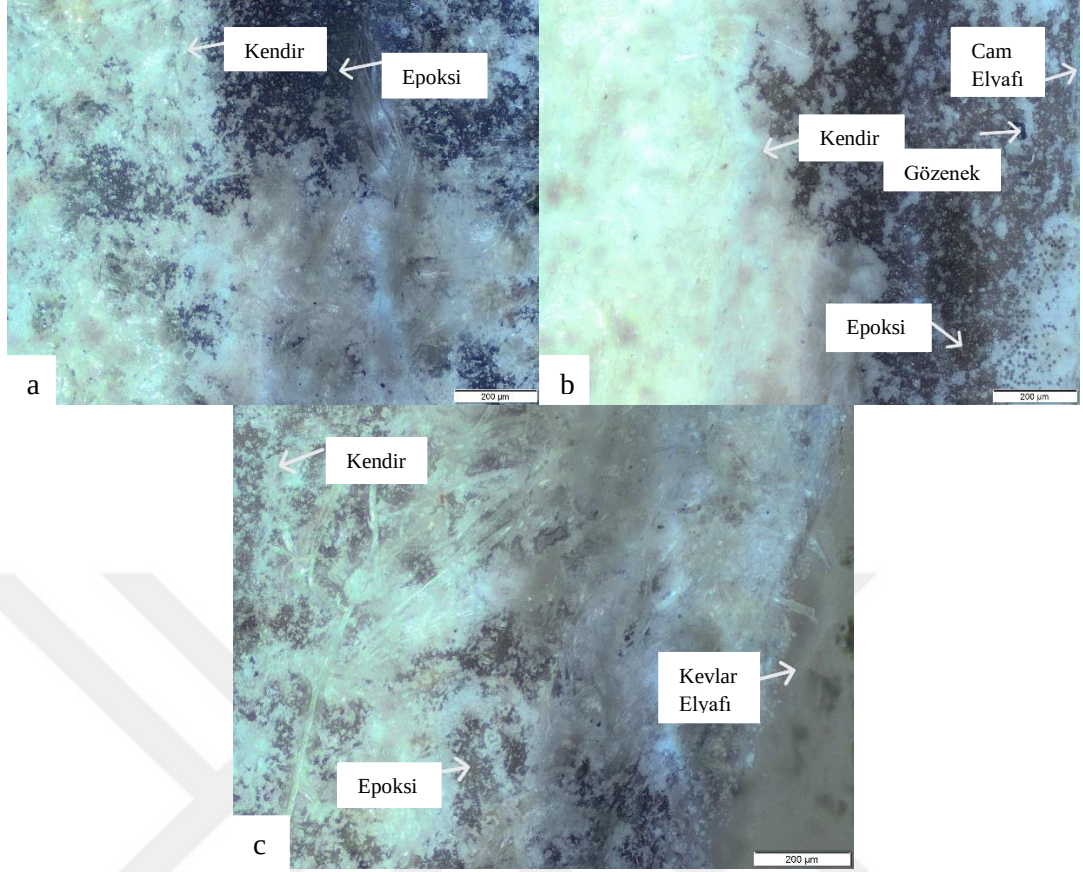
Grup 3, 60° fiber yönlendirmesi ile üretilmiş kompozit numunelerdir. Numune 7'nin çekme dayanımı 80 MPa, Numune 8'in çekme dayanımı 61 MPa ve Numune 9'un çekme dayanımı 73 MPa çekme dayanım değerleri ölçülmüştür. Çekme deneyi sonucunda en yüksek çekme mukavemeti değeri 80 MPa olarak Numune 7'de elde edilmiştir (Şekil 4.8). Numune 1'e oranla %37 çekme mukavemetinde düşüş gözlemlenmektedir. Numunenin boyun kısmındaki liflerin kısa olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Numune 9'un dışında kevlar elyafı vardır. Çekme deneyi sonrasında kırık yüzeyler Şekil 4.9'da verilmiştir. Kevlar elyafının yapıdan ayrıldığı görülmektedir. Şekil 4.10 b'de gözenek optik mikroskop ile saptanmıştır. Gözenek mukavemetin düşmesine neden olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.8 Çekme testi grafiği grup 3

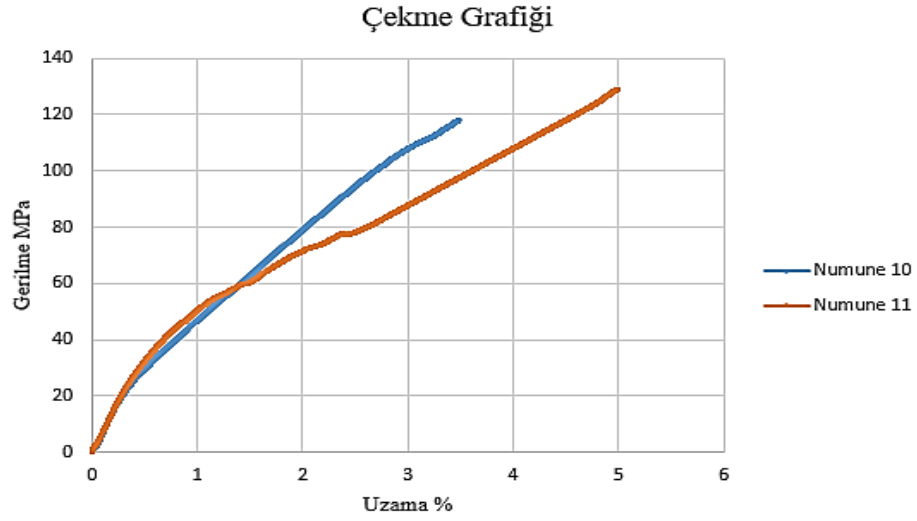


Şekil 4.9 Numune 7(a), Numune 8(b) ve Numune 9(c)'un çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

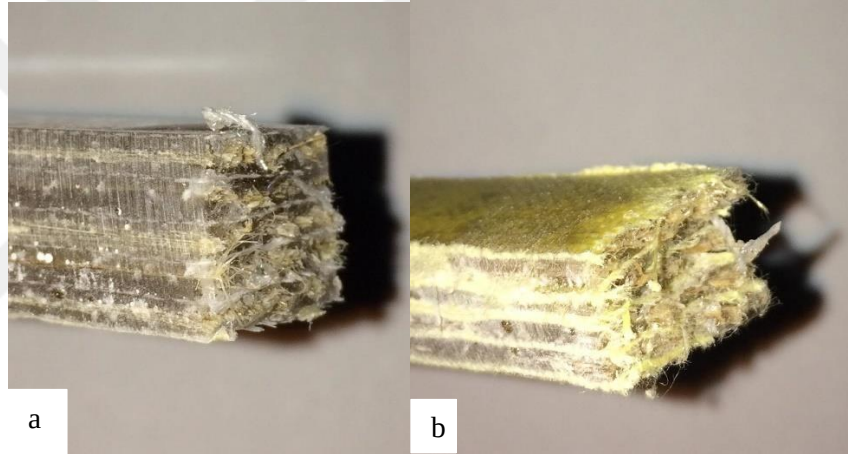


Şekil 4.10 Numune 7(a), Numune 8(b) ve Numune 9(c)'un optik mikroskop görüntüsü

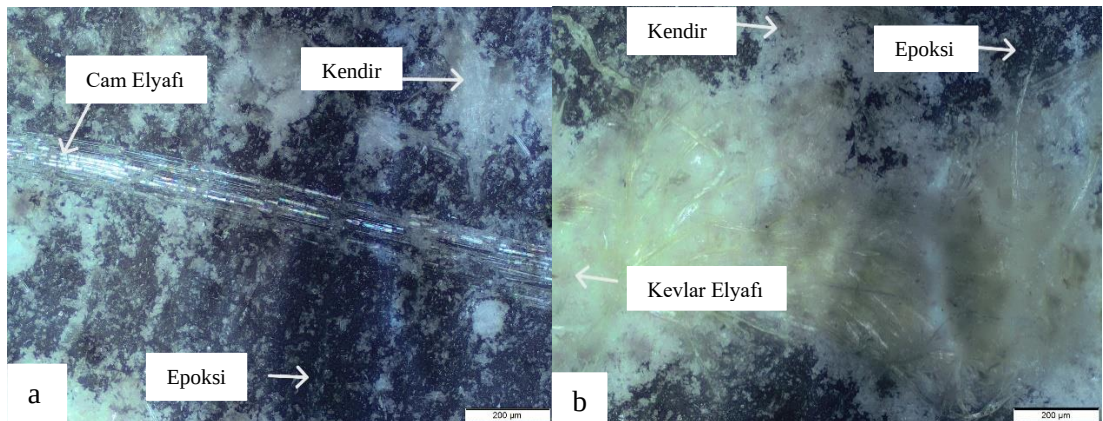
Grup 4, 0° fiber yönlendirmesi ile üretilmiştir. Numune 10, 5 kat kendir ve 6 kat cam elyafından oluşurken Numune 11, 5 kat kendir ve 6 kat kevlar elyafı ile üretilmiş sandviç kompozit numunelerdir. Numune 10 bir sıra cam elyafı bir sıra kendir lifi olacak şekilde 11 kattan oluşmaktadır. Aynı şekilde bir sıra kevlar elyafı bir sıra kendir lifi olacak şekilde 11 kattan oluşan sandviç kompozit yapı ise Numune 11'dir. Numune 11'de 164 MPa gerilme değeri bu gruptaki en yüksek mukavemet değeridir. Cam elyafı gevrek olduğu için lifler ayrılmadan gevrek bir şekilde ayrılmıştır. Kevlar elyafı takviyeli numunede kevlar liflerinin uzadığı, sünek bir şekilde koptuğu görülmektedir. İçyapıda kevların bulunması numunenin mukavemetini arttırmıştır. Sebebi ise numunenin içerisindeki elyaflarında eş zamanlı olarak uzamasıdır. Çekme deneyi yapıldıktan sonra yüzey görüntüleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.13'te optik mikroskop görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.11 Çekme testi grafiği grup 4



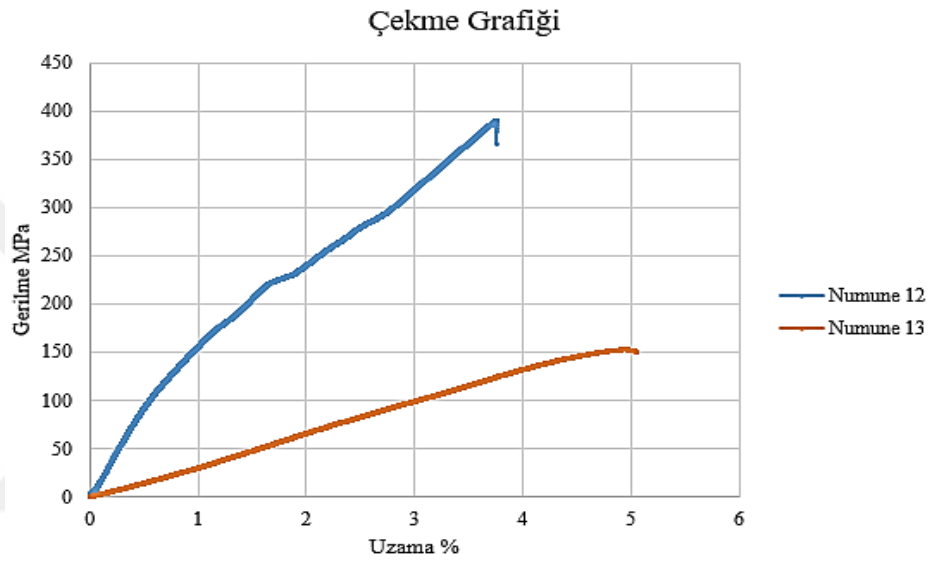
Şekil 4.12 Numune 10(a) ve Numune 11(b)'in çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri



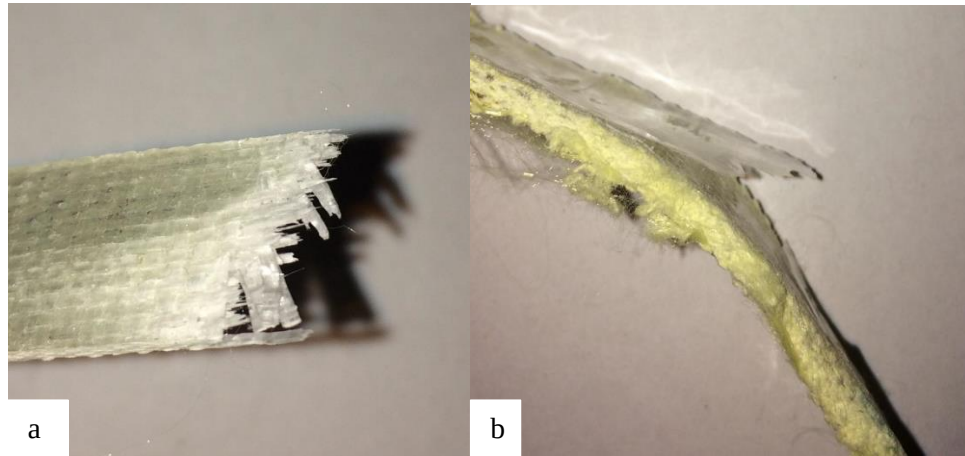
Şekil 4.13 Numune 10(a) ve Numune 11(b)'in optik mikroskop görüntüsü

