

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



FARKLI TABAKALARDA NANOALÜMİNA KATKILI KARBON –  
KEVLAR HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE  
DARBE TOKLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan KILIÇTEK

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Makine Mühendisliği Programı

Şubat, 2020

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



FARKLI TABAKALARDA NANOALÜMİNA KATKILI KARBON –  
KEVLAR HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE  
DARBE TOKLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan KILIÇTEK  
(Y1713.080005)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer Faruk ERKENDİRCİ

Şubat, 2020

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ



YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1713.080005 numaralı öğrencisi Serkan KILIÇTEK'in "FARKLI TABAKALARDA NANO ALÜMİNA KATKILI KARBON-KEVLER HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE DARBE TOKLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 31.01.2020 tarihli ve 2020/02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Tezli Yüksek Lisans tezi 10.02.2020 tarihinde kabul edilmiştir.

| <u>Unvan</u>        | <u>Adı Soyadı</u> | <u>Üniversite</u>     | <u>İmza</u>                    |
|---------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <b>ASIL ÜYELER</b>  |                   |                       |                                |
| Danışman            | Prof. Dr.         | Ömer Faruk ERKENDİRCİ | İstanbul Aydın Üniversitesi    |
| 1. Üye              | Dr. Öğr. Üyesi    | Lütfiye DAHİL         | İstanbul Aydın Üniversitesi    |
| 2. Üye              | Dr. Öğr. Üyesi    | Osman SİMAV           | Beykent Üniversitesi           |
| <b>YEDEK ÜYELER</b> |                   |                       |                                |
| 1. Üye              | Dr. Öğr. Üyesi    | Süleyman ŞİMŞEK       | İstanbul Aydın Üniversitesi    |
| 2. Üye              | Dr. Öğr. Üyesi    | Mürsel EKREM          | Necmettin Erbakan Üniversitesi |

ONAY

Prof. Dr. Ragıp Kutay KARACA  
Enstitü Müdürü

## **YEMİN METNİ**

Yüksek Lisans olarak sunduğum “Farklı Tabakalarda Nanoalümina Katkılı Karbon – Kevlar Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Ve Darbe Tokluğunun Araştırılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../20..)

**Serkan KILIÇTEK**

## **ÖNSÖZ**

Bu çalışma süresince bilgi birikimini ve tecrübelerini benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Ömer Faruk ERKENDİRİCİ başta olmak üzere tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Abdullah SEZGİN'e teşekkür ederim.

Son olarak da benden maddi ve manevi hiçbir desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

**Şubat, 2020**

**Serkan KILIÇTEK**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ.....  | iv        |
| İÇİNDEKİLER .....   | v         |
| KISALTMALAR .....   | vii       |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | viii      |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | ix        |
| ÖZET.....   | xi        |
| ABSTRACT .....  | xii       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. KOMPOZİT MALZEMELER.....</b>                              | <b>5</b>  |
| 2.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları (Şahin, 2015).....        | 9         |
| 2.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları (Arıcasoy, 2006) ..... | 10        |
| 2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....                | 10        |
| 2.3.1 Matris fazına göre kompozitlerin sınıflandırılması.....   | 10        |
| 2.3.1.1 Polimer matrisli kompozitler.....                       | 11        |
| 2.3.1.2 Seramik matrisli kompozitler .....                      | 12        |
| 2.3.1.3 Metal matrisli kompozitler .....                        | 13        |
| 2.3.2 Takviye fazına göre kompozitler .....                     | 15        |
| 2.3.2.1 Parçacık takviyeli kompozitler.....                     | 15        |
| 2.3.2.2 Elyaf takviyeli kompozitler.....                        | 16        |
| 2.3.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler .....                      | 17        |
| 2.3.2.4 Hibrit kompozitler .....                                | 19        |
| 2.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri .....               | 20        |
| 2.4.1 Elle yatırma yöntemi .....                                | 20        |
| 2.4.2 Vakum infüzyon yöntemi.....                               | 21        |
| 2.4.3 Püskürtme yöntemi .....                                   | 23        |
| 2.4.4 Elyaf sarma yöntemi .....                                 | 23        |
| 2.4.5 Profil çekme yöntemi .....                                | 24        |
| 2.4.6 Hazır kalıplama .....                                     | 25        |
| <b>3. FİBERLER .....</b>  | <b>26</b> |
| 3.1 Cam Elyaf.....  | 27        |
| 3.2 Aramid Elyaf .....  | 29        |
| 3.3 Karbon Elyaf .....  | 31        |
| 3.4 Bor Elyaf .....   | 33        |
| <b>4. REÇİNELER.....</b>  | <b>35</b> |
| 4.1 Epoksi Reçineler .....                                      | 36        |
| 4.2 Polyester Reçineler.....                                    | 38        |
| 4.3 Vinilester Reçineler.....                                   | 39        |
| 4.4 Fenolik Reçineler .....                                     | 40        |
| 4.5 Silikon Reçineler .....                                     | 41        |
| 4.6 Kırılma Sürecinin Mekanik Özelliklere Etkisi .....          | 41        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                  | <b>43</b> |
| 5.1 Materyal .....   | 43        |
| 5.1.1 Fiberler .....   | 43        |
| 5.1.2 Epoksi.....  | 44        |
| 5.1.3 Nanoalümina .....  | 45        |
| 5.1.3.1 Alümina kullanım alanları .....                            | 46        |
| 5.2 Yöntem .....   | 47        |
| 5.2.1 Epoksinin hesaplanması ve hazırlanması.....                  | 51        |
| 5.2.2 Epoksinin sisteme verilmesi.....                             | 53        |
| <b>6. DENEYLER VE BULGULAR .....</b>                               | <b>56</b> |
| 6.1 Yakma Deneyi.....  | 56        |
| 6.1.1 Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı ..... | 56        |
| 6.2 Çekme Deneyi .....   | 59        |
| 6.2.1 Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı ..... | 59        |
| 6.3 Darbe Testi .....  | 64        |
| 6.3.1 Çentik darbe deneyi .....                                    | 64        |
| 6.3.2 Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı ..... | 64        |
| 6.4 Hasar Analizi ve Sem Görüntüleri .....                         | 68        |
| 6.4.1 Matris hasarı.....   | 68        |
| 6.4.2 Delaminasyonlar .....  | 70        |
| 6.4.3 Fiberler .....   | 70        |
| 6.4.4 Sem görüntüleri .....  | 71        |
| <b>7. SONUÇ.....</b>   | <b>77</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>79</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>83</b> |

## KISALTMALAR

|                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Ak</b>                          | : Kopma Sonrası Büzülme Miktarı |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | : Alüminyum Oksit               |
| <b>b</b>                           | : Numune Yüksekliği             |
| <b>h</b>                           | : Numune Kalınlığı              |
| <b>Kc</b>                          | : Darbe Tokluğu                 |
| <b>Ke</b>                          | : Darbe Enerjisi                |
| <b>MMK</b>                         | : Metal Matrisli Kompozitler    |
| <b>Pf</b>                          | : Fiber Yoğunluğu               |
| <b>Pk</b>                          | : Kompozit Yoğunluğu            |
| <b>PMK</b>                         | : Polimer Matrisli Kompozitler  |
| <b>SMK</b>                         | : Seramik Matrisli Kompozitler  |
| <b>Wf</b>                          | : Fiber Ağırlığı                |
| <b>Wk</b>                          | : Kompozit Ağırlığı             |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| <b>Çizelge 3.1:</b> Cam elyaf türlerinin ve bazı elyafların mekanik özelliklerinin karşılaştırılması..... | 29           |
| <b>Çizelge 3.2:</b> Fiberlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....                              | 34           |
| <b>Çizelge 5.1:</b> Kullanılan fiberlerin özellikleri.....  | 43           |
| <b>Çizelge 5.2:</b> Reçine mekanik özellikleri.....   | 45           |
| <b>Çizelge 5.3:</b> Epoksinin özellikleri.....  | 45           |
| <b>Çizelge 5.4:</b> Nanoalüminanın özellikleri.....   | 47           |
| <b>Çizelge 5.5:</b> Kullanılan fiberlerin istiflenme sırası ve açıları.....                               | 49           |
| <b>Çizelge 6.1:</b> Yakma testi sonucu elde edilen veriler.....   | 57           |
| <b>Çizelge 6.2:</b> Numunelerin fiber hacim oranları.....   | 58           |
| <b>Çizelge 6.3:</b> Çekme deneyi sonucu elde edilen değerler.....   | 62           |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 1.1:</b> Airbus A380 uçağı kompozit malzeme kullanılan kısımlar.....   | 2  |
| <b>Şekil 2.1:</b> Oda sıcaklığındaki çeşitli metallerin, seramiklerin, polimerlerin ve kompozitlerin yoğunluklarının karşılaştırılması (William, 2014).....                     | 6  |
| <b>Şekil 2.2:</b> Oda sıcaklığındaki çeşitli metallerin, seramiklerin, polimerlerin ve kompozitlerin kırılma tokluğunun karşılaştırılması (William, 2014).....                  | 6  |
| <b>Şekil 2.3:</b> Oda sıcaklığındaki çeşitli metallerin, seramiklerin, polimerlerin ve kompozitlerin çekme kuvvetinin karşılaştırılması (William, 2014).....                    | 7  |
| <b>Şekil 2.4:</b> (a) yoğunluk, (b) boyut, (c) şekil, (d) dağılım, (e) yönelme (William, 2014).....   | 8  |
| <b>Şekil 2.5:</b> Matris, fiber ve arayüzeyin basit görünümü.....   | 9  |
| <b>Şekil 2.6:</b> Kompozit malzemelerin matris fazına göre sınıflandırılması.....   | 11 |
| <b>Şekil 2.7:</b> Seramik matris ile üretilmiş fren diski örneği (Sönmez, 2009).....  | 13 |
| <b>Şekil 2.8:</b> Metal matrisli kompozit örnekleri (a) Piston kolu (b) Fren parçalar (c) kardan mili (Sönmez, 2009).....   | 14 |
| <b>Şekil 2.9:</b> Kompozitlerin takviye fazına göre sınıflandırılması.....  | 15 |
| <b>Şekil 2.10:</b> Parçacık takviyeli kompozit (Yüce, 2007).....  | 16 |
| <b>Şekil 2.11:</b> Elyaf takviyeli kompozitlerin şematik gösterimi (a) Sürekli fiberler, (b) süreksiz fiberler, (c) Süreksiz ve rastgele dizilmiş fiberler (William, 2014)..... | 17 |
| <b>Şekil 2.12:</b> Tabakalı kompozitin şematik gösterimi ve istiflenebilme açıları (William, 2014).....   | 18 |
| <b>Şekil 2.13:</b> Elle yatırma yöntemi şematik gösterimi (Khakzad, 2017).....  | 21 |
| <b>Şekil 2.14:</b> Vakum infüzyon yöntemi şematik gösterimi (Kaybal, 2015).....   | 22 |
| <b>Şekil 2.15:</b> Püskürtme yöntemi şematik gösterimi (Khakzad, 2017).....   | 23 |
| <b>Şekil 2.16:</b> Elyaf sarma yöntemi şematik gösterimi (Khakzad, 2017).....   | 24 |
| <b>Şekil 3.1:</b> Elyaf dokuma örneklerinin şematik gösterimi.....  | 27 |
| <b>Şekil 4.1:</b> Epoksi reçinenin kimyasal formülü (Dursun, 2018).....   | 37 |
| <b>Şekil 4.2:</b> Polyester reçinenin kimyasal formülü (Dursun, 2018).....  | 39 |
| <b>Şekil 4.3:</b> Vinilester reçinenin kimyasal formülü (Dursun, 2018).....   | 40 |
| <b>Şekil 5.1:</b> Kullanılan epoksi ve sertleştirici.....   | 44 |
| <b>Şekil 5.2:</b> Alüminanın atomik yapısı.....   | 46 |
| <b>Şekil 5.3:</b> Nanoalümina.....  | 47 |
| <b>Şekil 5.4:</b> Vakslanmış alüminyum plaka.....   | 49 |
| <b>Şekil 5.5:</b> 3 katlı hibrit kompozitin üretim aşamaları.....   | 50 |
| <b>Şekil 5.6:</b> Spiral hortum ve akış kontrol vanalarının bağlanması.....   | 50 |
| <b>Şekil 5.7:</b> (a) sistemin vakum torbasıyla kapatılmış hali, (b) sistemin vakumlanmış hali.....   | 51 |
| <b>Şekil 5.8:</b> (a) Reçinenin, sertleştirici alümina karışımına eklenmesi, (b) karışımdan sonraki hali.....   | 53 |
| <b>Şekil 5.9:</b> Reçinenin sisteme verilmesi.....  | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 5.10: 3 katlı numune .....  | 54 |
| Şekil 5.11: 5 katlı numune .....  | 55 |
| Şekil 5.12: 7 katlı numune .....  | 55 |
| Şekil 6.1: Yakma testi numunes .....  | 57 |
| Şekil 6.2: 5 katlı numunenin yakma testinden sonraki hali .....   | 57 |
| Şekil 6.3: Darbe Enerjisi – Fiber hacim oranı grafiği.....  | 58 |
| Şekil 6.4: Darbe tokluğu – Fiber hacim oranı grafiği.....   | 59 |
| Şekil 6.5: Çekme deneyi numuneleri.....   | 60 |
| Şekil 6.6: Alşa çekme cihazı.....   | 60 |
| Şekil 6.7: 3 katlı numune kuvvet – uzama grafiği .....  | 62 |
| Şekil 6.8: 5 katlı numune kuvvet – uzama grafiği .....  | 63 |
| Şekil 6.9: 7 katlı numune kuvvet – uzama grafiği .....  | 63 |
| Şekil 6.10: Çentik darbe deneyi şematik gösterimi .....   | 64 |
| Şekil 6.11: Çentik darbe deneyi numuneleri.....   | 65 |
| Şekil 6.12: Çentik darbe cihazı.....  | 65 |
| Şekil 6.13: 3 katlı numunenin kırılma alanının mikro görüntüsü.....   | 67 |
| Şekil 6.14: 5 katlı numunenin kırılma alanının mikro görüntüsü.....   | 67 |
| Şekil 6.15: 7 katlı numunenin kırılma alanının mikro görüntüsü.....   | 67 |
| Şekil 6.16: Matris hasarı .....   | 69 |
| Şekil 6.17: (a) kalın numunelerde meydana gelen matris çatlağı, (b) ince<br>numunelerde meydana gelen matris çatlağı..... | 69 |
| Şekil 6.18: Fiber hasarı şematik gösterimi .....  | 71 |
| Şekil 6.19: Kaplama cihazı .....  | 72 |
| Şekil 6.20: Au – Pd ile kaplanmış numuneler .....   | 72 |
| Şekil 6.21: 3 katlı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri.....  | 73 |
| Şekil 6.22: 3 katlı numunenin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri.....   | 73 |
| Şekil 6.23: 5 katlı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüsü .....   | 74 |
| Şekil 6.24: 5 katlı numunenin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri.....   | 74 |
| Şekil 6.25: 7 katlı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüsü .....   | 75 |
| Şekil 6.26: 7 katlı numunenin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri.....   | 76 |