Grup 5, Numune 12 ve Numune 13'ten oluşmaktadır. Numune 12, 6 kat kevlar elyafından ve Numune 13, 6 kat cam elyafından üretilen kendir lifi takviyesi olmayan

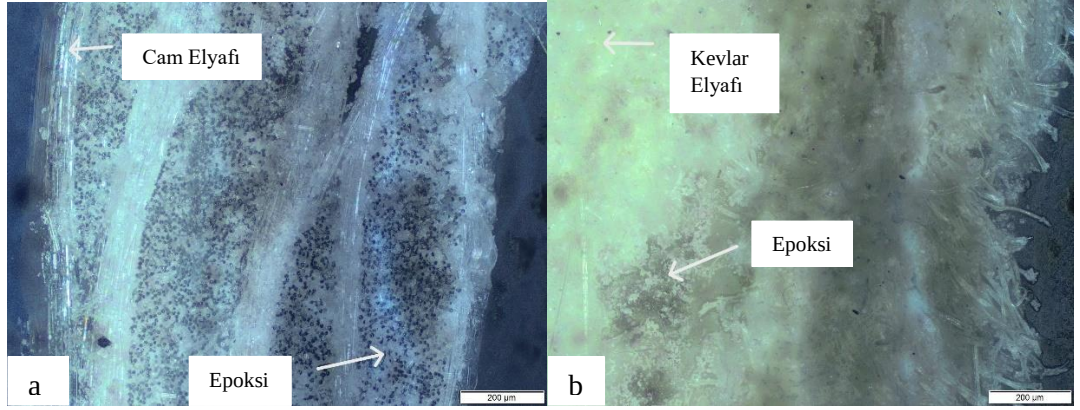
kompozit numunelerdir. Maksimum çekme dayanımını veren Numune 13 için 389 MPa değeri ölçülmüştür. Cam elyafı gevrek davranış sergileyerek kırılmıştır. Kevlar elyafı maksimum gerilme noktasına geldikten sonra epoksi parçalanmış ve kevlar lifleri sünmeye devam etmiştir. Çekme deneyi yapıldıktan sonra numunelerin yüzey görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.16'da Numune 12 ve Numune 13'ün optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.16 b'de görüldüğü üzere kevlar elyafı liflerine ayrılmıştır.



Şekil 4.14 Çekme testi grafiği grup 5



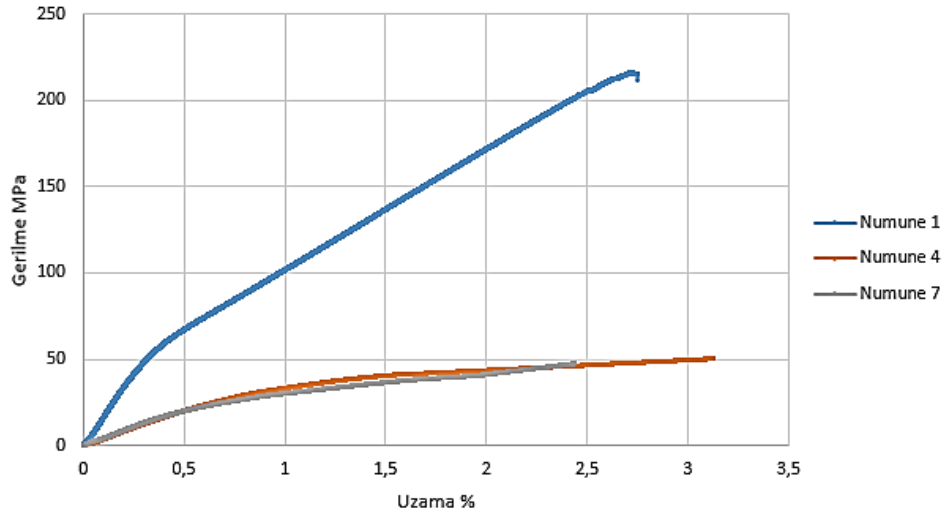
Şekil 4.15 Numune 12(a) ve Numune 13(b) çekme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri



Şekil 4.16 Numune 12(a) ve Numune 13(b)'ün optik mikroskop görüntüsü

Grup 6; Numune 1, Numune 4 ve Numune 7'den oluşmaktadır. Grup 6 yapıda sadece kendir lifinin kullanıldığı kompozit yapılardır. Artan lif açısına bağlı olarak çekme dayanımı azalmıştır. 45°'lik liflerde 81 MPa, 60°'lik liflerde 80 MPa olduğu tespit edilmiştir. Numune 1'in en yüksek çekme dayanım değerine sahip olduğu Şekil 4.17'de görülmektedir. Bunun nedeni ise liflerin sürekli olmasından kaynaklanmaktadır. Numune 4 ve Numune 7'de numune boynunda kısa liflerin bulunmasından dolayı aynı davranışları sergilediği gözlemlenmiştir.

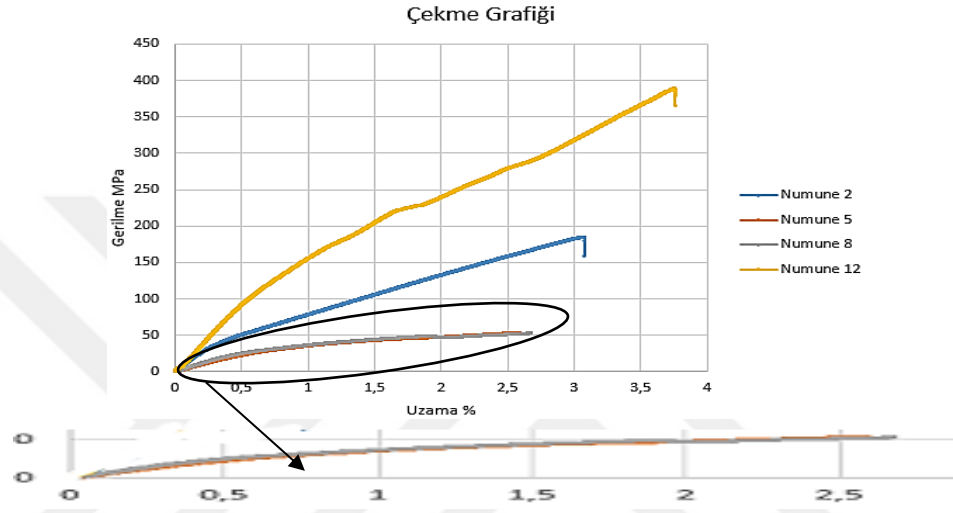
Çekme Grafiği



Şekil 4.17 Numune 1, Numune4 ve Numune 7'nin çekme testi grafiği

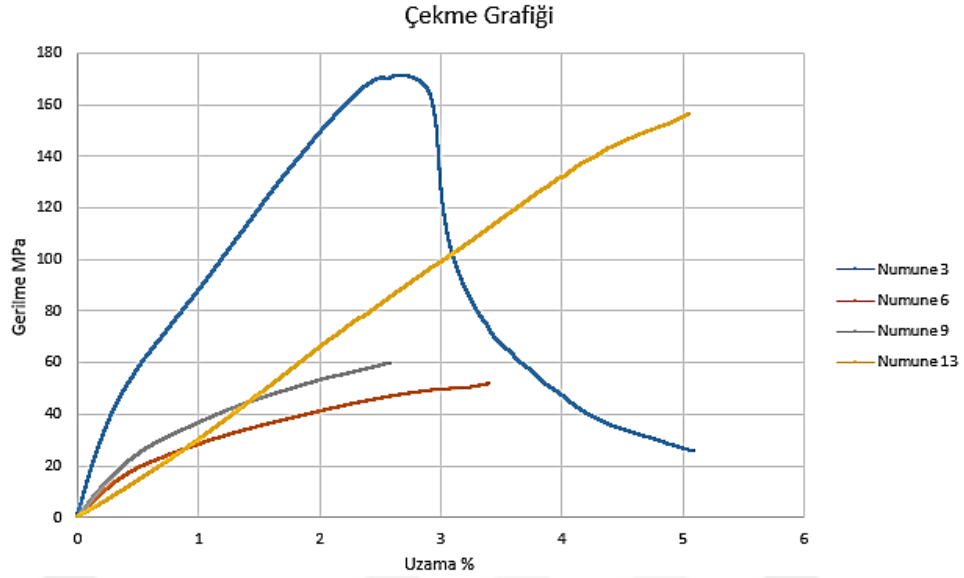
Grup 7; Numune 2, Numune 5, Numune 8 ve Numune 12'den oluşmaktadır. Grup 7, kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır. Yedinci grupta en yüksek çekme dayanımı 370 MPa ile Numune 12'den elde edilmiştir. Daha sonra sırayla Numune 2'nin çekme dayanımı 184 MPa, Numune 5'in çekme dayanımı 82 MPa ve Numune 8'in çekme

dayanımı 61 MPa ile yer almaktadır. Çekme dayanımı değerlerinden de anlaşıldığı üzere cam elyafı ve kendir lifi birbiri ile uyumlu değildir. Bundan dolayı mukavemette artış gözlemlenememiştir. Liflerin sürekli olması mukavemeti direkt olarak etkilemektedir. Şekil 4.18’de Grup 7’nin çekme deneyi sonuçları verilmiştir. Numune 5 ve Numune 8’in birbirine paralel olması Şekil 4.18’de elips şekline alınarak ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir.



Şekil 4.18 Numune 2, Numune 5, Numune 8 ve Numune 12’nin çekme testi grafiği

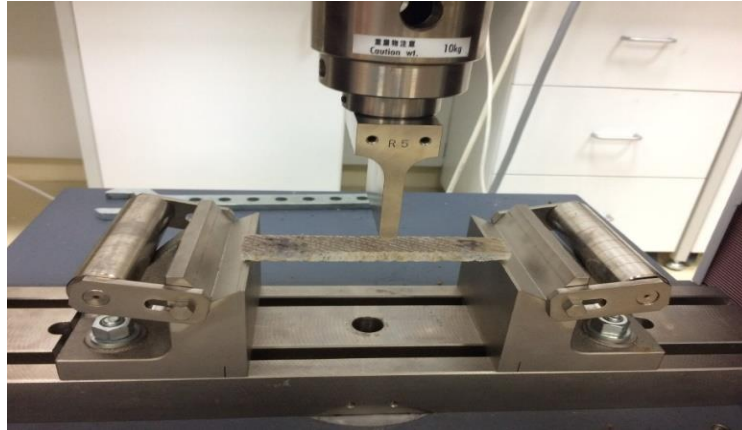
Grup 8; Numune 3, Numune 6, Numune 9 ve Numune 13’ten oluşmaktadır. Grup 8, kendir lifinden ve kevlar elyafından oluşmaktadır. Numune 13, 6 kat kevlar elyafından oluşmaktadır. Numune 13, 389 MPa ile en yüksek çekme dayanımı değerini veren numune olmuştur. Daha sonra sırasıyla Numune 3’ün çekme dayanımı 171 MPa, Numune 6’nın çekme dayanımı 80 MPa ve Numune 9’un çekme dayanımı 73 MPa değerleri ölçülmüştür. Çekme dayanım değerleri incelendiği zaman kevlar elyafının kendir lifi ile uyumlu olmadığı anlaşılmaktadır. Kevlar elyafı ile kendirin uyumlu olmadığı çekme dayanım değeri ile anlaşılmaktadır. Kendir liflerinin sürekli olmasından dolayı Numune 3’ün Numune 6 ve Numune 9’a göre daha yüksek çekme dayanım değeri vermektedir.



Şekil 4.19 Numune 3, Numune 6, Numune 9 ve Numune 13'ün çekme testi grafiği

#### 4.2 Üç Noktalı Eğme Testi Deneyi Sonuçları

Bu çalışmadaki üç noktalı eğme testleri, Shimadzu Autograph AGS-X Universal Mekanik Test Cihazı ile 2 mm/dk hızında yapılmıştır. Test cihazı Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Shimadzu üç noktalı eğme testinin yapılış aşaması

Kendir, cam elyafı ve kevlar kullanılarak üretilen kompozit malzemenin birim uzama eğrileri Tablo 5.2'dedir.

Tablo 4.2 Üç noktalı eğme deneyinin sonuçları

| Numuneler | Et Kalınlığı (mm) | Maksimum Kuvvet (N) | Maksimum Uzama (mm) | Maksimum Gerilme (N/mm <sup>2</sup> ) | Birim Uzama (%) |
|-----------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Numune 1  | 4,7               | 234,858             | 11,645              | 90,001                                | 1,739           |
| Numune 2  | 5,2               | 325,791             | 12,767              | 209,550                               | 1,152           |
| Numune 3  | 5,4               | 314,379             | 14,29               | 100,113                               | 2,406           |
| Numune 4  | 14,5              | 3585,81             | 4,450               | 113,700                               | 3,939           |
| Numune 5  | 16,65             | 3368,81             | 4,257               | 73,780                                | 4,253           |
| Numune 6  | 15,5              | 3448,534            | 4,643               | 91,894                                | 4,318           |
| Numune 7  | 13,26             | 1725,403            | 4,923               | 64,160                                | 3,917           |
| Numune 8  | 14,85             | 3098,218            | 6,542               | 76,856                                | 5,829           |
| Numune 9  | 17,01             | 3866,45             | 4,658               | 83,868                                | 4,754           |
| Numune 10 | 14,23             | 3596,274            | 4,202               | 121,311                               | 3,588           |
| Numune 11 | 11,92             | 2444,379            | 3,587               | 114,081                               | 2,565           |
| Numune 12 | 2,5               | 4965,89             | 5,687               | 389,480                               | 3,754           |
| Numune 13 | 2,7               | 20,17               | 21,66               | 210,829                               | 0,636           |

Eğilme gerilmesi formülü aşağıda verilmiştir ve ona göre hesaplanmıştır.

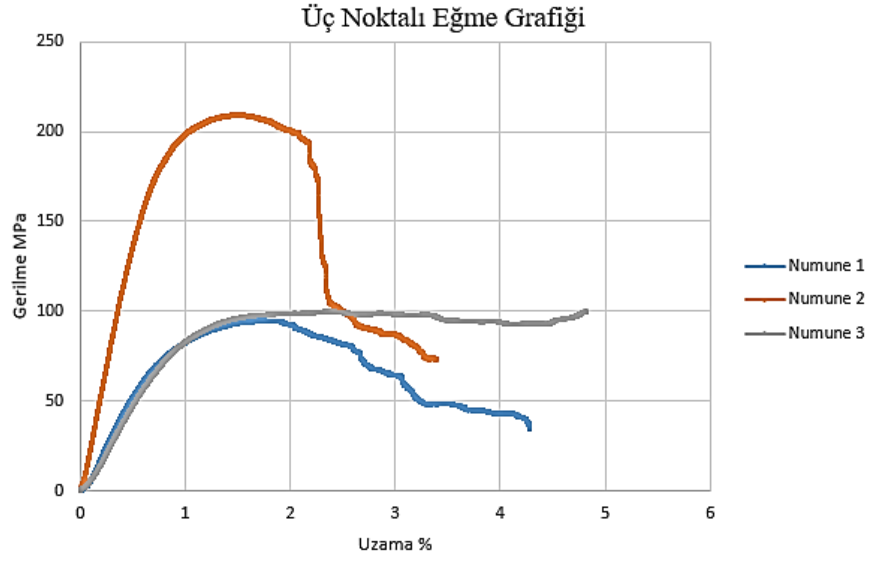
$$\sigma_e = \frac{M_e}{\frac{I_x}{c}} \quad (4.1)$$

$M_e$  = Eğilme momenti

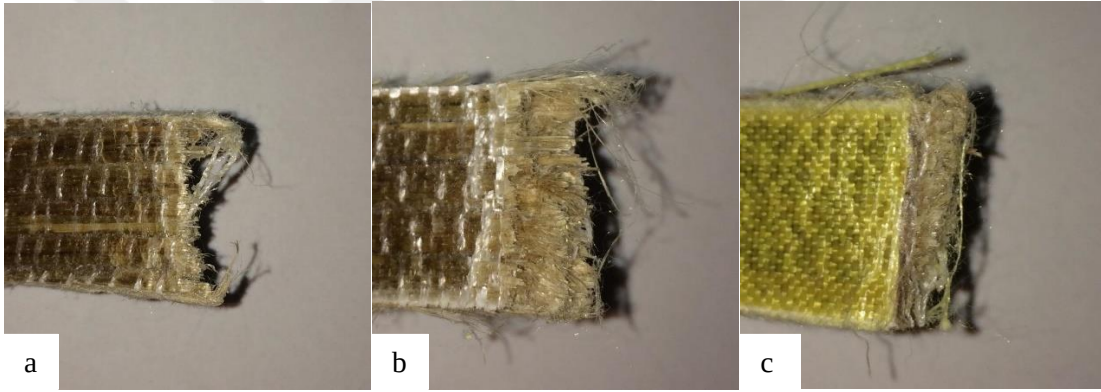
$I_x$  = Atalet momenti

$c$  = Nötral eksen den kesitin en uç noktasının mesafesi

Grup 1, 0° lif yönlendirmesi ile üretilmiş kompozit numunelerdir. 209,55 MPa ile maksimum değeri veren Numune 2'dir. Daha sonra sırasıyla Numune 3'ün üç noktalı eğme dayanımı 100,113 MPa ve Numune 1'in üç noktalı eğme dayanımı 90,001 MPa değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.21). Üç noktalı eğme deneyinde Numune 2'de elde edilen değerler Numune 1'e göre %42,95 daha yüksektir. Numune 3'te kevlar elyafı içerisine epoksiyi emmediği için yük altında yapıdan ayrılmış ve ipliklenmiştir. Şekil 4.22'de üç noktalı eğme deneyi yapıldıktan sonra yüzey kırık fotoğrafları yer almaktadır. Kevlar elyafının yapıdan ayrıldığı görülmektedir. Bundan dolayı mukavemette düşüş gözlemlenmiştir.

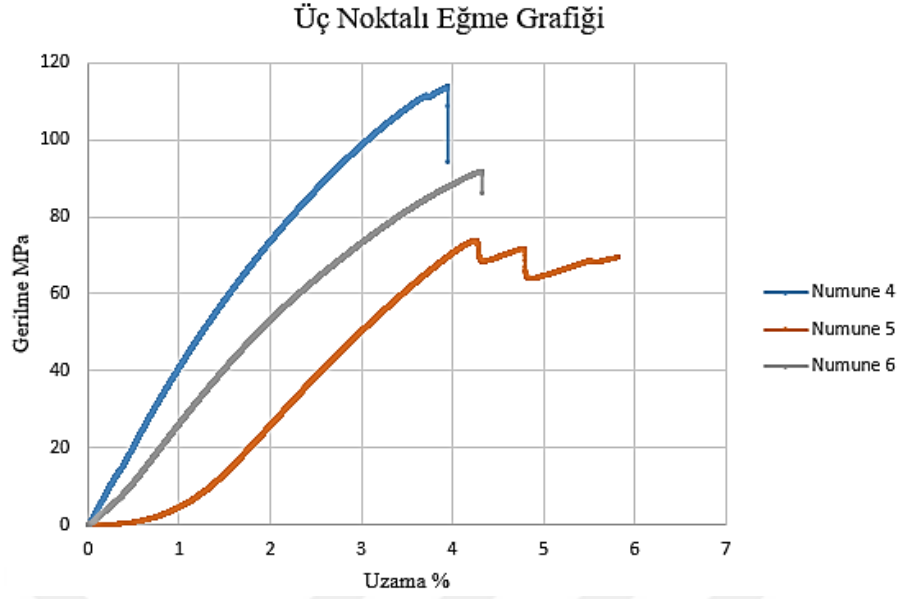


Şekil 4.21 Üç noktalı eğme deney sonuçları grafiği grup 1

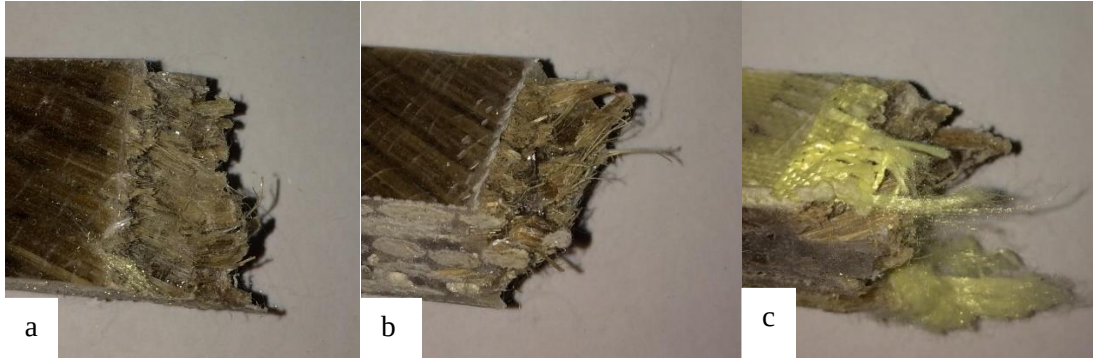


Şekil 4.22 Numune 1(a), Numune 2(b) ve Numune 3(c)'ün üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

Grup 2, 45° kendir lifinin yönlendirilmesi ile üretilmiş kompozit numunelerdir. En iyi eğme dayanım değerini veren numune 113,7 MPa ile Numune 4'tür. Daha sonra sırasıyla Numune 6'nın üç noktalı eğme dayanımı 91,894 MPa ve Numune 5'in üç noktalı eğme dayanımı 73,78 MPa değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.23). Kevlar elyafının yapıdan ayrıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.24c). 45° lif yönlendirilmesi ile üretilen kompozit numuneler elle yatırma yöntemi ile üretimden sonra vakumlama işlemine tabii tutulmamıştır. Numune 5'in bundan dolayı diğer üretilen numunelerle kıyaslandığı zaman mukavemetinin düşük çıktığı gözlemlenmiştir.



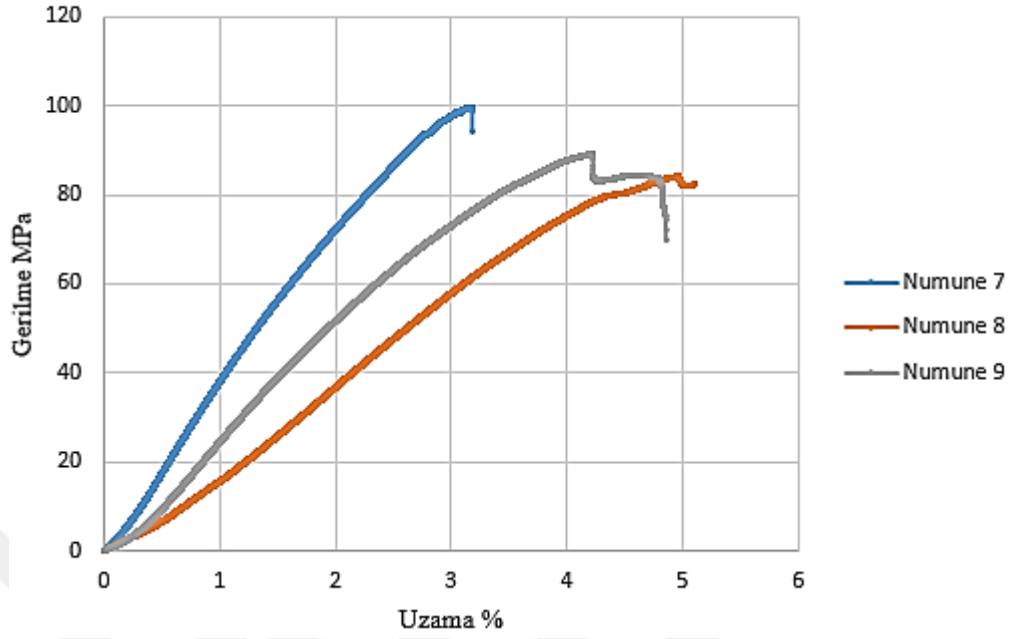
Şekil 4.23 Üç noktalı eğme deney sonuçları grafiği grup 2



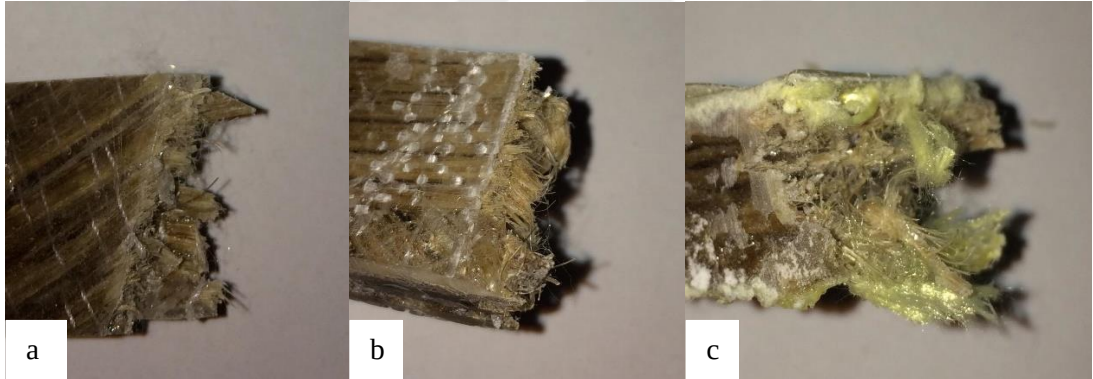
Şekil 4.24 Numune 4(a), Numune 5(b) ve Numune 6(c)'nin üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

Grup 3, 60°lif yönlendirilmesiyle üretilmiş kompozit numunelerdir. 83,868 MPa değeri ile maksimum gerilme sonucunu veren Numune 9'dur. Daha sonra sırayla Numune 8'in üç noktalı eğme dayanımı 76,856 MPa ve Numune 7'nin üç noktalı eğme dayanımı 64,16 MPa olarak değerleri ölçülmüştür. Grup 3, elle yatırma yöntemi ile üretildikten sonra vakumlama yapılmamıştır.