# FARKLI TABAKALARDA NANOALÜMİNA KATKILI KARBON – KEVLAR HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE DARBE TOKLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Günümüzün en önemli malzemelerinden biri olan kompozit, iki ya da daha fazla malzemenin üstün özelliklerini tek bir malzemede toplayarak ya da yeni özellikler ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelere denir. Yeni gelişen teknolojilerin ihtiyacını karşılayabilmek için kompozitler oldukça önemlidir. Bunun en önemli nedeni ihtiyaçlara yönelik olarak takviye ve matris fazını oluşturacak bileşenleri belirleyebilmemizdir. Bu çeşitlilikte kompozitlerin kullanım alanlarını büyük oranda artırmıştır, savunma sanayi, otomotiv, havacılık, uzay sanayi ve spor gibi birçok endüstride öncelikli malzeme haline gelmiştir.

Bu çalışmada vakum infüzyon tekniği kullanılarak nanoalümina katkı 3, 5 ve 7 katlı karbon – kevlar tabakalı hibrit kompozitler üretilmiştir. Sonrasında ise bu numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için sırasıyla yakma, çekme ve çentik darbe deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler sonucu elde edilen verilerden yararlanarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar da elde edilen değerler çizelgelerde verilmiştir. Bu işlemlerin ardından çentik darbe numunelerinden faydalanılarak hasar analizi yapılmıştır. Son olarak da SEM görüntüleri alınarak nanoalüminaların homojen dağılıp dağılmadığı incelenmiş ve hasar tespitleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler ve alınan SEM görüntüleri sonucu katman sayısının mekanik özelliklere olumlu yönde etkisi olduğu görülmüştür. Yani katman sayısı arttıkça mekanik özellikler de artmaktadır. Sem görüntüleri incelendiğindeyse kullanılan nanoalüminaların reçine içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit kompozit, Karbon elyaf, Kevlar elyaf, Vakum infüzyon

**RESEARCH OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND IMPACT  
TOUGHNESS OF CARBON – KEVLAR HYBRID COMPOSITES WITH  
NANOALUMINA IN DIFFERENT LAYERS**

**ABSTRACT**

Composites are one of the most important materials in nowadays. Composites are made of the combination of 2 or more materials at the macro level, either by combining superior properties of materials or to achieve new properties. They are extremely important to answer the need of new developing technologies. The most important reason of this is being able to customise components of reinforcement and matrix phases. Because of this the areas of usage of composites have increased substantially. These areas are automotive, defence industry, aviation, space industry and sports industry. They have become the primary material in lots of industries.

In this study, hybrid composites with 3, 5 and 7 layers of carbon-kevlar layered with nano aluminminas are produced using vacuum infusion method. Subsequently, burning, tensile, charpy impact experiments were carried out to determine the mechanical properties of these samples. Calculations were made using tha data obtained as a result of these experiments. After these procedures, damage analysis was performed using notch impact samples. Finally, SEM images were taken and whether the nano aluminminas were homogeneously distributed and damage determinations were made.

As a result of the experiments and SEM images taken, the number of layers has been shown to have a positive effect on mechanical properties. In other words, the number of layers increases as well as mechanical properties. When sem images were examined, it was seen that the nanoaluminminas used were homogeneously distributed in the resin.

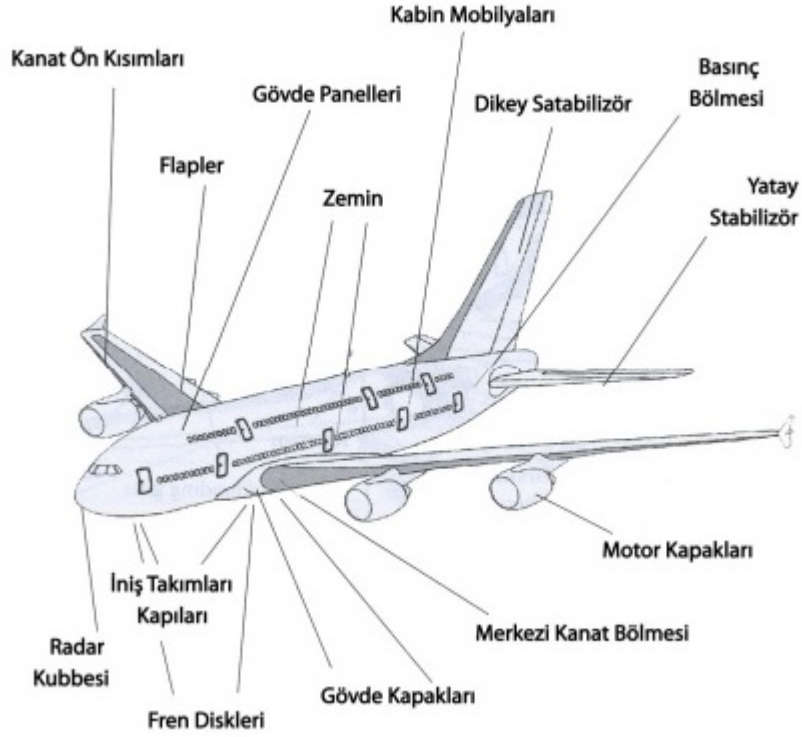
**Keywords:** *Hybrid composite, Kevlar fiber, Vacuum infusion method*

## 1. GİRİŞ

İnsanlık, yaşamı boyunca gelişme ve yeni şeyler keşfetme içgüdüğü ile ayakta durmaktadır. İnsanlığın gelişmesi ise teknoloji ile doğru orantılı bir şekilde ilerlemektedir. Bu yüzden insanlık var oldukça teknoloji gelişmeye ve ihtiyaçları karşılamaya devam edecektir.

Her geçen çağda bir öncekinden daha iyi malzemeler keşfedilmiştir. Bunlar bazen metallerin alaşımlanması ile bazen aynı cevherin farklı bir şekilde işlenmesinin keşfi ile de olsa her zaman pozitif yönde bir ivme ile devam etmektedir. Günümüze baktığımızda ise kompozitler çağımızın malzemesi olarak tanımlanabilir. Kompozitler sanayiinin hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Bilim insanları kompozit malzeme teknolojilerini ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirmektedirler. Böylece zamanında çok uzak görünen teknolojiler günlük yaşantımızın bir alışkanlığı haline gelmektedir. Bununla beraber günümüzde kullanılmakta olan malzeme teknolojisi şuan için her ne kadar yeterli gözükse de gün geçtikçe ve yeni ihtiyaçlar doğdukça bu teknoloji yetersiz kalacak ve gelişmeye ihtiyaç duyacaktır. Bu yüzden günümüzde malzeme alanında araştırmalar hızla artmakta ve önemli yatırımlar yapılmaktadır. Buna bağlı olarak daha uzun ömürlü, mukavim ama bir o kadar da hafif, atmosferik şartlara dayanıklı malzemeler üretme beklentisi açığa çıkmıştır. Fakat bu özelliklerin tamamının tek bir yapıdaki malzemede bulunması olası değildir. Bu yüzden kompozit malzemeler günümüzün ve geleceğimizin malzemesi olarak lanse edilmektedir. Buna en güzel örneklerden birisi ise Airbus firmasının üretmiş olduğu Boeing A380 uçağının %50'sinin kompozit malzemelerden meydana gelmesidir. Bu yüzden de 'plastik uçak' takma adı ile tanınmaktadır. Diğer bir örneği de dünyada çağlar boyunca yaşanmış savaşlardan vermek gerekirse, insanoğlu her zaman kendisini ve yaşadığı yeri savunma içgüdüğüne sahip bir canlı olmuştur. İlk başlarda bu savunma silah kullanımı ile yapılırken çağların ilerlemesi ve silahların gelişmesi ile daha çok savunmaya doğru yönelmektedir. Başlarda bunlar zırh, kalkan vb.

ürünler olsa da günümüzde zırhlı araçlar, kurşungeçirmez yelekler, kasklar vb. gereçler üretilmektedir. Buna bağlı olarak da devletler bu alana büyük yatırımlar yapmaktadır ve bu yatırımların büyük bir kısmı da kompozit malzemelere aktarılmaktadır.



**Şekil 1.1:** Airbus A380 uçağı kompozit malzeme kullanılan kısımlar

Kompozit malzemeleri en yalın şekli ile tanımlayacak olursak, en az iki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin makro seviyede bir araya gelmesi ile ortaya çıkan yeni malzemeye denmektedir. Böylece ortaya çıkan yeni malzeme bu bileşenlerin en iyi özelliklerini alarak eskilerinden daha iyi özelliklere sahip bir ürün ortaya koymaktadır. Bu sayede de ihtiyaca yönelik malzeme üretimi daha başarılı bir hal almaktadır.

Kompozitler, matris ve takviye fazı olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Bu fazlardan matris, kompozitin ana gövdesini oluşturan ve takviye fazını bir arada tutan kısım olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra diğer bir görevi ise kompozite uygulanan yükü takviye fazına iletmektir. 3 farklı matris fazı bulunmaktadır. Bunlar:

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler

- Metal matrisli kompozitler

Takviye fazı ise, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlayan kısım olarak tanımlanmaktadır. Takviye fazına göre kompozitleri sınıflandıracak olursak:

- Elyaf takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Hibrit kompozitler

Kompozitlerin üstün özelliklerinden bahsetmek gerekirse hafif olmaları, dayanıklı olmaları, korozyon direncinin yüksek olması, termal, ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek elastisite gibi birçok özelliğini sıralamak mümkündür. Bunlara bağlı olarak da hava ve uzay teknolojisi, robotik, otomotiv sektörü, savunma sanayii, spor endüstrisi, yapı ve inşaat alanı gibi önemli bir kullanım yelpazesine sahiptir. Her malzemenin olduğu gibi kompozitlerin de eksi yönleri mevcuttur. Bunlardan bazıları, mekanik özellikler yönlerine bağlı olarak değişebilmektedir, üretim maliyeti, bazı proseslerin zorluğu, delme ve kesme işlemleri sırasında liflerde meydana gelebilecek hasar ürünün mekanik özelliklerinde azalmaya neden olabilmektedir.

Günümüzde kompozit üretimi için birçok farklı metot kullanılmaktadır. Bunlar seçilirken genellikle üretilecek kompozitin çeşidine, kullanılacak matris ve takviye malzemesine, maliyetine vb. özelliklere göre belirlenmektedir. Bu tezde ise kullanılacak yöntem vakum infüzyon olarak belirlenmiştir. Bunun en önemli amacı bu yöntem sayesinde yüzey kalitesi yüksek numuneler elde edilebilmekle beraber hibrit kompozit üretimi için en uygun yöntemlerden biri olmasından kaynaklanmaktadır. Yöntemin nasıl uygulandığını özet ile açıklamak gerekirse, istenilen ölçülerde kesilen lifler üretime uygun hale getirildikten sonra önceden kalıp ayırıcı sürülmüş kalıp içerisine istenilen şekilde yerleştirilmektedir. Bu işlemden sonra lifler üzerine yüzey kalitesini artırmak amacı ile peel – fly serilmektedir. Vakum torbasının kapatılmasıyla vakum pompası açılır ve reçine tüm lifleri ıslatana kadar bu işlem devam etmektedir. Tüm liflerin tamamen ıslandığından emin olunduktan sonra reçine vanaları kapatılarak kütleme



işlemine geçilmektedir. Kütleme işlemi tamamlandıktan sonra mekanik özelliklerin belirlenmesi için üretilen hibrit kompozitlerden numuneler hazırlanarak charpy izod, çekme ve yakma testlerine tabi tutulmaktadır.

Hibrit kompozit, matris içerisinde iki veya daha fazla takviye fazının bir arada bulunması ile oluşan kompozit türüne denmektedir. Bu tür kompozitlerde takviye fazı olarak genellikle kevlar, karbon, e-camı veya s-camı olarak kullanılmaktadır. Matris fazında ise epoksi, polyester, vinilester gibi reçineler tercih edilmektedir.

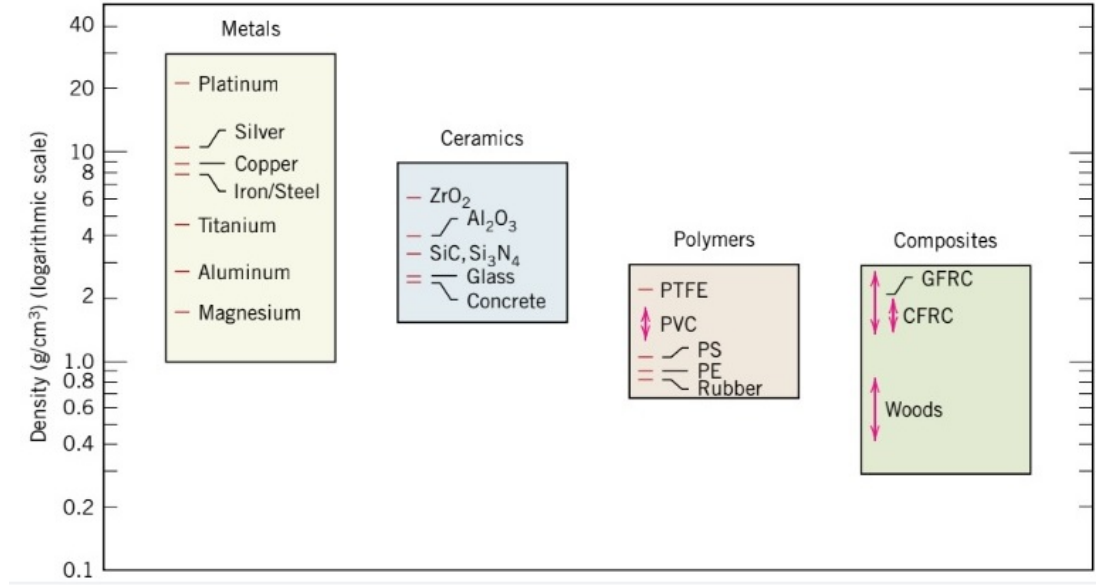
## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit, en az iki aynı ve ya farklı gruptaki bileşenlerin üstün özelliklerini tek ve yeni bir malzemede bir araya getirmek için makro düzeyden nano düzey aralığında birleştirilmesi ile oluşan malzemelere denmektedir (Taşyürek,2014). Kompozitler eski çağlardan beri basit bir şekilde de olsa her zaman kullanılmaktadırlar. Günümüzde ise bu malzemeler geniş kullanım yelpazesi sayesinde ise vazgeçilmezler arasında yerini almışlardır. Bunun en önemli nedeni ise tanımından da anlaşılacağı gibi daha iyi özelliklerde malzemeler elde etmek mümkündür. Aynı zamanda bu özellikleri kompozit malzeme mekaniği bilgisi sayesinde istenilen doğrultuda şekillendirebilmektedir. Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesine bağlı olarak artık malzemelerin sadece iyi bir mukavemete ya da iyi bir korozyon direncine sahip olması yeterli değildir. İleri teknoloji kompozit malzemelerin ortaya çıkması ile beklentiler değişmiştir. Artık malzemelerden iyi bir mukavemet beklenirken hafif olması da beklenmektedir. Bu en basit örneklerden birisidir. Bu gereksinimleri de monolitik yapıdaki malzemelerle karşılamak pek mümkün olmamaktadır. Kompozit malzemelerde burada devreye girerek bu açığı büyük bir ölçüde kapatmaktadırlar (William, 2014). Kompozitlerin bu bağlamda bize kazandırdığı başlıca özellikler ise (Demirci, 2015)

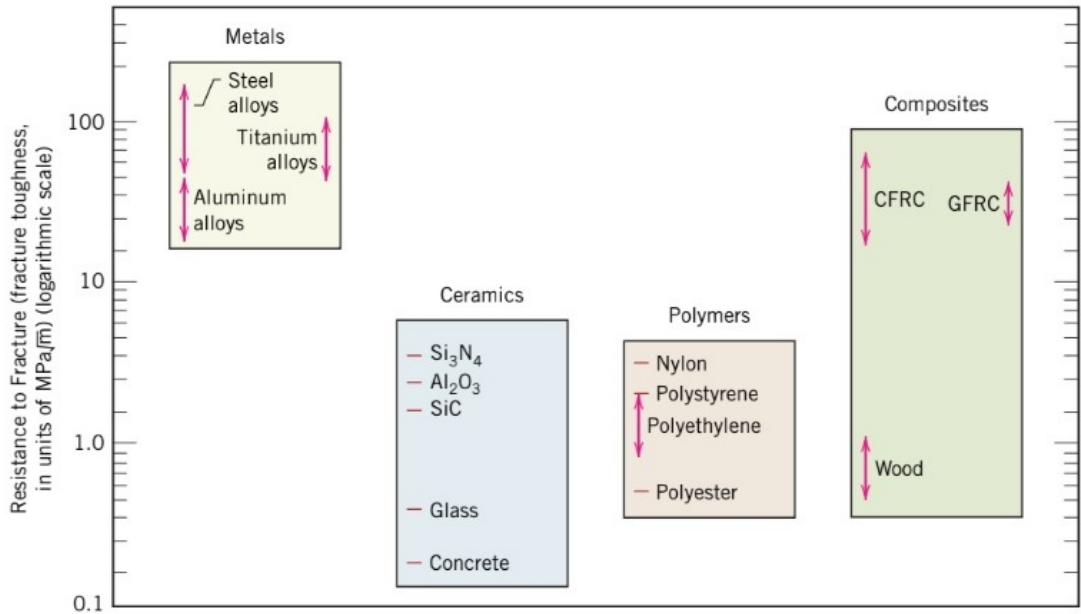
- Yüksek rijitlik
- Aşına direnci
- Korozyon direnci
- Yorulma dayanımı
- Isıya karşı direnç
- İyi ısı ve elektrik iletkenliği
- Düşük yoğunluk
- Yüksek dayanım

- Estetik bir görünüm

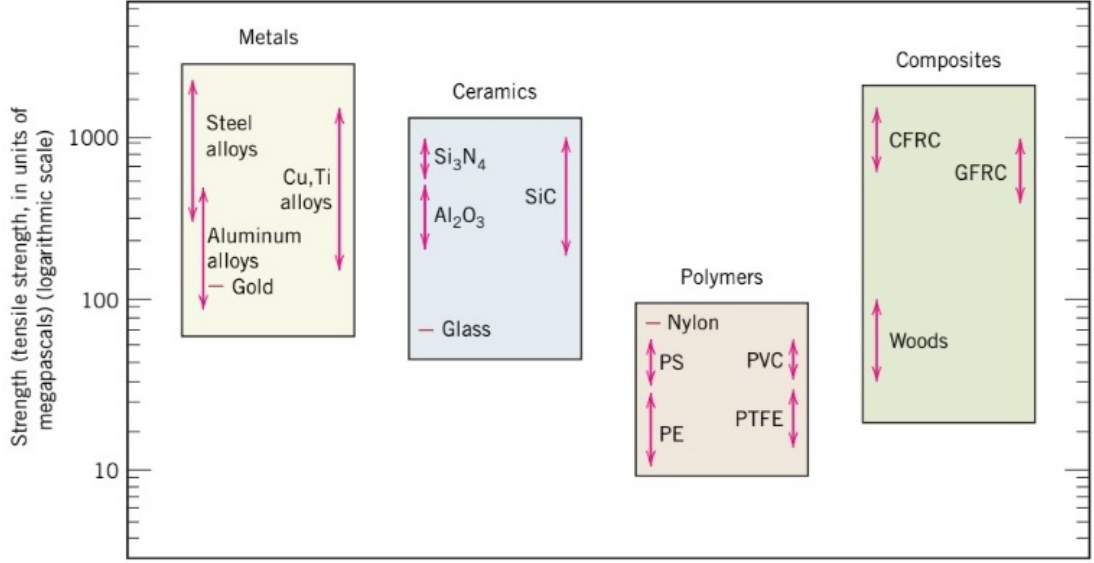
Bu özellikleri sayesinde kompozit malzemeler, savunma ve havacılık sanayii, otomotiv, tank ve basınçlı kaplar, uzay sanayii, enerji, yapı ve inşaat, spor ürünleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



**Şekil 2.1:** Oda sıcaklığındaki çeşitli metallerin, seramiklerin, polimerlerin ve kompozitlerin yoğunluklarının karşılaştırılması (William, 2014)



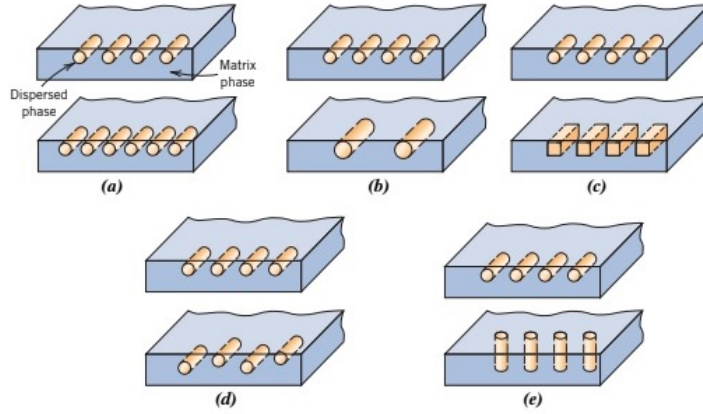
**Şekil 2.2:** Oda sıcaklığındaki çeşitli metallerin, seramiklerin, polimerlerin ve kompozitlerin kırılma tokluğunun karşılaştırılması (William, 2014)



**Şekil 2.3:** Oda sıcaklığındaki çeşitli metallerin, seramiklerin, polimerlerin ve kompozitlerin çekme kuvvetinin karşılaştırılması (William, 2014)

Kompozit malzemeler matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki farklı fazdan meydana gelmektedirler. Bir kompozit malzeme üretirken istenilen özelliklerin elde edilebilmesi için bu fazların seçimi önemli bir rol oynamaktadır. Matris fazının görevleri, takviye fazını bir arada tutmak, malzemeye gelen gerilimin büyük bir çoğunluğunu takviye fazına iletmek ve bu fazı çeşitli mekanik etkenlerden ve çevresel koşullardan korumak olarak tanımlanabilmektedir (Beşergil, 2016).