### Üç Noktalı Eğme Grafiği

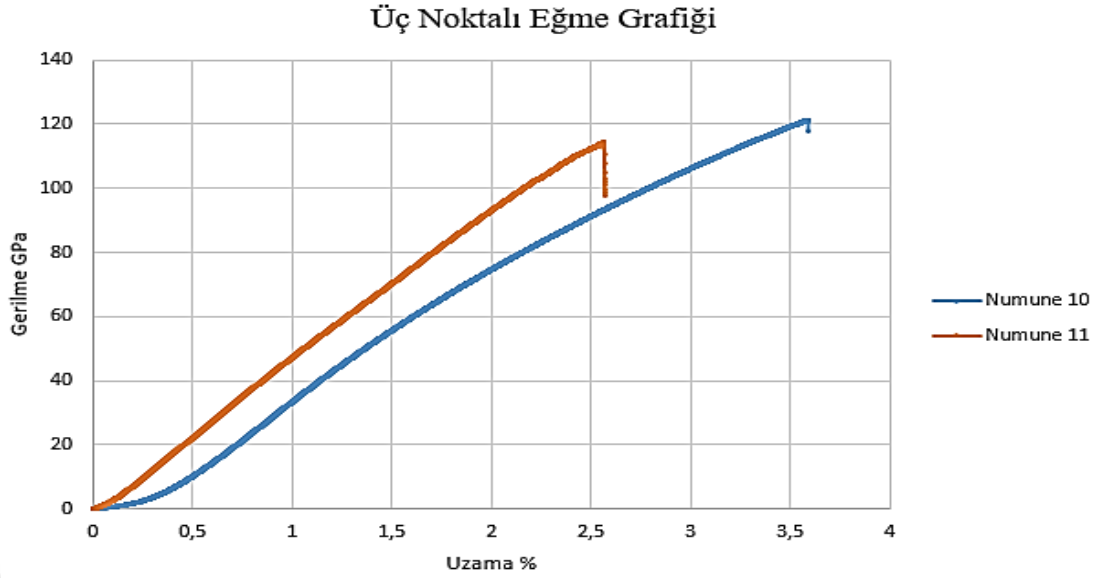


Şekil 4.25 Üç noktalı eğme deney sonuçlarının grafiği grup 3

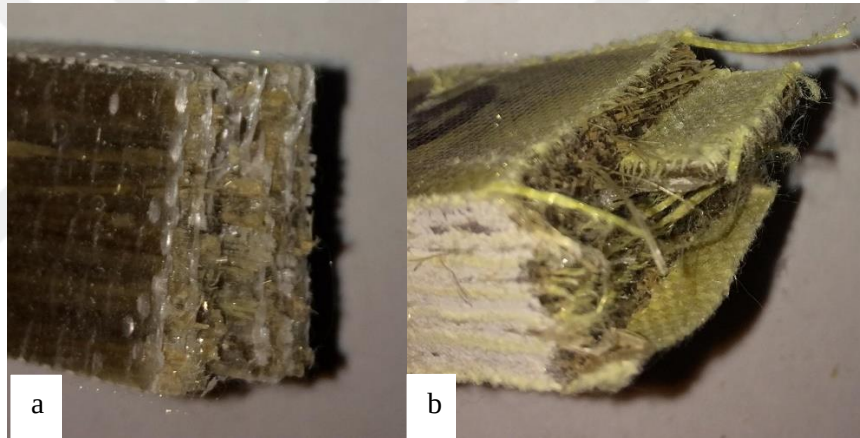


Şekil 4.26 Numune 7(a), Numune 8(b) ve Numune 9(c)'un üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

Grup 4, 0° fiber yönlendirmesi ile üretilmiştir. Numune 10, 5 kat kendir lifinden ve 6 kat cam elyafından oluşurken Numune 11, 5 kat kendir lifinden ve 6 kat kevlar elyafı ile üretilmiş kompozit numunelerdir. 121,311 MPa ile maksimum eğme dayanım sonucunu veren Numune 10'dur. Numune 11'in üç noktalı eğme dayanımı 114,081 MPa olduğu tespit edilmiştir. Numune 10'da cam elyafı yapıdan ayrılmamıştır, kırılmıştır. Elyaf katmanlarının ayrılmaması mukavemette artış sergilemiştir. Numune 11'de ise kevlar liflerinin yapıdan ayrıldığı gözlemlenmiştir.

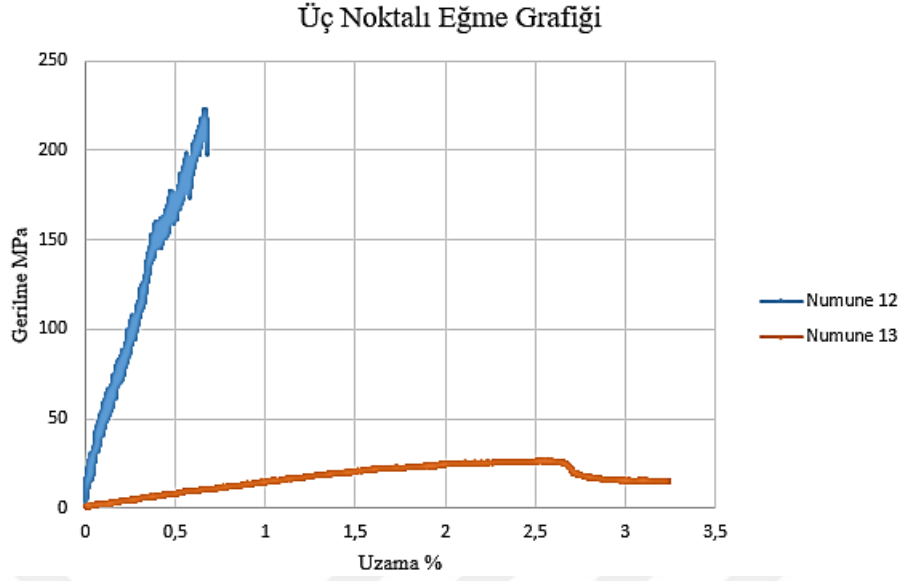


Şekil 4.27 Üç noktalı eğme deney sonuçlarının grafiği grup 4

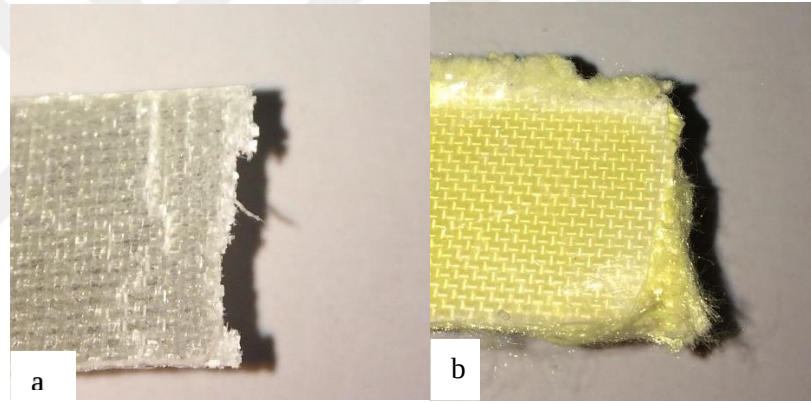


Şekil 4.28 Numune 10(a) ve Numune 11(b) üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

Grup 5, Numune 12 ve Numune 13'ten oluşmaktadır. Numune 12, 6 kat kevlar ve Numune 13, 6 kat cam elyafından üretilen kompozit numunelerdir. Grup 5 elle yatırma üretim yönteminden sonra vakumlama yapılmıştır. En iyi gerilme değerini veren 389.48 MPa ile Numune 12'dir. Cam elyafı yanıl kuvvetlere karşı daha dayanıklı olduğunu sergilemiştir. Epoksiyi emerek mukavemette artış sergilemiştir. Kevlar elyafı uygulanan kuvvet altında epoksiyi kırmıştır ve kevlar lifleri uzamaya devam ettiği gözlemlenmiştir.

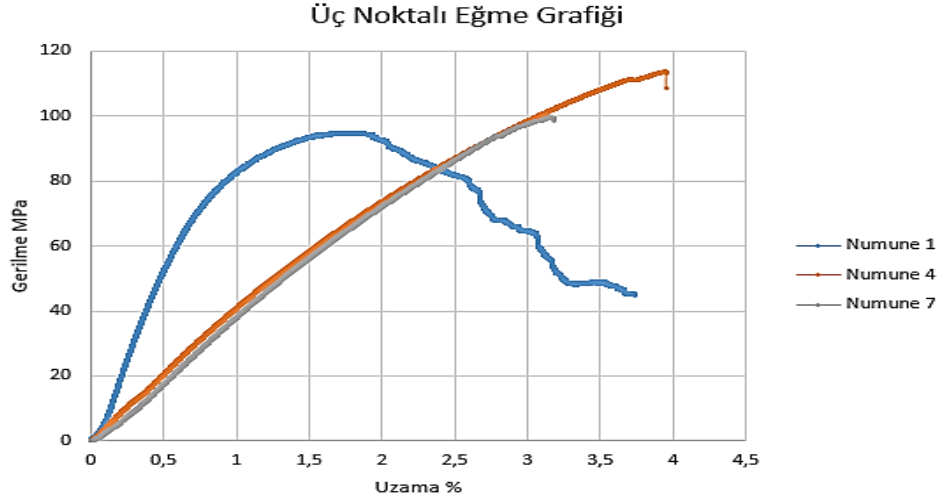


Şekil 4.29 Üç noktalı eğme deney sonuçlarının grafiği grup 5



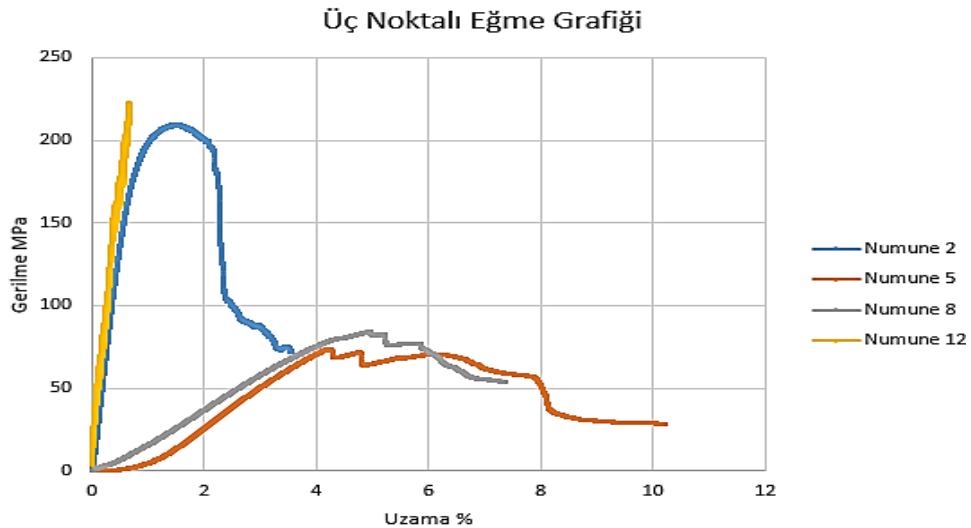
Şekil 4.30 Numune 12, Numune 13'ün üç noktalı eğme testi yaptıktan sonraki kırık yüzeyleri

Grup 6; Numune 1, Numune 4 ve Numune 7'den oluşmaktadır. Grup 6, 6 kat kendir liflerinden üretilmiş olan kompozit numunelerden oluşmaktadır. Numune 1 0°, Numune 4 45°, Numune 7 60° lif yönlendirmesiyle üretilen kompozit numunelerdir. Numune 4'ün üç noktalı eğme dayanımı 113,7 MPa maksimum sonucu vermiştir. Dayanım değerleri sırasıyla Numune 1'in üç noktalı eğme dayanımı 90 MPa ve Numune 7'nin üç noktalı eğme dayanımı 64,16 MPa değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.31 Numune 1, Numune 4 ve Numune 7'nin üç noktalı eğme grafiği

Grup 7; Numune 2, Numune 5, Numune 8 ve Numune 12'den oluşmaktadır. Numune 2, Numune 5, Numune 8 kendir lifinden ve cam elyafından oluşmaktadır. Numune 12 ise 6 kat cam elyafından oluşmaktadır. En iyi gerilme değeri sonucunu Numune 12, 389,48 MPa ile ölçülmüştür. Sırasıyla dayanım değerleri; Numune 2'nin üç noktalı eğme dayanımı 209,55 MPa, Numune 8'in üç noktalı eğme dayanımı 76,856 MPa ve Numune 5'in üç noktalı eğme dayanımı 73,78 MPa değerleri ölçülmüştür. Burada Numune 2 ve Numune 12 vakumlama yöntemi ile üretilmiştir. Numune 5 ve Numune 8 vakumlama yapılmadığı için değerler Numune 2'ye göre daha düşük çıkmıştır.