Takviye fazı, matris içerisinde dağılmış olan kısımdır. Bu faz matris içerisinde çözünmemeli veya kısmen çözünmelidir. Kompozit malzemedeki görevi ise, matrise istenilen özellikleri kazandırmaktır. Bunun dışına da korozyon direnci, iletkenlik, ısıya dayanım gibi bazı özelliklerin iyileşmesini ya da kazanımını sağlamaktadırlar (Beşergil, 2016).

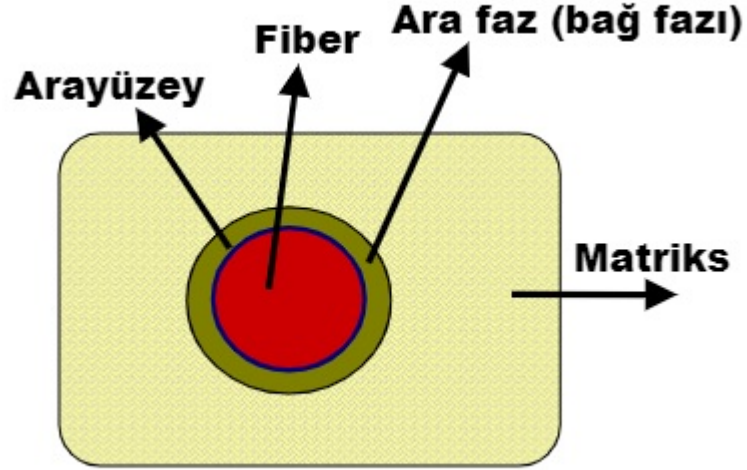


**Şekil 2.4:** (a) yoğunluk, (b) boyut, (c) şekil, (d) dağılım, (e) yönelme (William, 2014)

Matris ve takviye dışında kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen diğer bir faktör ise arayüzdür, bu kısım iki faz arasındaki bağ görevini üstlenmektedir. Arayüz kompozitte kullanılan matris ve fiber çeşidine göre kimyasal ya da mekanik bir bağ oluşmaktadır. Bu bağ sayesinde kompozite uygulanan gerilme homojen olarak dağıtılır ve yük tüm kompozit tarafından taşınabilmektedir. Arayüzeyi güçlü olan kompozitler yüksek mukavemete ve düşük sünekliliğe sahipken, zayıf olan kompozitler ise düşük mukavemete ve yüksek sünekliliğe sahiptirler (Tankut, 2011).

Mekanik bağ, matris ve takviye fazı arasında herhangi bir kimyasal etki olmadan iki yüzeyin mekanik olarak birbirine bağlanması sonucu oluşan bağdır. Matris takviye fazı ile temas ettiği sırada çekirdeklenme gerçekleşir ve mekanik bağ ortaya çıkar. Bu bağa sahip kompozitlerin mekanik özelliklerinde yüksek ölçüde iyileşme gerçekleştiği gözlenmektedir (Toptan, 2006).

Kimyasal bağ, matris fazı ve takviye fazının sahip olduğu atomların doğrudan olarak birbirleri ile etkileşmesi sonucu oluşmaktadır. Elektronların yer değiştirmesi ile meydana gelmektedir. İyonik, metalik ya da kovalent bağ yapılarından birisi olabilmektedir (Toptan, 2006).



**Şekil 2.5:** Matris, fiber ve arayüzeyin basit görünümü

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için bazı koşullara sahip olması gerekmektedir. Bunlar (Şahin, 2015);

- İnsan yapımı olmalı
- Kimyasal içeriği farklı en az iki malzemedan oluşmalı
- Kompoziti oluşturacak malzemeler üç boyutlu olacak şekilde birleştirilmeli
- Son olarak ortaya çıkan ürün, bileşenlerinin tek başına gösteremeyecekleri özelliklere sahip olmalı

### **2.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları (Şahin, 2015)**

- İstenilen mekanik özellikleri elde edebilmek için farklı matris ve takviye fazları kullanılabilir.
- Kompozitler kimyasallara ve korozyona karşı oldukça dirençlidirler.
- Düşük yoğunluklarına rağmen oldukça sert bir yapıya sahiptirler.
- Farklı fazlara sahip olmalarına rağmen tek parça şeklinde üretilebilmeleri sayesinde imal süresi azalmaktadır.

- Kompozitlerin yorulma, çekme, darbe ve basma dayanımları oldukça yüksektir.
- Kompozitler matris ve takviye fazlarının özelliklerine göre iletken veya yalıtkan olabilmektedirler.
- Gürültü ve titreşimi oldukça iyi sönümlenmektedirler.

## **2.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları (Arıcasoy, 2006)**

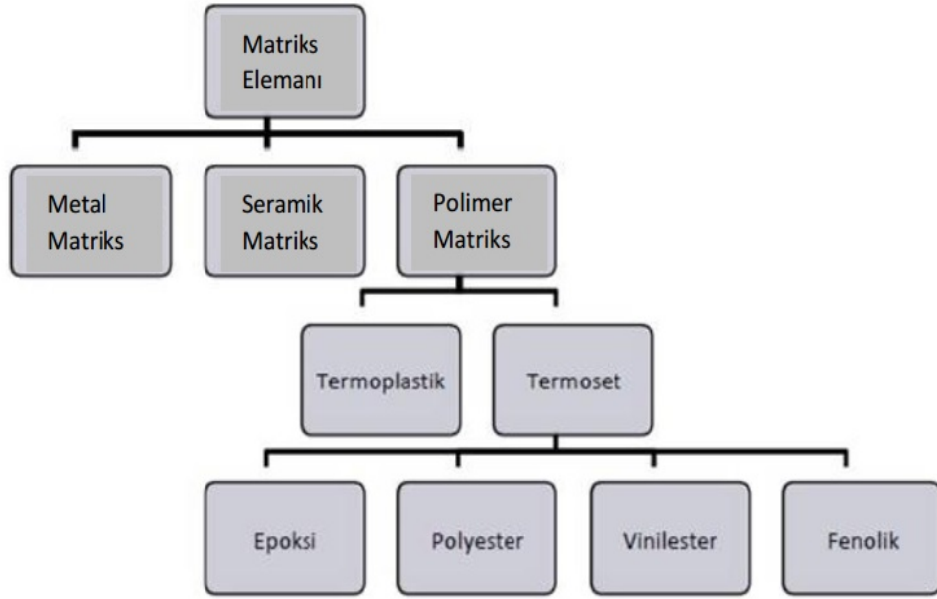
- Hava tanecikleri kompozitlerin yorulma dayanımını negatif yönde etkilemektedir.
- Kompozit malzemenin mekanik özellikleri yöne bağlı olarak değişebilmektedir.
- Hammadde fiyatı yüksektir.
- Kompozitin kalitesi üretimin ne kadar kaliteli yapıldığına göre değişmektedir.
- Tecrübeli işçi zorunluluğu
- Sıcak kurutma şarttır.
- Kurutma tekniklerinden bazıları uzun sürmektedir.

## **2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozitler sınıflandırılırken kendisini oluşturan fazlara göre gruplara ayrılmaktadırlar. Bunlar bilindiği gibi matris ve takviye fazıdır.

### **2.3.1 Matris fazına göre kompozitlerin sınıflandırılması**

Matris fazına göre kompozitler polimer, seramik ve metal matrisli kompozitler olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar.



**Şekil 2.6:** Kompozit malzemelerin matris fazına göre sınıflandırılması

### 2.3.1.1 Polimer matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitler kolay şekillenebilir olması, ucuz olması, düşük elastisite modülüne sahip olması ve düşük kullanım sıcaklığına sahip olmasından dolayı en çok kullanılan matris malzemesidir. Bunlarla beraber yüksek özgül mukavemeti ve özgül elastiklik modülü sayesinde diğer malzemelerden daha üstün bir konuma sahiptirler. Buna bağlı olarak da otomotiv sanayii, denizcilik, spor malzemeleri, uzay ve havacılık gibi çok önemli sektörlerde kullanılmaktadır (Demirel, 2007 ve Karadağ, 2017).

Polimer matrisli kompozitlerde genellikle takviye fazı olarak sürekli fiberler tercih edilmektedir. Bunun en klasikleşmiş örneği ise cam elyaf ile takviyelendirilmiş kompozit malzemelerdir. Ancak bu kombinasyon artık çok geleneksel kalmıştır ve buna ek olarak ileri kompozit malzemelerde artık daha iyi kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan karbon ve aramid elyaf da kullanılmaya başlanmıştır. Böylece daha iyi basma ve çekme dayanımı, yüksek tokluk ve yüksek elastisite modülü edinilmektedir (Demirel, 2007 ve Karadağ, 2017).

Polimerler kendi içerisinde termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere 3 gruba ayrılırken, PMK ise kendi içerisinde termoplastikler ve termosetler olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadırlar.



Termoplastik, oda sıcaklığında katı halde bulunmalarına rağmen bunlar ısıtıldıklarında viskoziteleri düşmekte ve yumuşamaktadırlar. Bu yapıları sayesinde tekrar tekrar eritilip sertleştirilerek kullanılabilirler. Ancak buharlaşma ile yapılarında herhangi bir değişiklik olursa bu özelliklerini kaybetmektedirler. Termoplastikler diğer polimer çeşitlerine göre ekonomik açıdan daha uygundur aynı zamanda da kolaylıkla şekillenebilmektedirler (Yüce, 2007).

Termoplastikler, sıvı durumda buldukları sıcaklıklarda yüksek viskoziteye sahiptirler. Bu yüzden de arayüzey bağı termostelere göre daha zor oluşmaktadır. Yine de bu zorluğa rağmen üretimin ucuz olması, rahatlıkla şekillendirilebilmesi, ısı ve elektrik iletkenliğinin düşük olması, korozyona karşı yüksek dayanım göstermesi ve sertleştirilmeye gerek duymamaları kullanım oranlarını ve alanlarını büyük ölçüde artırmaktadır (Demirel, 2007 ve Yüce, 2007).

Elastomerler, çapraz bağ ve uzun zincir moleküllerinden meydana gelmektedirler. Bu malzemeler düşük gerilmelerde yüksek elastik deformasyon göstermektedirler. Uygulanan gerilme ile şekil değişimi elastik bölgede gerçekleşmekte ve plastik bölgeye geçmemektedir. Buna bağlı olarak da yük kaldırıldığında malzemede herhangi bir bozulma olmadan eski haline dönebilmektedir. En çok bilinen elastomer ise kauçuktur (Demirel, 2007).

Termosetler, kovalent bağa sahip, ısı ile çözünmeyen ve ya ergimeyen 3 boyutlu bir ağ yapısından oluşmaktadırlar. Bu yüzden de oldukça rijit malzemelerdir. Termosetleri çok yüksek sıcaklığa maruz bıraktığımızda ise kovalent bağlar kopar ve malzeme ergimeden kömürleşmeye başlar. Bunun nedeni de polimerizasyon reaksiyonu tersinir olmadığı için yumuşama göstermezler.

Matris malzemesi olarak kullanılan termosetler ise polyester, epoksi ve vinilesterlerdir. Bu reçineler 4. bölümde daha detaylı bir şekilde anlatılacaktır (Yüce, 2007 ve Sönmez, 2009).

### **2.3.1.2 Seramik matrisli kompozitler**

Seramik, metal ve metal dışı elementlerin birleşmesi ile oluşan inorganik birleşik malzemelerdir. Seramiklerin matris malzemesi olarak kullanılmasının başlıca nedenleri 2000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda dahi çalışabilir olmaları,

yüksek elastik özellik göstermeleri, düşük yoğunlukları, inert olmaları gibi üstün özellikleri sıralanabilmektedir. Fakat seramiklerin en büyük dezavantajı gevrek olmalarıdır. Bu yüzden de oldukça kırılgan bir yapıya sahiptirler. Bu da seramiklerin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Ek olarak da mekanik, gerilme ve termal şok dirençleri düşüktür (Sönmez, 2009 ve Toptan, 2006).

Seramik malzemelerin yapısında oluşabilecek çatlaklar, çizikler ya da içerisinde kalabilecek hava kabarcıkları ve mikro boyuttaki boşluklar malzemenin mekanik özelliklerinin önemli bir boyutta düşmesine neden olacaktır.

SMK'ler üretilirken sürekli ve süreksiz olmak üzere 2 çeşit takviye malzemesi kullanılmaktadır. Sürekli fiberlerin kullanılmasıyla seramiklerin mukavemetinde ve tokluk değerlerinde normal seramiklere göre büyük bir oranda artış olmaktadır. Bu artışın en önemli nedeni fiberlerdir. Çünkü takviye malzemesi çatlağın ilerlemesini engellemektedir. Böylece tokluk ve mukavemet 20 kata kadar artabilmektedir (Sönmez, 2009 ve Toptan, 2006).

SMK'lerin uygulama alanları ise, zırh malzemesi, fren diskleri, türbin motorları, turbo jet motorlarında egzoz çıkışı gibi birçok alanda kullanılabilmektedir (Toptan, 2006).



**Şekil 2.7:** Seramik matris ile üretilmiş fren diski örneği (Sönmez, 2009)

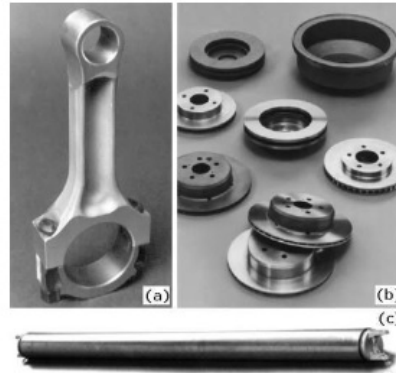
### **2.3.1.3 Metal matrisli kompozitler**

Metal matrisli kompozitler sahip oldukları iyi özellikler sayesinde kompozit alanında önemli bir yere sahiptirler. Bunlar yüksek elastik modülü, tokluk, iyi elektrik ve ısı iletimi, yüksek basma, çekme ve eğme dayanımı ve en önemlisi bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmeleridir. Aynı zamanda

MMK'lerin PMK'lere göre üstünlükleri alev almama ve organik akışkanların neden olabileceği bozulmalara karşı dirençtir. MMK'lerin yüksek özgül ağırlıkları, matris malzemesi olarak kullanılan bazı metallerin korozyon direncinin düşük olması, üretimin zor ve maliyetinin yüksek olması, ara yüzeyin oldukça hassas olmasından kaynaklı uygulamalarda karşılaşılan zorluklar bu kompozitlerin dezavantajları olarak görülmektedir (Sönmez, 2009 ve Yırtımcı, 2011).

Matris malzemesi olarak alüminyum, titanyum, magnezyum ve bakır gibi hafif metaller tercih edilmektedir. Takviye fazı olarak ise genellikle; sürekli ve süreksiz elyaflar, viskerler ve parçacıklar kullanılmaktadır. Bu fazın hacimce oranı %10 – 60 arasında değişmektedir. Sürekli elyaflar olarak bor, alüminyum oksit, karbon, silisyum karbür kullanılmaktadır. süreksiz elyaf malzemesi olarak, kırılmış alüminyum oksit, alüminyum oksit parçacıkları, silisyum karbür visker tercih edilmektedir (William, 2014).

Metal matrisli kompozitlerin yukarıda açıklanan avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda önemli noktalarda kullanıldığı gözlenmektedir. Özellikle son zamanlarda otomotiv sektörünün oldukça ilgisini çeken bir malzeme olmaktadır. Motor parçalarının bazılarında, şaft, mil ve fren disklerinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra uzay ve havacılık, savunma sanayii, spor gereçleri gibi alanlarda da yararlanılmaktadır (William, 2014 ve Sönmez, 2009).



**Şekil 2.8:** Metal matrisli kompozit örnekleri (a) Piston kolu (b) Fren parçaları (c) kardan mili (Sönmez, 2009)

### 2.3.2 Takviye fazına göre kompozitler

Kompozitler matris fazına göre sınıflandırıldığı gibi takviye fazına göre de sınıflandırılabilirler. Bunlar şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Kompozitlerin takviye fazına göre sınıflandırılması

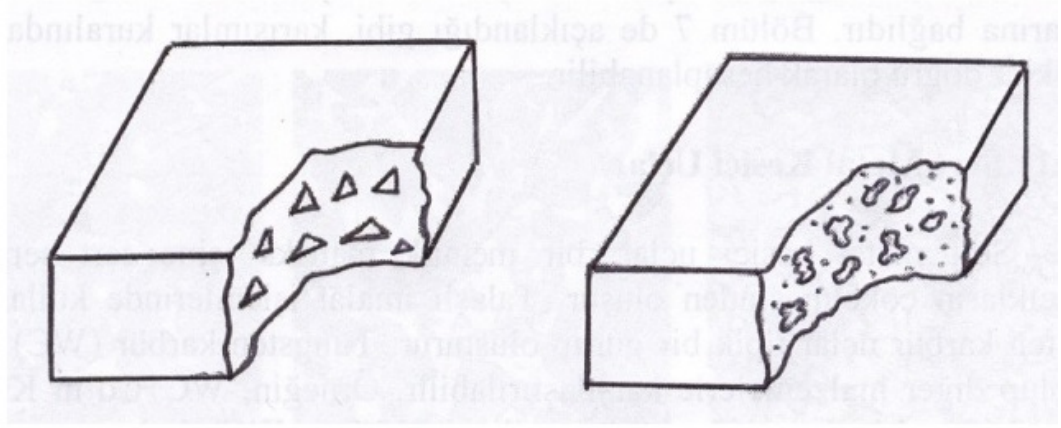
#### 2.3.2.1 Parçacık takviyeli kompozitler

Bu tür kompozit malzemelerde takviye fazı parçacıklar halinde matris içerisinde gömülü bir şekilde bulunmaktadır. Uygulanan yük matris ve takviye fazı ile birlikte taşınmaktadır. Kompozit için faz malzemesi seçilirken matrisin sünek, yumuşak takviye fazının ise sert ve gevrek olmasına dikkat edilmektedir. Parçacıkların boyutu  $1\mu\text{m}$ 'den büyük olmalı ve bununla birlikte takviye fazının kompozit içindeki oranı %25'den fazla olmamalıdır. Parçacıkların sertliği kompozit malzemenin mukavemeti üzerinde etkili olmaktadır. Sertlik artıka mukavemet de o oranda artmaktadır (Yanen, 2016 ve Khakzad, 2017).

Sıklıkla kullanılan parçacık takviyeli kompozitler polimer matris içerisine dağıtılan metal parçacıklı kompozit ve metal matris içerisine dağıtılan seramik parçacıklı kompozitlerdir. Metal parçacıklar kompozite elektrik ve ısı iletkenliği kazandırırken seramik parçacıklar ise yüksek sıcaklığa dayanım ve sertlik kazandırmaktadır. En çok kullanılan parçacıklar  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, TiC ve B olarak sıralanabilir (Yanen, 2016 ve Khakzad, 2017).

Parçacık takviyeli kompozitler kendi içerisinde 2 gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar (William, 2014);

- Parçacık takviyeli
- Saçınma yolu ile dayanımı artırılmış



**Şekil 2.10:** Parçacık takviyeli kompozit (Yüce, 2007)

### 2.3.2.2 Elyaf takviyeli kompozitler

Takviye elemanın elyaf şeklinde olduğu kompozit malzemelerdir. Bu kompozitlerin ortaya çıkmasındaki en önemli faktör düşük ağırlığa sahip olmalarına karşın yüksek dayanım ve elastiklik modülüne sahip olmaları denebilir (William, 2014). Bunun yanında bu kompoziti önemli kılan birçok etken daha mevcuttur. Bunlar (Yanen, 2016);

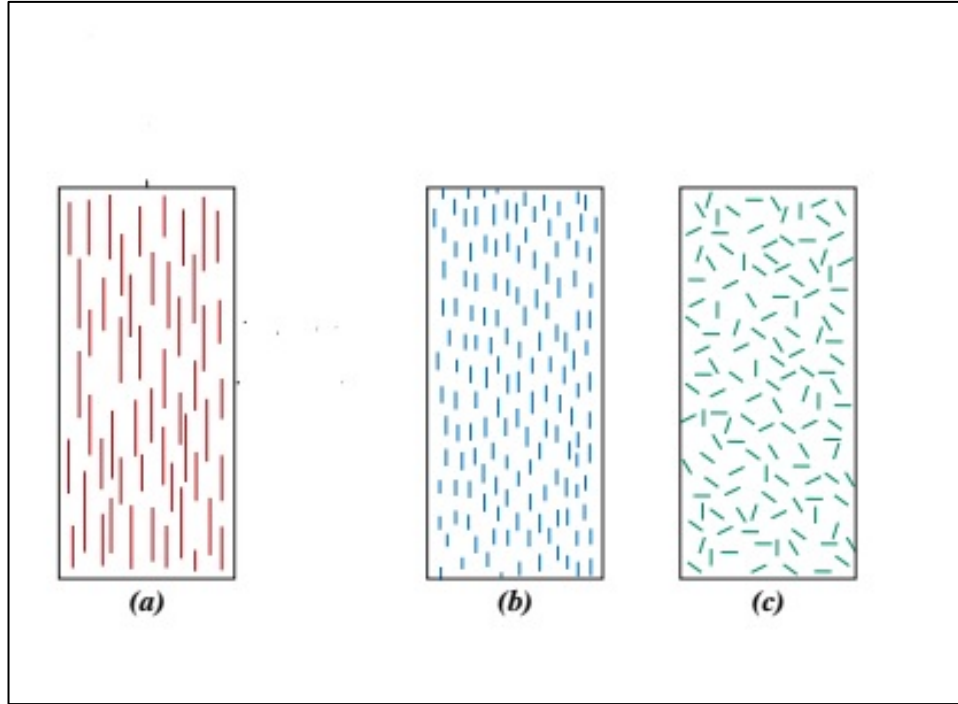
- İstenilen çapta ve boyutta üretilebilirler
- Üretimin kolay olması
- Yüksek kalitede mikroyapısal özellikler

Elyafın sahip olduğu bu üstün özellikler kompoziti tek başına mükemmel bir hale getirmemektedir. İyi özelliklere sahip bir elyaf takviyeli kompozit üretmek istiyorsak bunun için matrisin karşıladığı yükün ne kadarını elyaflara ilettiği çok önemlidir. Bu yük aktarımı da matris ve takviye fazının arasındaki arayüzey fazına bağlıdır (William, 2014 ve Khakzad, 2017).

Bu tür kompozitlerde 2 farklı elyaf kullanılabilir. Bunlar sürekli ve süreksiz olarak tanımlanmaktadır. Bir elyafa sürekli elyaf diyebilmek için boyunun kritik boyundan fazla olmalıdır. Eğer kritik boyundan kısa ise bunlara kısa ve ya süreksiz elyaf denmektedir. Takviye malzemesinin boyu mekanik özelliklere doğrudan etki etmektedir. Elyafın boyu arttıkça kompozite olan etkisi de artmaktadır. Aynı zamanda sürekli fiberlerle kompozit üretimi daha basittir.

Fakat tasarımda bazı sınırlara sahiptirler. Tek bir doğrultuda yönlendirilmiş sürekli fiberlerle üretilen kompozitler anizotropik yapıya sahiptirler ve fiberlere dik gelen yükün sadece çok küçük bir kısmını taşıtabilmektedirler. Süreksiz fiberlerden ise homojen dağıtılabilmesi halinde izotrop bir yapı elde edilebilmektedir (William, 2014 ve Yırtımcı, 2011).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen diğer parametreler ise: elyafların matris içindeki yoğunluğu, dağılımı, konumları ve yönlenmesi olarak belirtilebilmektedir (William, 2014).