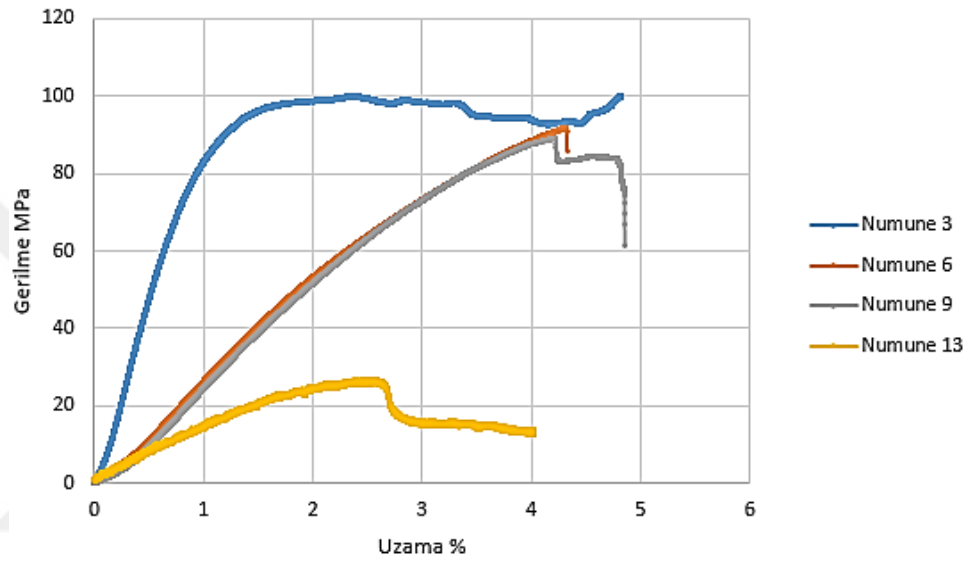


Şekil 4.32 Numune 2, Numune 5, Numune 8 ve Numune 12'nin üç noktalı eğme grafiği

Grup 8; Numune 3, Numune 6, Numune 9 ve Numune 13'ten oluşmaktadır. Numune 3, Numune 6 ve Numune 9 kendir lifinden ve kevlar elyafından oluşmaktadır. Numune

13 ise 6 kat kevlar elyafından oluşmaktadır. Maksimum gerilme değerini veren 210,829 MPa ile Numune 13'tür. Numune 13, 6 kat kevlar elyafından oluşmaktadır. Dayanım değerleri sırasıyla Numune 3'ün üç noktalı eğme dayanımı 100,113 MPa, Numune 6'nın üç noktalı eğme dayanımı 91,894 MPa ve Numune 9'un üç noktalı eğme dayanımı 83,868 MPa değerleri ölçülmüştür.

### Üç Noktalı Eğme Grafiği



Şekil 4.33 Numune 3, Numune 6, Numune 9 ve Numune 13'ün üç noktalı eğme grafiği

### 4.3 Darbe Testi Deneyi Sonuçları

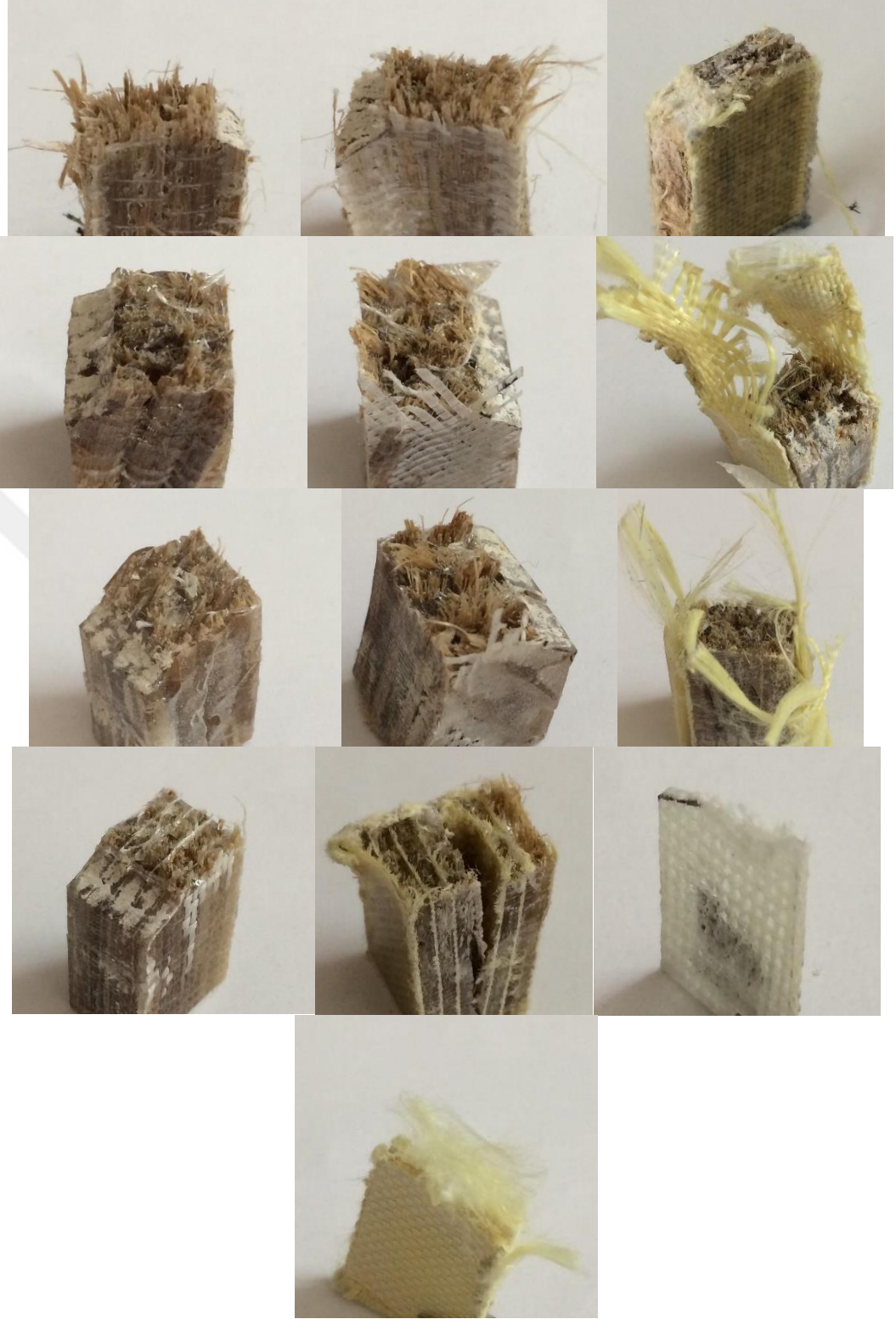
Bu çalışmadaki izo-v darbe testleri, Hardway darbe testi cihazı ile yapılmıştır. Test cihazı Şekil 4.34' te gösterilmektedir. İzod darbe test sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.34 Darbe deney cihazı ve numunenin yerleşimi

Tablo 4.3 Darbe deneyinin sonuçları

| Numuneler | Darbe Tokluğu<br>(Joule/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------------------------------------|
| Numune 1  | 16,8                                      |
| Numune 2  | 27,1                                      |
| Numune 3  | 23,4                                      |
| Numune 4  | 4,1                                       |
| Numune 5  | 4,43                                      |
| Numune 6  | 4,24                                      |
| Numune 7  | 24,02                                     |
| Numune 8  | 26,39                                     |
| Numune 9  | 22,29                                     |
| Numune 10 | 27,23                                     |
| Numune 11 | 25,59                                     |
| Numune 12 | 19,2                                      |
| Numune 13 | 13,5                                      |



Şekil 4.35 Darbe deneyi yapıldıktan sonra numunenin yüzey görüntüleri

Tablo 4.3'te izo-v darbe deneyi sonuçları verilmiştir. Numunelerin izo-v darbe deneyi sonuçları 4,07-26,12 J/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Şekil 4.35'te numunelerin izo-v darbe deneyi sonrasında yüzey görüntüleri verilmiştir. Numune 1, Numune 4 ve Numune 7 de kendir ve epoksinin sorunsuz bir biçimde çentik yerinde kırıldığı gözlemlenmiştir. Numune 2, Numune 5 ve Numune 8'in dışarısındaki sandviç yapı halinde bulunan cam elyafı fiberlerine ayrılmış ve kendir liflerinde sorunsuz şekilde kopma gözlemlenmiştir. Numune 3, Numune 6 ve Numune 9 da bulunan kevlar elyafının fiberlerine ayrıldığı gözlemlenmiştir. Çünkü kendirin ve kevlar elyafının elastisite modüllerinin arasında büyük fark vardır ve kevlar elyafının kopma uzaması değeri kendir lifine göre daha büyüktür. Numune 10'daki cam elyafı sorunsuz bir şekilde kopmuştur ve fiberlerin kopma yüzeyi tarafında ayrıldığı gözlemlenmiştir. Numune 11'deki kevlar elyafı uzama kopması kendir lifinden büyük olmasından dolayı darbe testi sırasında katmanlarına ayrılmıştır. Kendir lifi kırılırken kevlar elyafı uzamaya devam etmiştir.

#### 4.4 Yoğunluk Hesabı

Belirli bir basınç ve sıcaklık altında maddenin birim alandaki madde miktarına yoğunluk denir. Farklı yöntemler kullanılarak malzemenin yoğunluğu belirlenir. Kütlenin hacime oranı yoğunluğu vermektedir.

$$\rho = \frac{m_h}{v} \quad (4.2)$$

$\rho$  = Yoğunluk

$m_h$  = Havadaki ağırlık

$v$  = Hacim

Kompozit numuneler teorik yoğunlukları hesaplanırken karışım kuralına göre hesaplanmıştır. Kompozit numunenin bileşenleri ağırlıkça yüzde ağırlık oranlarıyla yoğunlukları çarpılmıştır. Elde edilen değerler toplanarak teorik yoğunluk elde edilmiştir.

$$\rho_t = [(\%W_1) \times \rho_1] + [(\%W_2) \times \rho_{12}] + \dots \dots \dots + [(\%W_n) \times \rho_s] \quad (4.3)$$

%W= Ağırlıkça yüzde takviye elemanı

$\rho$  = Takviye elemanının yoğunluğu

Bağıl yoğunluluk hesabı yaparken aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\rho_b = \frac{\rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}} \times 100 \quad (4.4)$$

$\rho_{deneysel}$ = deneysel yoğunluk sonucu

$\rho_{teorik}$ = teorik yoğunluk sonucu

$\rho_b$ = bağıl yoğunluk

$\rho_b$  yüzde olarak bağıl yoğunluğu vermektedir.

Epoksinin yoğunluğu = 1,2 g/cm<sup>3</sup>

Kendir lifinin yoğunluğu = 1,4 g/cm<sup>3</sup>

Kevlar elyafını yoğunluğu = 1,48 g/cm<sup>3</sup>

Cam elyafının yoğunluğu = 2,6 g/cm<sup>3</sup>

Tablo 4.4'te kullanılan kendir lifi ve elyafların toplam yoğunluğu verilmiştir. En yüksek yoğunluk 0,25 g/cm<sup>3</sup> ile Numune 13 ve en yüksek yoğunluk Numune 0,47 g/cm<sup>3</sup> ile Numune 12'dir.