**Şekil 2.11:** Elyaf takviyeli kompozitlerin şematik gösterimi (a) Sürekli fiberler, (b) süreksiz fiberler, (c) Süreksiz ve rastgele dizilmiş fiberler (William, 2014)

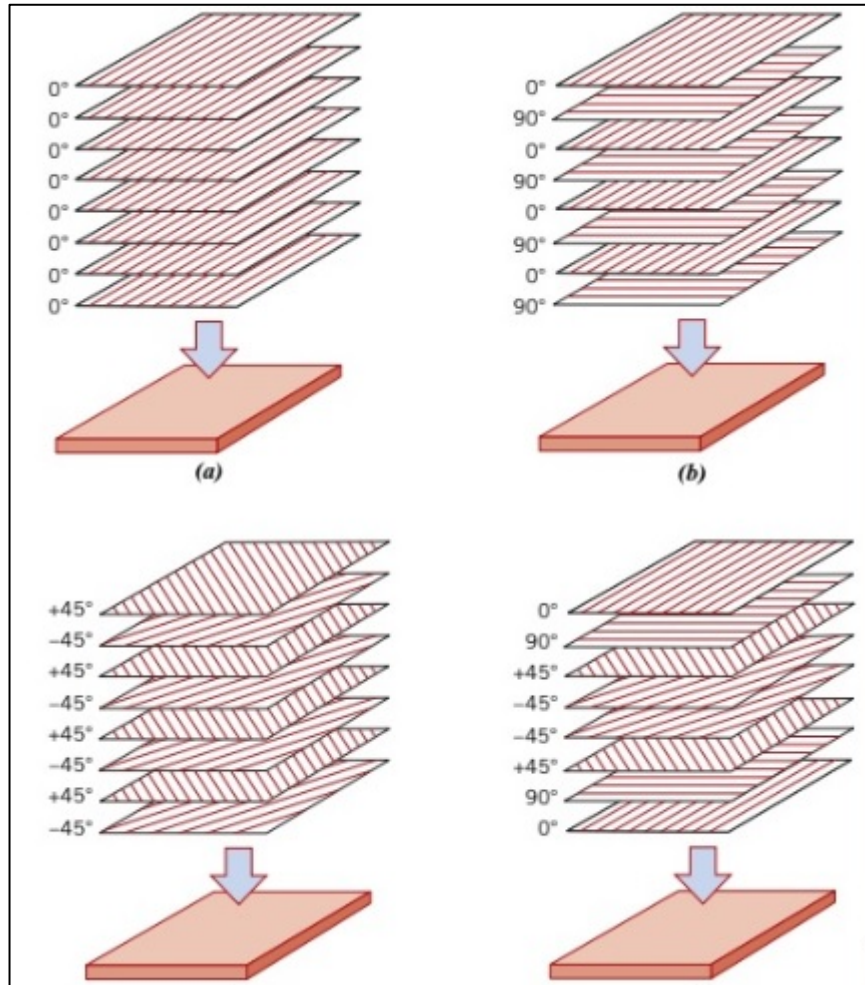
### 2.3.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit, farklı özelliklerdeki en az iki tabakanın üst üste herhangi bir metot ile yapıştırılması sonucu elde edilen kompozit çeşidine denmektedir. Her tabakanın kendine ait bir özelliği bulunabilmektedir. Buna bağlı olarak da her kat kendi başına bir kompozit gibi değerlendirilebilmektedir. Tabakalı kompozitler sürekli faz ve bağlayıcı faz olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Sürekli faz, kompozitin özelliklerini belirleyen fazken bağlayıcı ise tabakaların bir arada durmasını sağlamaktadır (William, 2014 ve Demirel, 2007).

Tabakalama ile kompozitin rijitliği, aşınma direnci, korozyon direnci, mukavemeti, ısıl yalıtım gibi özellikleri kazanabilmektedir. Ancak mekanik özelliklerin ön plana çıktığı bir alanda kullanılacak olan tabakalı kompozitlerin en az üç katmandan oluşması gerekmektedir (Yırtımcı, 2011).

Tabakalı kompozitler diğer kompozit türlerine göre üretimi daha kolay olmakla beraber ihtiyaca yönelik üretilebilmeleri de önemli bir avantajdır (Yırtımcı, 2011).

Tabakalamada kullanılan elyaflar aynı yönde olabildikleri gibi farklı yönlerde de sahip olabilmektedirler. Eğer katmanlar aynı yöne sahip elyaflardan oluşuyorsa kompozit anizotropik yapıdadır. Fakat farklı yönlerde sahip elyaflardan meydana geliyorsa izotropik yapıya sahip olmaktadır (Yırtımcı, 2011 ve Gençoğlu, 2011).



**Şekil 2.12:** Tabakalı kompozitin şematik gösterimi ve istiflenebilme açıları (William, 2014)

#### 2.3.2.4 Hibrit kompozitler

Hibrit kompozit, iki ya da daha fazla değişik elyafın tek bir matris fazı içerisinde birleştirilmesiyle oluşan kompozite denmektedir. Matris fazı genellikle reçinelerden seçilmektedir. Bu kompozitlerin üretim amacını basit bir şekilde açıklamak istersek, istenmeyen özelliklerin etkisini en aza indirirken gerekli olan özelliklerin etkisini artırmaya çalışmaktır. Yani kompozit malzemeyi en iyi olacak şekilde optimize etmektir (Bulut, 2017).

Kompoziti oluşturacak elyaflar seçilirken genellikle birbirlerinin eksik yönlerini tamamlayacak şekilde elyafların seçilmesine dikkat edilmektedir. S-camı ve E-camlarının yüksek çekme mukavemetine ve kimyasallara karşı dirence sahiplerken ısı dirençleri düşüktür. Kevlar ise yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, düşük elastisite modülüne sahiptir. Karbon fiberlerde yüksek dayanım ve iyi bir elastisite modülüne sahiptirler. Fiberlerin bu genel özellikleri ele alınarak hibrit üretimi sonucu istenilen özelliklerde ya da istenilen özelliklere en yakın kompozitler üretilebilmektedir (Bulut, 2017 ve Kayıran, 2018).

Bu kompozitlerin sağladığı üstün özellikler iyi korozyon direnci, uzun yorulma ömrü, yüksek mukavemet, darbelere karşı dayanım ve düşük yoğunluktur. Bunlara bağlı olarak da savunma sanayii, otomotiv sanayii, hava, kara ve deniz taşımacılığı, spor malzemeleri gibi alanlarda kullanılmaktadırlar (Yıldızhan, 2013).

Hibrit kompozitler farklı şekillerde gruplandırılabilirler (Yıldızhan, 2013).

- Matris fazında en az iki tabaka bulunmaktadır ve her tabakada bir elyaf türü kullanılmakta ve bu elyaflar elde edilmek istenilen özelliklere göre matris içerisine yerleştirilmektedirler.
- Elyaflar karışık bir şekilde aynı tabakada yer alırlar ve amaca göre yerleştirilirler.
- Metal ve reçine matrisli tabakalar gibi farklı kompozit yapılardan süper hibritler oluşturulabilmektedir.



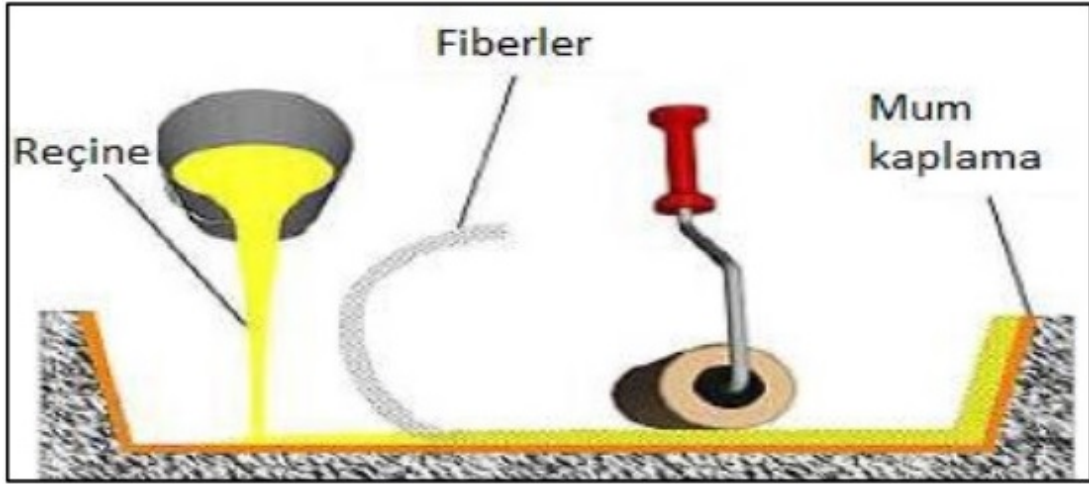
## 2.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

### 2.4.1 Elle yatırma yöntemi

Elle yatırma ile kompozit malzeme üretirken genellikle dokuma elyaf ya da keçe kullanılmaktadır. Üretimde kullanılacak olan kalıp daha önceden hazırlanır ve takviye fazı kalıp içerisine uygun bir şekilde yerleştirilir. Bir kap içerisinde hazırlanmış olan matris (reçine) ise rulo bir fırça yardımı ile takviye fazına iyice yedirilerek sürülür. Bu işlem gerekli kalınlığa ulaşıncaya kadar devam eder ve sonunda tabakalı yapıda bir kompozit meydana gelir. Üretim sırasında polyester ve epoksi reçineler tercih edilmektedir. Bu reçineler içerisine farklı malzemeler katılarak kompozite farklı özellikler kazandırmakta mümkün olmaktadır. Bu yöntemin en önemli artılarından birisi takviye fazının oranı matris fazının oranından daha yüksek olmasıdır (Canan, 2007).

Elle yatırma yönteminin aşamaları:

- Kalıp temizlendikten sonra kalıp ayırıcı olarak vaks sürülmektedir.
- Bir fırça yardımıyla jelkot uygulaması yapılır.
- Belirlenen takviye fazı hazırlanır.
- Reçine hazırlanır ve eklenecek ise katkı maddeleri eklenir.
- Jelkot üstüne reçine sürdükten sonra takviye fazı yerleştirilir ve fırça yardımıyla reçinenin içine nüfuz etmesi sağlanır.
- Hava kabarcıkları uzaklaştırılır.
- İstenilen kalınlığa ulaşıldığında işlem bitirilir. Numunenin sertleşmesi beklenir ve ürün elde edilir.



Şekil 2.13: Elle yatırma yöntemi şematik gösterimi (Khakzad, 2017)

#### 2.4.2 Vakum infüzyon yöntemi

Vakum infüzyon yöntemi genellikle kompleks yapılı parçaların imalatında kullanılmaktadır. Üretim yöntemin adından da anlaşılacağı gibi vakum ortamında gerçekleştirilmektedir. Böylece kaliteli bir yüzeye, homojen bir yapıya ve ürüne el değmeden üretmeye olanak sağlamaktadır. Matris malzemesi olarak reçinelerle birlikte sertleştiriciler kullanılmaktadır. Reçineler; polyester, vinilester veya epoksiden herhangi biri olabilmektedir. Sertleştiriciler ise kullanılan reçinenin türüne göre belirlenmektedir (Şahin, 2015).

VARTM yöntemi dört ana kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar; parça üretimi için gerekli olan kalıp, vakum oluşturmak için vakum pompası, fazla reçineyi toplamak ve basıncı takip edebilmek için vakum tankı ve reçine kabıdır (Şahin, 2015).

Yöntemden kabaca bahsetmek gerekirse (detaylara numunenin hazırlanışı bölümünde değinilecektir.), süreç kalıbın vakslanmasıyla veya sıvı vaks sürülmesiyle başlamaktadır. Bunun amacı parçanın vakumlama işleminden sonra kalıptan kolaylıkla çıkmasını sağlamaktır. Kalıp ayırıcının sürülmesinden sonra kullanılacak olan kumaşlar (karbon, kevlar, cam) istenilen yönde kalıp içerisine yerleştirilmektedir. Bu işlemlerden sonra sırasıyla peel-fly ve reçinenin emilmesine yardımcı olmak amacıyla akış filesi serilmektedir. Elyafın etrafına ise spiral hortumlar yerleştirilmektedir. Bu yerleştirme işlemi reçinenin akış şekline bağlı olarak düzenlenebilmektedir. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra en üst kısma vakum poşeti konulmakta ve çift taraflı bant yardımıyla

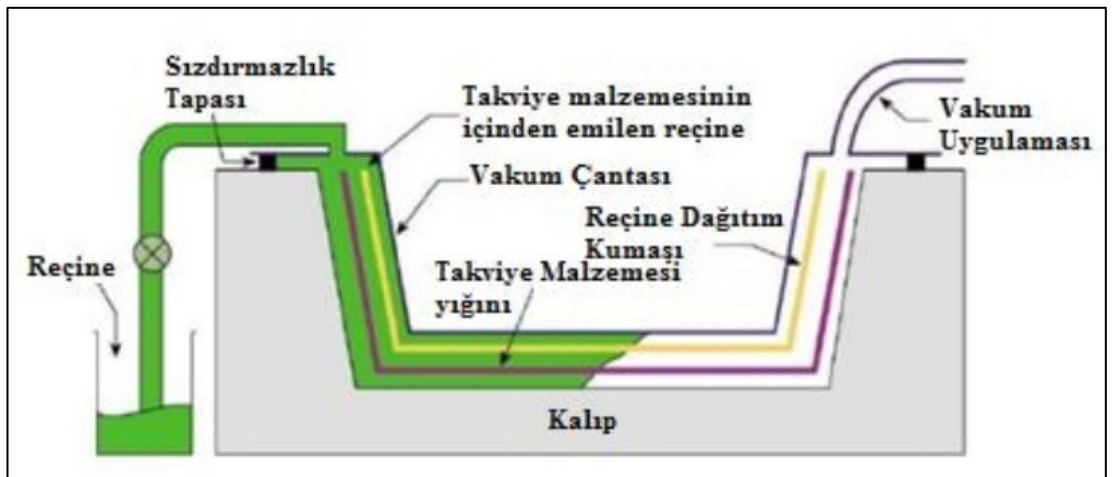
kalıba yapıştırılmakta ve vakum için gerekli ortam koşullarını oluşturmaktadır. Son olarak da sistem içerisine reçine nüfuz ettirilmektedir (Correia, 2002 ve Özen, 2018).

Vakum infüzyon yönteminin avantajları:

- Düşük matris(reçine) oranı. Nihai incelendiğinde %30 reçine ve %70 takviye fazına sahiptir.
- Homojen yapıya sahip kompozit
- Vakum ortamında gerçekleştiği için çevreye ve insan sağlığına karşı bir tehdit oluşturmaz.
- Tek parça bir kalıp kullanılır.
- Kompleks ve/veya büyük parçaları bu yöntemle üretmek mümkündür.

Dezavantajları:

- Mekanik özellikler kullanılan reçinenin viskozitesine göre değişiklik gösterir.
- Yüksek maliyet
- Reçinenin ıslatamadığı kısımların olması mümkündür ve buna bağlı olarak da ortaya çıkan atık malzeme pahalıdır.
- Kullanılan ekipmanın fazla olmasından kaynaklı iş gücüne ihtiyaç vardır.



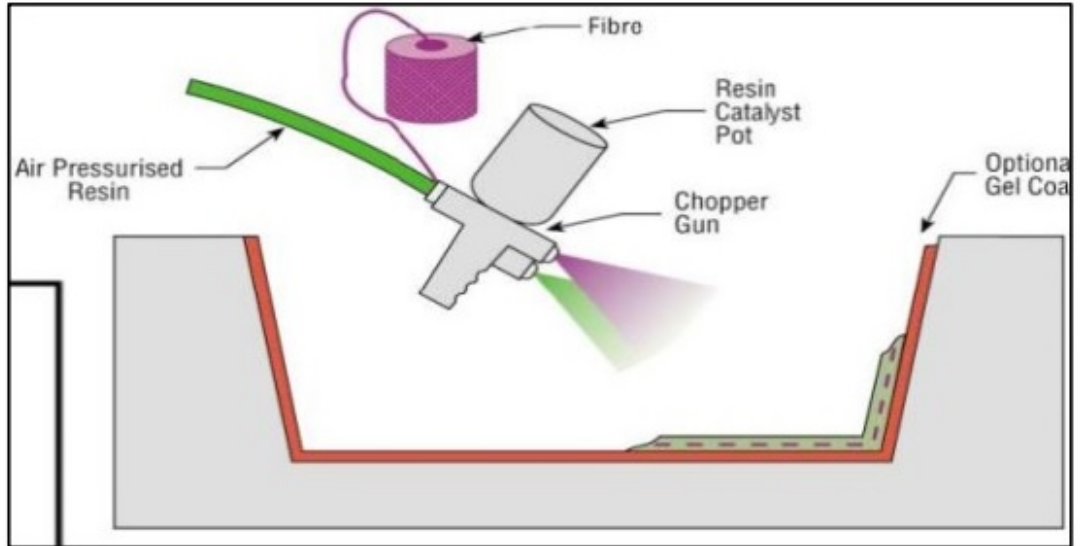
Şekil 2.14: Vakum infüzyon yöntemi şematik gösterimi (Kaybal, 2015)

### 2.4.3 Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi, bir tabanca yardımıyla matris ve visker şeklindeki takviye fazının kalıp üzerine püskürtülmesi prensibine dayanmaktadır. Yöntem temel olarak elle yatırma yöntemine benzemektedir. Ancak bu yöntem sayesinde kompozit daha hızlı ve kolay bir şekilde elde edilmektedir (Balbay, 2018).

Takviye fazı, püskürtme tabancası üzerinde yer alan kesici bir parça ile kırılmaktadır. İşlem yüzeye dik bir şekilde uygulanır ve malzemenin gereksiz kullanımının önüne geçilmiş olur. Takviye fazı kalıp üzerine rastgele yapıştığından yönlenmiş elyaf elde edilmez. Bu durum göz önüne alındığında sürekli elyaf ile üretilmiş kompozitlere göre daha az oranda takviye fazı içeren parçalar elde edilir (Sönmez, 2009).

Püskürtme yöntemi için açık veya kapalı kalıp kullanılabilir. Açık kalıpta genel olarak tek parça kalıp kullanılır ve ucuz bir yöntemdir. Takviye fazının tam bir şekilde ıslatılmaması oluşabilecek en büyük dezavantajdır. Kapalı kalıp ise açık kalıba göre daha maliyetli bir üretim şeklidir. Fakat bu yöntem ile daha karmaşık yapıdaki ürünleri üretmek, daha hızlı üretim yapmak mümkündür (Sönmez, 2009).



Şekil 2.15: Püskürtme yöntemi şematik gösterimi (Khakzad, 2017)

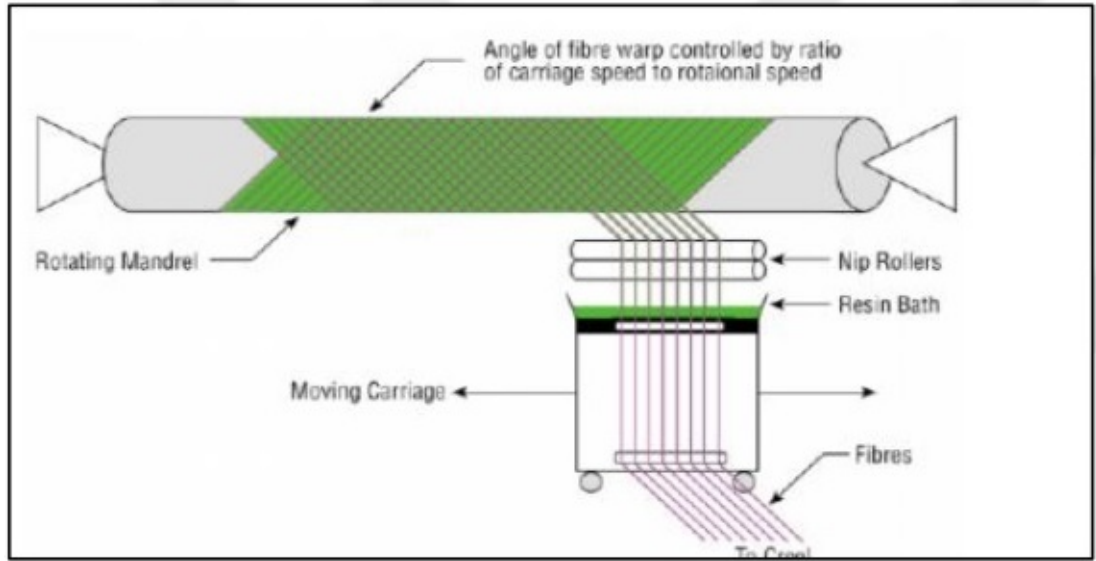
### 2.4.4 Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma metodunda sürekli elyaflar mandrelle sarılmadan önce reçine ile ıslatılmaktadır. Bu işleme başlamadan önce ise mandrel ayırıcı madde ile

kaplanır. Eğer iç yüzeyin yüksek kalitede olması isteniyorsa ayırıcı madde üzerine jelkot uygulaması yapılır. İyi ıslatılmış lif elde etmek için reçine içerisinde hava kabarcıkları olmamalı ve aynı zamanda liflerin gergin olması gerekmektedir (Mazumdar, 2001 ve Şahin, 2006).

Kompozit malzeme üretirken mandrel dönme işlemi yaparken taşıma birimi de tek bir yönde hareketine devam etmektedir. Sarım işlemi ise, üründen beklenen mekanik özelliklere göre farklı açılarda olabilmektedir. Sarma işleminin bitmesinden sonra reçinenin kürlenme süresince beklenmektedir. Bu işlem bittikten sonra mandrel çıkarılır ve üretim oda sıcaklığı ya da yüksek sıcaklıkta tamamlanmaktadır (Mazumdar, 2001 ve Şahin, 2006).

Sarma yöntemiyle, basınçlı kaplar, roket gövdesi, borular, teleskop ayakları, bisiklet gövdeleri, oltalar gibi birçok ürün elde etmek mümkündür (Mazumdar, 2001).



Şekil 2.16: Elyaf sarma yöntemi şematik gösterimi (Khakzad, 2017)

#### 2.4.5 Profil çekme yöntemi

Profil çekme yöntemi basit, sürekli, otomatik ve düşük maliyetli bir kompozit üretim yöntemidir. Reçine emdirilmiş elyaf öncelikle ön kalıplama işlemine tabii tutulur. Böylece içerisindeki fazla hava ve reçineden arındırılmış olur. İşlemin ikinci basamağında ise sabit bir hızda daha önceden ısıtılmış bir kalıptan geçirilir ve burada malzeme kısmen veya tamamen kürlenir. Kompozitin bileşenlerini oluşturan fazlar, iki kalıp arasında preslenerek

sertleştirilir. Takviye fazı olarak dokuma dokuma şeklinde elyaflar ya da kırılmış elyaflar kullanılmaktadır. Kırılmış elyaf kullanılacaksa bunları kusursuz bir biçimde emdirmek için reçineyi basınçla ısıtarak sertleştirmek gerekmektedir (Mazumdar, 2001 ve Şahin, 2006).

Bu yöntem yüksek hacimdeki üretimler için oldukça uygun bir yöntemdir. Genellikle de ekstra işlem gerektirmeyen düz parçaların imalatında verimlidir. Yaygın olarak kullanım alanları kirişler, tüpler, pencere kafes sistemleri, spor ekipmanları, elektrik donanımları için koruma ürünleri (Mazumdar, 2001).

#### **2.4.6 Hazır kalıplama**

Daha önceden birleştirilmiş olan matris ve takviye fazı sıcak pres kalıpları yardımıyla ürün haline çevrilir. Hazır kalıplama yönteminin en çok tercih edilen iki çeşidi vardır. Bunlar; sheet moulding composites (SMC) ve bulk moulding composites (BMC)'dir (Arıcasoy, 2006).

SMC, takviye fazı olarak kullanılan kırılmış lif ile dolgu malzemesi barındıran reçinenin bir araya getirilmesi ile pestil kıvamında bir ortaya çıkmaktadır. Bu oluşan malzeme sıcak pres ile ürüne dönüşmektedir. Kırılmış liflerin boyu 25 – 50 mm arasındadır ve toplam kompozit malzemenin %25 – 30'unu oluşturmaktadırlar (Arıcasoy, 2006).

BMC, bu yöntemde de kırılmış lif ve dolgu malzemesi bulunduran reçinenin bir araya getirilmesi ile hamurumsu bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Hamur kıvamındaki malzeme sıcak preslemeye tabi tutularak nihai ürün elde edilmektedir (Arıcasoy, 2006).

### 3. FİBERLER

Fiber takviyeli kompozitlerde, uzunluğu çapına göre daha düşük olan elyafların matris fazı içerisine istiflenmesiyle elde edilmektedir. Bu fiberler sürekli, kısa(süreksiz), rastgele ya da belli bir Şekilde bulunabilirler. Sürekli fiberler birbirine paralel olacak Şekilde konumlanırlar ve bu doğrultuda üstün mekanik özellikler gösterirler. Ancak fibere dik bir kuvvet uygulanırsa bu yöndeki mekanik özellikler yok denecek kadar azdır. Belli bir yönde kuvvetleri karŐılayabildikleri için bunlara anizotropik yapılar denir. Yani mekanik özellikler yöne bağlı olarak değişmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak ve kompozit malzemenin her yönde eşit dayanım gösterebilmesi için fiberler açılı bir Şekilde dizilir ve buna da izotropik yapı denmektedir.