Tablo 4.4 Numunelerde kullanılan elyafın ve liflerin yoğunluğu

| Numuneler | Lif ve elyaf<br>yoğunluğu<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------------------|
| Numune 1  | 0,265                                             |
| Numune 2  | 0,34                                              |
| Numune 3  | 0,28                                              |
| Numune 4  | 0,29                                              |
| Numune 5  | 0,35                                              |
| Numune 6  | 0,29                                              |
| Numune 7  | 0,30                                              |
| Numune 8  | 0,37                                              |
| Numune 9  | 0,31                                              |
| Numune 10 | 0,46                                              |
| Numune 11 | 0,35                                              |
| Numune 12 | 0,47                                              |
| Numune 13 | 0,25                                              |

Tablo 4.5'te yoğunluk ve gözeneklilik değerleri verilmiştir. Burada kullanılan elyaf, epoksi ve kendir lifi oranlarına göre yoğunluk değerleri değişmektedir. 1,51 g/cm<sup>3</sup> ile en yüksek yoğunluğa sahip olan Numune 12 ve 1,234 gr/cm<sup>3</sup> ile en düşük yoğunluğa sahip olan Numune 6 olduğu belirlenmiştir. Numune 1, Numune 2, Numune 3, Numune 12 ve Numune 13 vakumlama yöntemi kullanılarak üretilen nihai ürünlerdir. Geriye kalan numuneler ise vakumla yapılmadan üretilmiştir. Vakumlama yöntemi kullanılan bu numunelerin gözeneklilik oranının düşük olduğu tespit edilmiştir. Vakumlama yöntemi kullanılarak üretilen numunelerin en yüksek gözeneklilik oranına sahip olan %27 ile Numune 3 ve en düşük gözeneklilik oranına sahip olan %21 ile Numune 12 olduğu tespit edilmiştir. Vakumlama yöntemi kullanılmadan gözeneklilik oranına sahip numune %44 ile Numune 4 ve %23 ile Numune 7 en düşük gözeneklilik oranına sahip olan numunedir.

Tablo 4.5 Numunelerin teorik yoğunluk ve gözeneklilik yüzdeleri

| Numuneler | Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | DeneySEL Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Bağıl Yoğunluk (%) | Teorik Gözeneklilik (%) |
|-----------|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Numune 1  | 1,253                                | 0,977                                  | 78                 | 22                      |
| Numune 2  | 1,354                                | 1,056                                  | 78                 | 22                      |
| Numune 3  | 1,256                                | 0,916                                  | 73                 | 27                      |
| Numune 4  | 1,266                                | 0,708                                  | 56                 | 44                      |
| Numune 5  | 1,302                                | 0,885                                  | 68                 | 32                      |
| Numune 6  | 1,234                                | 0,777                                  | 63                 | 37                      |
| Numune 7  | 1,266                                | 0,974                                  | 77                 | 23                      |
| Numune 8  | 1,316                                | 0,842                                  | 64                 | 36                      |
| Numune 9  | 1,26                                 | 0,831                                  | 66                 | 34                      |
| Numune 10 | 1,4                                  | 0,91                                   | 65                 | 35                      |
| Numune 11 | 1,33                                 | 0,917                                  | 69                 | 31                      |
| Numune 12 | 1,51                                 | 1,192                                  | 79                 | 21                      |
| Numune 13 | 1,252                                | 0,964                                  | 77                 | 23                      |

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuç

Bu çalışmada, kendir, kendir+cam, kendir+keklar kompozit yapılar incelenmiştir. Kompozit yapı 0, 45 ve 60°'lik açılarla üretilmiştir. Kendir lifi doğal takviye elemanı olarak kullanılmıştır.

- Her numune için aynı epoksi reçine kullanılmasına rağmen çekme dayanımı değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Bunun sebebi ise fiberlerin farklı yönlendirme açıları ve cam/keklar elyafı takviyesine bağlı olduğu görülmüştür.
- 1. grup içinde çekme dayanımı en yüksek Numune 1'dir. Numune 1'in çekme dayanımı 216 MPa'dır. Yapıda bulunan kendir lifleri 0° açısıyla yerleştirilmiştir. Numune 1 sadece kendir lifinden oluşmaktadır.
- 2. grup içinde maksimum çekme dayanımı veren Numune 5'tir. Numune 5'in çekme dayanımının 85 MPa olduğu tespit edilmiştir. Yapıda bulunan kendir liflerinin 45° yönlendirilmesi ile üretilmiştir. Numune 5 kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır.
- 3. grup içinde maksimum çekme dayanımını veren Numune 7'dir. Numune 7'nin çekme dayanımı 80 MPa olduğu tespit edilmiştir. Kendir liflerinin 60°lik yönlendirilmesi ile üretilmiştir. Numune 7 kendir lifinden oluşmaktadır.
- 4. grup içinde maksimum çekme dayanımını veren Numune 11'dir. Numune 11'in çekme dayanımı 164 MPa olduğu tespit edilmiştir. Yapı 5 kat kendir lifi ve 6 kat keklar elyafından oluşmaktadır. 0° kendir lifi yönlendirilmesi ile üretilmiştir.
- 5. grup içinde maksimum çekme dayanımını veren Numune 13'dir. Numune 13'ün çekme dayanımı 389 MPa olduğu tespit edilmiştir. Yapıda 6 kat keklar elyafı bulunmaktadır.

- 6. grup içinde maksimum çekme dayanımını veren Numune 1'dir. Numune 1'in çekme dayanımı 216 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sadece kendir lifinden üretilmiş kompozit numuneler karşılaştırılmıştır.
- 7. grup içinde maksimum çekme dayanımını veren Numune 12'dir. Numune 12'nin çekme dayanımı 370 MPa olduğu tespit edilmiştir. Kendir lifi ve cam elyafı ile üretilmiş olan yapılar karşılaştırılmıştır.
- 8. grup içinde maksimum çekme dayanımını veren Numune 13'tür. Numune 13'ün çekme dayanımı 389 MPa olduğu tespit edilmiştir. Kendir lifi ve kevlar elyafından üretilen kompozit yapılar karşılaştırılmıştır.
- Çekme ve eğme testi yapıldıktan sonra numunelerde hasarın içeriden kendir liflerinin bulunduğu bölgeden başladığı gözlemlenmiştir.
- 1. grup içinde üç noktalı eğme deneyinde maksimum değeri veren Numune 2'dir. Numune 2'nin üç noktalı eğme deneyi sonucu 209,55 MPa değerine ulaşılmıştır. Yapı kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır.
- 2. grup içinde üç noktalı eğme deneyi sonucu maksimum olan Numune 4'tür. Numune 4 için 113,7 MPa ölçülmüştür. Yapı kendir lifinden oluşmaktadır.
- 3. grup içinde üç noktalı eğme deneyi sonucu maksimum olan Numune 9'dur. Numune 9 için 83,868 MPa ölçülmüştür. Yapı kendir lifi ve kevlar elyafından oluşmaktadır.
- 4. grup içinde üç noktalı eğme deneyi sonucu maksimum değeri veren Numune 10'dur. Numune 10 için 121,311 MPa ölçülmüştür. Yapı kendir lifinden oluşmaktadır.
- 5. grup içinde üç noktalı eğme deneyi sonucunu maksimum olan Numune 13'tür. Numune 13 için 389,48 MPa ölçülmüştür. Yapı kevlar elyafından oluşmaktadır.

- 6. grup içinde üç noktalı eğme deneyi sonucunu maksimum olan Numune 4'tür. Numune 4 için 113,7 MPa değeri ölçülmüştür. Sadece kendir lifinden üretilmiş kompozit numuneler karşılaştırılmıştır.
- Sadece keklar elyafı ile üretilen numunenin üç noktalı eğme deneyinde en düşük sonucu veren numunedir. Termoset epoksi-keklar lifi uyumlu olmadığından keklar tabakaları arasında ayrışma gözlemlenmiştir.
- Liflerin açısı ve elyafların kombinasyonunun yapının mukavemet değerlerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.
- En yüksek çekme dayanımını veren keklar elyafı, 60° kendir/cam elyafı/epoksi kompozit yapısına göre %231,8 daha fazla çekme mukavemetine sahiptir.
- Açılı elyafların kullanıldığı yapılarda uygulanan çekme testinde kopma orta bölgede (boyun kısmından) değil de daha çok bağlanma yerlerinden kopmuştur.
- Elyaf/epoksi oranı yapıda %28,71 ile %32,2 oranındadır.
- Kevlar elyafının kendir lifine göre kopma uzaması daha büyüktür. Bundan dolayı çekme testlerinde kendir lifi önce kopmuştur ve keklar elyafının epoksi reçineyi kırarak keklar elyafının uzaması devam etmiştir.
- 45° ve 60° liflerinin yerleştirildiği çekme numunelerinin boyun kısmında liflerin kısa olması mukavemet değerlerini düşürmüştür.
- Liflerin uzun ve sürekli olduğunda mukavemette artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Kevlar elyafı ile kendirin uyumsuz olduğu üretilen kompozit numunelerin çekme dayanım uzama oranları farklı olmasından dolayı keklar elyafı yapıdan ayrılmakta ve dayanım düşmektedir.

- Çekme deneyinde lif yönleri çekme yönüne uyumlu olduğundan çekme mukavemet değerleri çok fazla etkilenmemiş ancak üç noktalı eğme deneyinde gözenekli yapı üç noktalı eğme deneyi sonucunda değerlerin düşük çıkmasında belirgin rol oynamıştır.
- Teorik gözeneklilik hesaplarına göre en yüksek gözeneklilik % 44 ile Numune 4'te, en düşük gözeneklilik %21 ile Numune 12 çıkmıştır.
- Numunelerin teorik yoğunluğu hesaplanmıştır. Açığa bağlı olarak kendirli kısmı kıyasla teorik yoğunluklar 1,234-1,354 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir.
- 1. grupta çentik darbe tokluğu değerleri Numune 2 için 27,1 J/cm<sup>2</sup> ile maksimum sonucu vermiştir. Yapı kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır. 0° kendir lifi yönlendirmesi ile üretilmiştir.
- 2. grupta çentik darbe tokluğu değerleri Numune 5 için 4,43 J/cm<sup>2</sup> ile maksimum sonucu vermiştir. Yapı kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır. 45° kendir lifi yönlendirilmesi ile üretilmiştir.
- 3. grupta çentik darbe tokluğu değerleri Numune 8 için 26,39 J/cm<sup>2</sup> ile maksimum sonucu vermiştir. Yapı kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır. 60° kendir lifi yönlendirilmesi ile üretilmiştir.
- 4. grupta çentik darbe tokluğu değerleri Numune 10 için 27,23 J/cm<sup>2</sup> ile maksimum sonucu vermiştir. Yapı kendir lifi ve cam elyafından oluşmaktadır. 0° kendir lifi yönlendirilmesi ve 5 kat kendir lifi ve 6 kat cam elyafı ile üretilmiştir.
- 5. grupta çentik darbe tokluğu değerleri Numune 12 için 11,2 J/cm<sup>2</sup> ile maksimum sonucu vermiştir. Yapı 6 kat cam elyafından oluşmaktadır.
- Grup 1 ve grup 5 elle yatırma üretim yöntemi kullanılarak üretildikten sonra vakumlama yapılmıştır ancak grup 2, grup 3 ve grup 4 vakumlama yapılmadan kurumaya bırakılmıştır. Bundan dolayı grup 2'nin değerleri diğerlerine göre daha düşük darbe tokluğu değerlerine sahiptir. Vakum yöntemi ile üretim daha yüksek dayanım elde edilmesinde önemli bir faktördür.

- 45° lif yönlendirmesi ile üretilen numunelerin mekanik değerleri diğer numunelere göre daha düşüktür. Kayma düzleminin açısının 45° olmasından kaynaklanmaktadır.
- 27,23 J/cm<sup>2</sup> ile darbe testi sonucunu en yüksek Numune 11 verirken en düşük 4,1 J/cm<sup>2</sup> ile Numune 4 tespit edilmiştir. Numune 4'ün en düşük değeri vermesinin nedeni ise kayma düzlemi açısının da 45° olmasından kaynaklanmaktadır.
- Vakumlama yöntemi kullanılarak üretilen numunelerin arasında en yüksek darbe tokluğunu 27,1 J/cm<sup>2</sup> Numune 2 vermiştir.
- Gözeneklilik oranı ile mukavemet değerleri ters orantılıdır. Gözeneklilik oranı arttıkça mukavemet değerleri düşer. Vakumlama yapılmış numuneler arasında en düşük gözeneklilik oranı %21 (Numune 12) ve en yüksek gözeneklilik oranı %23'tür (Numune 13). Vakumlama yapılmadan üretilen numuneler arasında en az gözeneklilik %23 ile Numune 7 ve en yüksek gözeneklilik oranı %44 ile Numune 4 olmuştur. Vakumlama yöntemi gözenek oluşumunu en aza indiren üretim yöntemidir.
- Darbe, çekme ve 3 noktalı testlerinden sonra kırılma yüzeyleri incelendiği zaman kevlar elyafının kendir lifinden ayrıldığı görülmektedir. Kendir lifinin elastise modülü 12,7 MPa iken kullanılan kevlar elyafının elastise modülü 11,2 GPa'dır. Elastisite modüllerinin arasındaki farkın büyük olması etkindir. Kevlar elyafının katmanlarına ayrılmasının nedeni epoksi ile kevların elastisite modüllerindeki farklılıktır. Cam elyafının elastisite modülü ise 72,4GPa'dır.

## 5.2 Öneriler

Doğal lifler ile sürdürülebilir bir yapı elde edilebilir. Doğal liflerin doğada çabuk çözünebilir olması ve ekonomik olarak uygun olmasından dolayı tercih edilmelidir. İleriki çalışmalar için; kendir lifi kimyasal olarak yıkanıp dokunabilir ve kompozit üretim yöntemi olarak el ile yatırma yöntemi uygulanabilir. Farklı yoğunluklarda kumaş dokunduktan sonra kendir takviyeli kompozit malzemelerin üretimi kalınlıkları hassas bir şekilde belirleme oranı sağlayacağından farklı dokuma şekillerinde kendir kumaşları ile ilgili çalışmaların yapılmasının yararlı olacaktır. Kendir lifinin ana

takviye elemanı olduğu çoklu sayıda tekstil ürünü kumaş takviyeli kompozit yapılar araştırılabilir.

Yapının esnek olması darbelere karşı yüksek dayanım özelliklerinden dolayı bu tür kompozitlerin otomotiv sanayisinde kaporta üretiminde kullanılabilirliği araştırılabilir.



## KAYNAKLAR

- A. Neves, L. Rohen, C. Vieira, R. Castro, F. Margem & S. Monteiro (2018). Tensile properties of epoxy composites reinforced with hemp fibers. *ResearchGate* 70(2156/2161) doi: 10.5151/1516-392X-27049
- A. Neves, L. Rohen, D. Mantovani, J. Carvalho, C. Mauricio Fontes Vieria, F. Perisse Duarte Lopez, N. Toninin Simonassi, F. Luz (2019). Comparative Mechanical Properties Between Biocomposites of Epoxy and Polyester Matrices Reinforced by Hemp Fiber. *Journal of Materials Research and Technology*. doi: 9.10.1016/j.jmrt.2019.11.056.
- Akdoğan, Eker, A. (2008). Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri. <https://docplayer.biz.tr/17800082-Metal-matrisli-kompozit-malzemeler-ve-uretim-yontemleri.html>, Erişim tarihi: 23/07/2020
- Albartouli, A. B. M. (2021). Grafen Katkılı Bakır Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Kastamonu Üniversitesi*. Kastamonu
- Asthana, A., & Srivastava, V. (2021). Mechanical Behavior of Silk/Hemp/Steel Wool–Epoxy Composite. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2228-2231.
- Aşam, Ç. (2021). Muz Takviyeli Poliolefinlerin Mekanik, Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Munzur Üniversitesi*. Tunceli.
- Ayan, M. Ç. (2019). Pamuk Elyaf Takviyeli Biyo Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. İskenderun.
- Baghaei, B., Skrifvars, M., Salehi, M., Bashir, T., Rissanen, M., & Nousiainen, P. (2014). Novel Aligned Hemp Fibre Reinforcement for Structural Biocomposites: Porosity, Water Absorption, Mechanical Performances and Viscoelastic Behaviour. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 61, 1-12. doi: 10.1016/j.compositesa.2014.01.017
- Belevi, M., Nejabatı, A., & Karasu, H. F. Darbe Test Sıcaklıklarının Kompozit Levhaların Darbe Sonrası Bası Davranışına Etkisinin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24(72), 835-843.
- Beşergil, B. (2018). *Kompozitler*. <https://l24.im/6yjPU>, Erişim tarihi: 13/12/2022
- Beşergil, B. (2018). *Termoplastikler, Termosetler, Elastomerler, Fiberler (Thermoplastics, Thermosets, Elastomers, Fibers)* <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/termoplastikler-termoset-plastikler.html>, Erişim tarihi: 12/12/2022

- Bhoopathi, R., Ramesh, M., & Deepa, C. (2014). Fabrication and Property Evaluation of Banana-Hemp-Glass Fiber Reinforced Composites. *Procedia Engineering*, 97, 2032-2041.
- Bıyıklıoğlu, E. (2019). Aramid Fiber Malzemesi Kullanılarak Güçlendirilen Çelik Kirişlerin Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*. Sakarya.
- Bulut, M. (2014). Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Bitirme Projesi, Ankara, 47-70.
- Bulut, Y., & Erdoğan, Ü. H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 18(82), 26-35.
- Buyrul, F. (2018). TiB2 İlaveli Aramid Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İstatistiksel Analizleri ve Yapay Sinir Ağlarıyla Modellemesi (Master's Thesis, *Kırıkkale Üniversitesi*).
- Bülbül, B. (2020). Al-Ni/GO ve Al-Ni/TiO<sub>2</sub> Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi. *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Batman.
- CTP Teknolojisi, <https://l24.im/mgy> Erişim tarihi: 19/02/2021
- ÇAKIR, M., & Berberoğlu, B. (2018). E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış ile Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi. *El-Cezeri*, 5(3), 734-740.
- Çaylak, S. (2021). Alkil Keten Dimerin Doğal lif ve Cam Elyaf Takviyeli Biyopolimer Kompozitlerin Performans Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bursa.
- Demir, A. (2019). Otomotiv Sektörüne Yönelik Bitki Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Teknik Üniversitesi*. Bursa.
- Demirbek, D., & Bulut, M. O. Kenevir Liflerinin Eldesi, Özellikleri Ve Kompozit Uygulama Alanları. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(2), 176-191.
- Demirel, M. (2007). Cam Elyaf Takviyeli Poliester Kompozitlere Yanmazlık Özelliği Kazandırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Di Landro, L., & Janszen, G. (2014). Composites with Hemp Reinforcement and Bio-Based Epoxy Matrix. *Composites Part B: Engineering*, 67, 220-226. doi: 10.1016/j.compositesb.2014.07.021

- Elkhaoulani, A., Arrakhiz, F. Z., Benmoussa, K., Bouhfid, R., & Qaiss, A. (2013). Mechanical and Thermal Properties of Polymer Composite Based on Natural Fibers: Moroccan Hemp Fibers/Polypropylene. *Materials & Design*, 49, 203-208.
- Erem, A. D., & Özcan, G. (2013). Polimer Esaslı Nanokompozitler ve Tekstil Uygulamaları. *Polimer Esaslı Nanokompozitler ve Tekstil Uygulamaları*. 2013 (Cilt: 20), 89.
- Gupta, N. V., & Rao, K. S. (2018). An Experimental Study on Sisal/Hemp Fiber Reinforced Hybrid Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 7383-7387.
- Gülmez, S. (2018). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler. Tezsiz Yüksek Lisans Projesi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Pamukkale.
- Gündoğan, M. A. (2016). Hindistan Cevizi Liflerinin Ön Terbiye İşlemlerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Denizli.
- Işık, A. (2008). Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Kalaycı, E. (2017). Ananas Liflerinin Ön Terbiyesinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Denizli.
- Karaca, M. (2018). *Lif Bitkileri*. <https://124.im/aTqkxrW> Erişim tarihi: 30/05/2022
- Karakoç, Z., Ketani, M. A., & Ketani, Ş. (2016). Mikroskopların Çalışma Mekanizması ve Çeşitleri. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, (1), 1-6.
- Kaya, S., & Oner, E. (2020). Kenevir Liflerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Tekstil Endüstrisindeki Uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123.
- Kılıçteke, S., Erkendirici, Ö. F., & Mühendisliği, M. Farklı Tabakalarda Nanoalümina Katkılı Karbon-Kevlar Hibrit Kompozitleri Mekanik Özelliklerinin Ve Darbe Tokluğunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi*. İstanbul.
- Keskin, K. (2019). *Kevlar Nedir? Nasıl Üretilir? Özellikleri Nedir?*. <https://malzemebilimi.net/kevlar-nedir-nasil-uretilir-ozellikleri-nedir.html> Erişim tarihi: 17/06/2022
- Kurt, G. (2006). Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

- Lebrun, G., Couture, A., & Laperrière, L. (2013). Tensile and Impregnation Behavior of Unidirectional Hemp/Paper/Epoxy and Flax/Paper/Epoxy Composites. *Composite Structures*, 103, 151-160. doi: 10.1016/j.compstruct.2013.04.028
- Madhusudhana, H. K., Desai, B., & Venkatesha, C. S. (2018). Experimental Investigation on Parameter Effects on Fracture Toughness of Hemp Fiber Reinforced Polymer Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 20002-20012.
- MEB, 2014.  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Do%C4%9Fal%20Lifler.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Do%C4%9Fal%20Lifler.pdf), Erişim tarihi: 05/12/2020
- Mıstık, S. İ. (2009). Bor Lifi Takviyesinin Polimer Esaslı Kompozit Yüzeylerin Mekanik Özelliklerine Etkileri Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi*. İstanbul.
- Mirițoiu, C. M., Stănescu, M. M., Burada, C. O., Bolcu, D., Pădeanu, A., & Bolcu, A. (2019). Comparisons Between Some Composite Materials Reinforced with Hemp Fibers. *Materials today: proceedings*, 12, 499-507. doi: 10.1016/j.matpr.2019.03.155
- O'Day, R. (2015). *Advanced Packaging Materials For Electronic Components and Systems*, <https://www.qats.com/cms/category/materials/>, Erişim tarihi: 20/12/2019
- Öndürücü, A., & Gökhan, C. A. N. (2020). Fonksiyonellendirilmiş Alümina ve Silika Katkılı Kevlar-Cam Elyaf/Epoksi Reçineli Hibrit Kompozitlerin Cam ve Kevlar Yüzeylerine Uygulanan Darbe Enerjilerinin Darbe Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(3), 707-717
- Öndürücü, A., & Karacan, A. (2018). Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 435-447.
- Ömercikoğlu, A. (2009). Metal Katmanlar İçeren Hibrit Katmanlı Kompozit Plakların Anlık Basınç Yüğü Altındaki Dinamik Cevabının İncelenmesi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- R. Bhoopathi, M. Ramesh, M. Kumar, P. Balaji & G. Sasikala (2018). Studies on Mechanical Strengths of Hemp-Glass Fibre Reinforced Epoxy Composites. *IOP Science*: 402
- Ramesh, M., & Nijanthan, S. (2016). Mechanical Property Analysis of Kenaf–Glass Fibre Reinforced Polymer Composites Using Finite Element Analysis. *Bulletin of Materials Science*, 39(1), 147-157.
- Ribeiro, M. P., de Mendonça Neuba, L., da Silveira, P. H. P. M., da Luz, F. S., da Silva Figueiredo, A. B. H., Monteiro, S. N., & Moreira, M. O. (2021). Mechanical, Thermal and Ballistic Performance of Epoxy Composites Reinforced with

- Cannabis Sativa Hemp Fabric. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 221-233. (100)
- Sair, S., Oushabi, A., Kammouni, A., Tanane, O., Abboud, Y., & El Bouari, A. (2018). Mechanical and Thermal Conductivity Properties of Hemp Fiber Reinforced Polyurethane Composites. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 203-212.
- Sarıkaya, E. (2019). Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Tespiti. Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Pamukkale.
- Sawpan, M. A., Pickering, K. L., & Fernyhough, A. (2012). Flexural Properties of Hemp Fibre Reinforced Polylactide and Unsaturated Polyester Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(3), 519-526.
- Sönmez, M. (2009). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Suriyaprakash, M., Nallusamy, M., Shanjai, K. S. R., Akash, N., & Rohith, V. (2022). Experimental Investigation on Mechanical Properties of Ramie, Hemp Fiber and Coconut Shell Particle Hybrid Composites with Reinforced Epoxy Resin. *Materials Today: Proceedings*. doi: 10.1016/j.matpr.2022.08.091
- Şanlıtürk, S. (2020). Al Katmanlar Kullanılarak Üretilmiş Fiber Metal Tabakalı Kompozitlerin Delinmesinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi. *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Batman.
- Thiagamani, S. M. K., Krishnasamy, S., Muthukumar, C., TENGsuthiwa, J., Nagarajan, R., Siengchin, S., & Ismail, S. O. (2019). Investigation Into Mechanical, Absorption and Swelling Behaviour of Hemp/Sisal Fibre Reinforced Bioepoxy Hybrid Composites: Effects of Stacking Sequences. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 637-646.
- Tursun, H. (2019). Fiber Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Sonlu Elemanlar Analizinde Kullanmak Üzere Malzeme Modellerinin Geliştirilmesi Doktora Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi*. Konya.
- Türk, M. (2019). Yün ve Meta-Aramid İpliklerinden Oluşan Dokuma Kumaşların Özelliklerinin İncelenmesi Doktora Tezi. *Bursa Uludağ Üniversitesi*. Bursa.
- URL-1. Karbon Elyafı, <http://kompozit.org.tr/demo/wp-content/uploads/2017/05/Kompozitin-Tarihi.pdf>, Erişim tarihi: 08/10/2020
- URL-2. Kompozit Nedir? Kompozit Malzemelerin Özellikleri, <https://insapedia.com/kompozit-nedir-kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri/>, Erişim tarihi: 23/10/2020
- URL-3. Kompozit, <http://knowgeee.blogspot.com/2016/08/kompozit.html>, Erişim tarihi: 22/03/2020

- URL-4. Karbon Fiber Nedir?, <https://marsisinovasyon.com/karbon-fiber-nedir/>, Erişim tarihi: 02/11/2020
- URL-5. Kevlar Elyafı, <https://l24.im/aBwQgQ>, Erişim tarihi: 26/05/2021
- URL-6. Çözü ve Atkı Nedir?, <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2017/12/cozgu-ve-atki-nedir.html>, Erişim tarihi: 03/12/2019
- URL-7. Kenevir Nedir?, Kenevir Bitkisi, Kenevir Lirleri, <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2013/01/kenevir-bitkisi-lifleri.html>, Erişim tarihi: 12/12/2021
- URL-8. Kenaf Bitkisi, <https://l24.im/Zi7ms>, Erişim tarihi: 12/10/2020
- URL-9. Sisal Ürünler, <https://l24.im/ST0z>, Erişim tarihi: 09/29/2022
- URL-10. Sisal Lifi <https://l24.im/nme2o3>, Erişim tarihi: 07/08/2022
- URL-11. Polimer Matrisli Kompozitler, <https://l24.im/QdqY>, Erişim tarihi: 04/11/2021
- Varol M. (2007). *Plastik Şekillendirme Yöntemleri*. <https://l24.im/vcpQ>, Erişim tarihi: 05/05/2021
- Vatangül, E., (2008). Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi*. İzmir.
- Väisänen, T., Batello, P., Lappalainen, R., & Tomppo, L. (2018). Modification of Hemp Fibers (Cannabis Sativa L.) for Composite Applications. *Industrial Crops and Products*, 111, 422-429. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.10.049
- Yalçın, E. B. (2012). Farklı Kumaş ve Farklı Yöntemlerle Üretilmiş CTP Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.



# EKLER

## EK A. Numunelerin Ön Hazırlığı



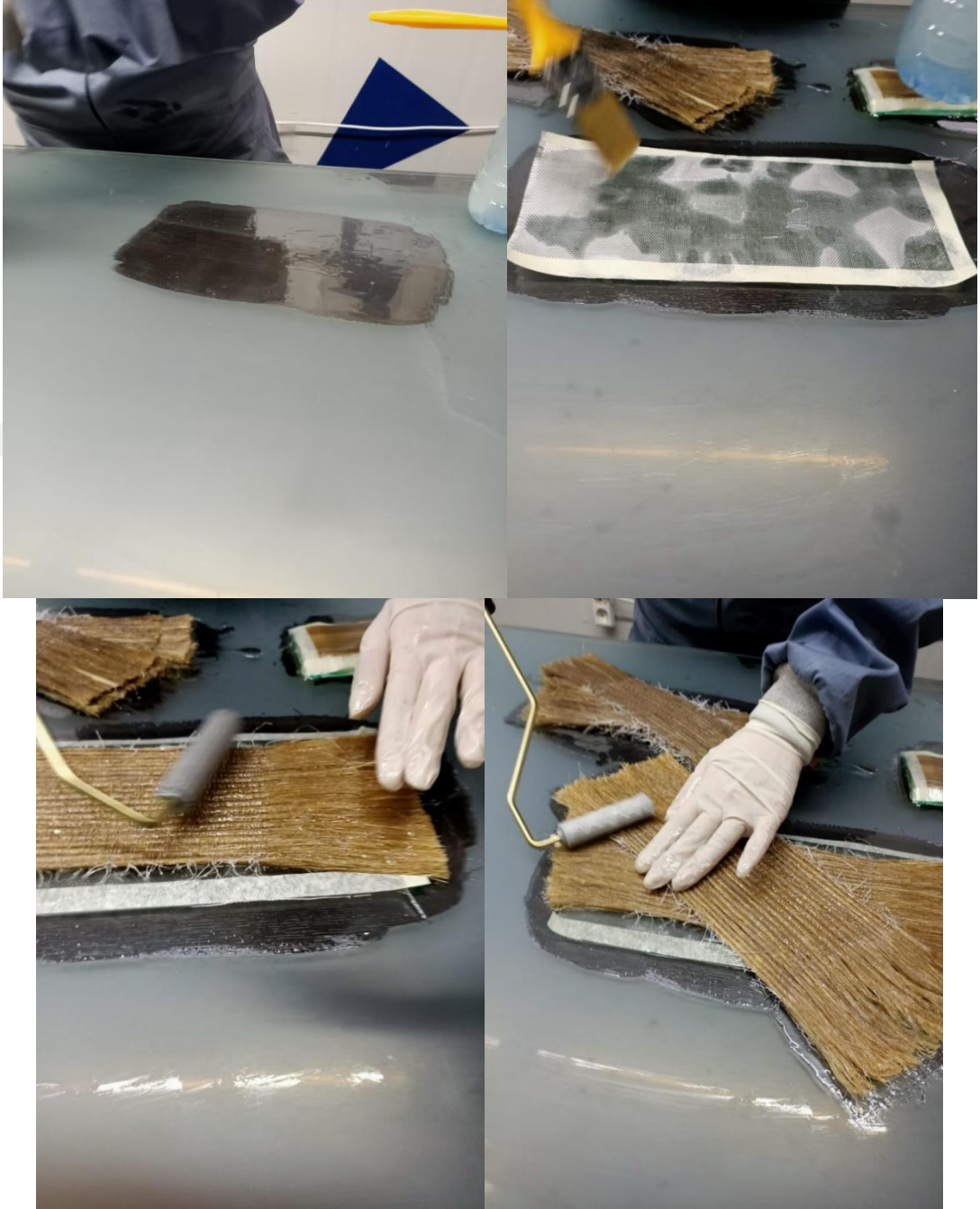
## EK A.'nın devamı



## EK B. 45° Kendir Lifinin Üretilme Aşaması



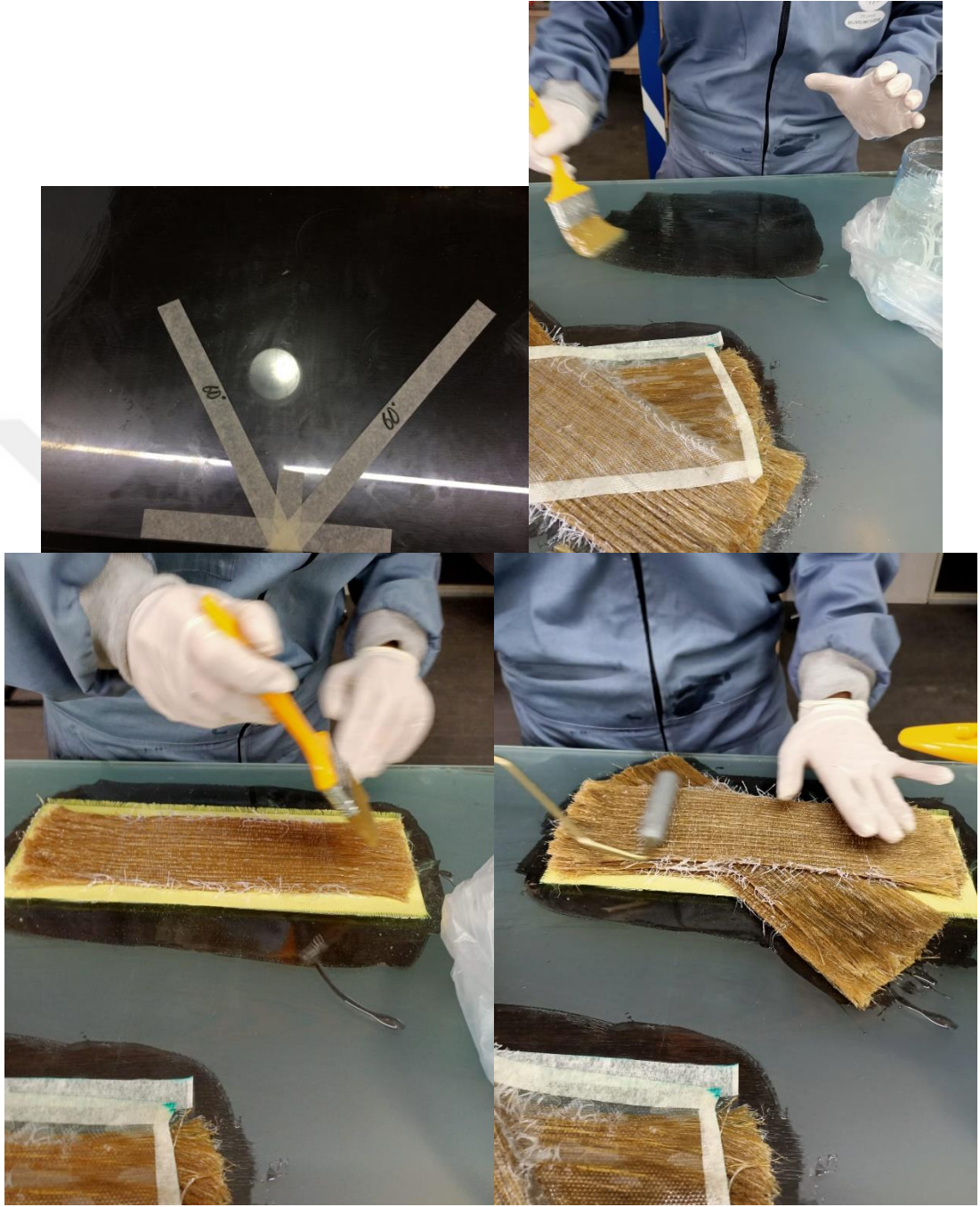
**EK B.'nin devamı**



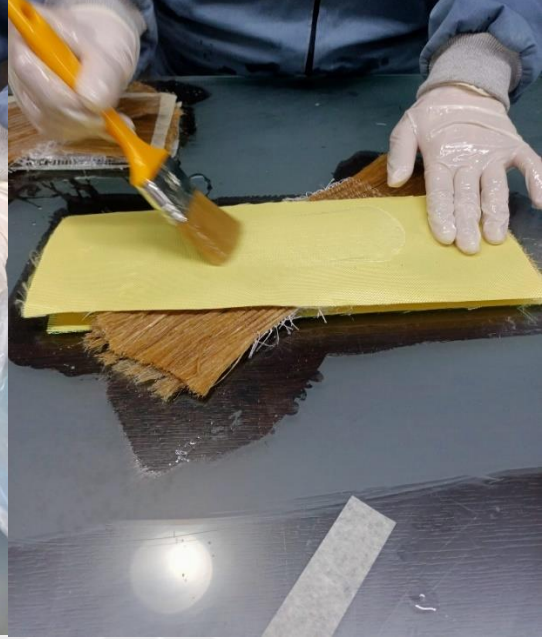
## EK B.'nin devamı



## EK C. 60° Kendir Lifinin Üretilme Aşaması



## EK C.'nin devamı



## EK C.'nin devamı



**EK D. 11 Kat Elyafların Üretimi (5 Kat Kendir+ 6 Kat Kevlar/Cam Elyafı)**



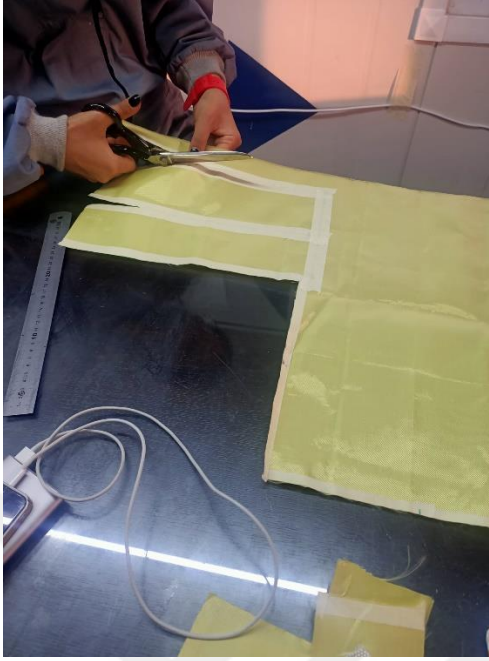
## EK D.'nin devamı



**EK D.'nin devamı**



## EK E. 5 Kat Kevlar ve Cam Elyafının Üretimi



## EK E.'nin devamı