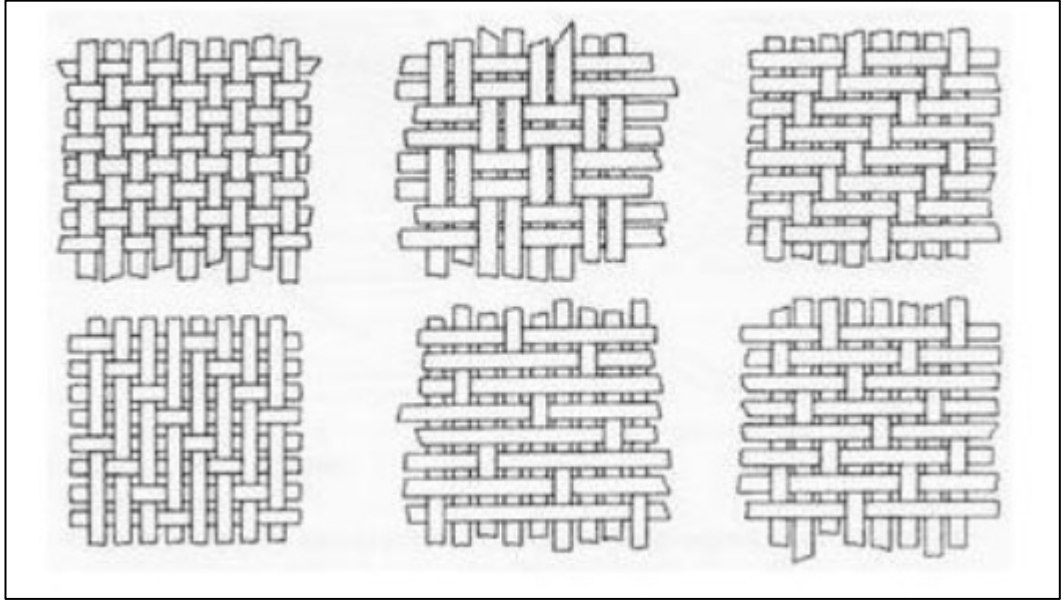
Takviye fazı fiber olan kompozitlerde fiberin uzunluğu, yn ve Şekli o kompozitin özelliklerinde önemli rol oynamaktadır. Fakat en önemlisi ynlenmedir. nk mukavemetin hangi açıda ya da ekseninde olacağını bu belirler.

Sürekli fiberler teoride bakıldığında üzerine gelen kuvvetin ya da gerilmenin tamamını iletir. Ama gerçekte durum iki nedenden ötürü böyle değildir. Birincisi, imalat etkenleri, fiberlerde ideal çekme gerilmesi değerine ulaŐmasına imkan tanımaz. İkincisi ise sürekli fiberlerde gerilme olmadığı ya da gerilmenin eŐ miktarda taŐındıđı varsayılır. Ancak pratikte bakıldığına bu iki durumda gerçekleŐmez.

Kısa fiberli kompozit bir yapı üretilirken eğer imalat sırasında bunlar yeterince homojen Şekilde dağıtılabilirse sürekli fiberlere göre daha iyi mukavemete sahip olurlar. Kısa (süreksiz) fiberlerin daha mukavim olmasının bir sebebi de yüzey hatalarının az olmasıdır. Bunlar genelde karmaşık yapılı kompozitlerin üretimde tercih edilir.

Düşünüldüğünde tüm fiberlerin kesiti daha kolay üretildikleri için daireseldir. Bir fiberin çapı ne kadar düşük olursa mukavemeti de buna ters orantılı olarak o kadar yüksek olur. Çap azaldıkça hata oranı da aynı derecede azalacaktır.

Elyaf takviyeli kompozit üretirken hem organik hem de inorganik elyaflar tercih edilebilir. Hafif, esnek ve ısıya duyarlı bir malzeme üretilecekse organik elyaflar tercih edilmelidir. Rijit, iyi mukavemet direncine sahip, ısı direnci yüksek bir malzemeye ihtiyaç varsa da inorganik elyaflardan yararlanılmalıdır.



**Şekil 3.1:** Elyaf dokuma örneklerinin şematik gösterimi

Kompozit malzemelerde takviye fazı olarak kullanılan bazı elyaf türleri;

- Cam elyaf
- Aramid (kevlar)
- Karbon elyaf
- Bor elyaf
- Doğal organik elyaflar

### 3.1 Cam Elyaf

Cam fiberler, polimer matrisli kompozitlerde en çok tercih edilen takviye fazı malzemesidir. Hem termoset hem de termoplastik reçinelerle birlikte kompozit haline gelebilmektedirler (Nejabati, 2014).



Bilinen cam fiberler genellikle %50 - %60 arasında silis ( $\text{SiO}_2$ ) ihtiva etmektedirler. Aynı zamanda kalsiyum oksit, bor, alüminyum, sodyum ve demir gibi oksitleri de bünyelerinde barındırmaktadırlar. Ancak kullanım alanını genişletmek ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamak için  $\text{B}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gibi oksit malzemelerde kullanılmaktadır (Yırtımcı, 2011 ve Nejabatı, 2014).

Cam fiberler uzun silikon atomlarından ve içerisinde bulunan diğer atomların gelişigüzel dizilmesiyle meydana gelmektedir. Bu da bize cam fiberlerin amorf bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak da cam fiberler izotropiktirler (Nejabatı, 2014).

Cam elyafların bazı özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Yırtımcı, 2011);

- Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler.
- Düşük ısı direnç. Yanma özellikleri yoktur. Fakat yüksek sıcaklık altında yumuşarlar.
- Elektrikli iletmezler
- Kimyasallara karşı dirençlidirler.
- Elyaf işleme sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmektedirler.
- Nem tutmazlar.

Cam türleri;

*A camı (Alkali)*, alkali oranı yüksek olan bir cam türüdür. Bu yüzden de elektriksel yalıtkanlığı oldukça kötüdür. Fakat kimyasal çözeltilere karşı oldukça dirençlidirler. Bu tür camlar genellikle pencerelerde, depolama tanklarında ve içecek şişelerinde kullanılmaktadır

*C camı (Korozyon)*, kimyasal dayanımı yüksek olduğu için asidik ortamlarda kullanılmaya oldukça uygun bir malzemedir. Ayrıca iyi dayanıklılığa ve yangın modülüne sahiptirler (Yırtımcı, 2011 ve Nejabatı, 2014).

*E camı (Elektrik)*, cam türleri arasında en önemli olanıdır. Kompozit malzemelerde kullanılan fiberlerin yaklaşık %90'ı bu cam türünden elde edilmektedir. Alkali oranı diğer cam türlerine göre düşük olduğu için yalıtkanlıkları oldukça yüksektir. Bununla beraber yüksek mukavemete ve suya karşı dirence sahiptirler. Bu özelliği sayesinde nemli ortamlarda kullanılacak

kompozitlerde E camı tercih edilmektedir. Bu cam türü fenolik reçine ile birlikte kullanıldığında ısıya karşı da dayanıklılığı artmaktadır (Yırtımcı, 2011 ve Nejabatı, 2014).

*S camı (Mukavemet)*, yüksek mekaniğe ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmaktadır. Çekme mukavemeti E camı ile kıyaslandığında %33 daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda yorulmaya karşı direnci iyidir. Buna bağlı olarak da hava ve uzay endüstrisinde kullanılan kompozitlerde tercih edilmektedir (Yırtımcı, 2011 ve Nejabatı, 2014).

**Çizelge 3.1:** Cam elyaf türlerinin ve bazı elyafların mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

| ELYAF TÜRÜ | Yoğunluk g/cm <sup>3</sup> | Çekme Dayanımı MPa | Elastisite Modülü GPa | Isıl Gen. Katsayısı °C <sup>-1</sup> x10 <sup>8</sup> | Kopma Uzaması % |
|------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|---|-----------------|
| E - Camı   | 2.54                       | 3448               | 72.2                  | 5   | 2.75            |
| S – Camı   | 2.49                       | 4585               | 85.5                  | 2.9   | -               |
| Kuvars     | 2.2                        | 3100               | 413.7                 | 2.9   | -               |
| Bor        | 2.68                       | 3448               | 413.7                 | 3   | 0.7             |
| Karbon     | 1.85                       | 2000-2900          | 220-520               | -1  | 0.5 – 1.3       |
| Kevlar-49  | 1.44                       | 2708               | 131                   | -2  | 2.5             |

### 3.2 Aramid Elyaf

Aramid kelimesi aromatik polyamid'in kısaltılmış halidir. Polyamid'ler uzun zincirli polimer yapısına sahiptirler ve molekül yapılarında altı karbon atomu birbirine hidrojen ile bağlanmaktadır. Bu malzeme cam fiber ile kıyaslandığında daha hafif ve rijittir. Aramidler aynı zamanda geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilmektedirler. Bunlar -196°C'de bile dayanımlarını koruyabilmektedirler. 427°C ise yanmadan kömürleşmeye başlamaktadırlar. Bu sıcaklık aralığında çalışırken boyutsal olarak herhangi bir değişim göstermemektedirler (Yavaş, 2009).

Aramid lifleri aromatik gruptaki karbonların zincire dahil olma yerlerine göre ikiye ayrılmaktadırlar. Eğer karbonlar 1. ve 4. zincire dahil oluyorsa para – aramid, karbonlar 1. ve 3. zincire dahil oluyorsa meta – aramid olmaktadır (Tunç, 2012).

Para – aramid'ler 1970'lere doğru ortaya çıkmışlardır. Günümüz piyasasında Herecron, Tveron ve Kevlar gibi ticari isimlerle üretilirler. Bunların en basit kimyasal formülü poli p – fenilentereftalamid'dir (Tunç, 2012, Reis, 2012 ve Çelikkanat, 2002).

Kevlar lifi jet – yaş lif çekim yöntemi ile elde edilmektedir. Para – fenil diamin ve teraftalokloridin'in kondenzasyon reaksiyonu oluşturması ile ortaya çıkar. Bu reaksiyon sonucunda aromatik polyamid, amit ve aromatik gruplara sahip olur. Bu iki grubun oluşmasıyla da yüksek mukavemet özelliği kazanmaktadır (Tunç, 2012).

Kevlar kendi içerisinde Kevlar29 ve Kevlar49 olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Bunlar, yüksek mekanik mukavemet, hafiflik, darbeye dayanım, sertlik, titreşim sönümlenme gibi üstün özellikleri sayesinde kompozit malzeme üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptirler. Ancak kevlar ile kompozit üretiminin olumsuz yanı ise, kesme işleminin zor olmasıdır. Bunun için ultrasonik ve su jeti ile kesme yöntemleri geliştirilmiştir (Nejabati, 2014 ve Karacaer, 2001).

Meta – aramid'ler piyasaa Nomex, NewStar, Teijin Conex ve Kermal gibi firmalar tarafında üretilmektedir. Bunlar poli m – fenil isoftalamid yapısındadırlar. Bu lifler yai veya kuru iplik çekme yöntemi ile üretilebilmektedirler. Lifler çekildikten sonra sırasıyla çekme, kurutma ve ısı işleme tabii tutulurlar (Tunç, 2012 ve Çelikkanat, 2002).

Meta – aramid'ler kimyasal yapılarından dolayı termal özellikleri oldukça iyidir. Oryantasyon derecesinin düşük olmasından dolayı düşük modüle sahiptir. Aromatik halkaları ve amid bağları nedeniyle güçlü ve dayanıklıdır. Meta – aramid erimez ancak uzun bir süre yüksek sıcaklıkta kaldığı zaman kömürleşme gözlenir (Tunç, 2012, Çelikkanat, 2002 ve Hossain, 2015).

Aramidlerin öne çıkan özellikleri;

- Genel olarak sarı renktedir.

- Yüksek dayanım
- Düşük yoğunluk
- Yorulma dayanımı
- Kimyasal dayanım
- Aşınma dayanımı

Bu özelliklerin yanında bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunlar;

- Bazı aramidler ultraviyole ışınları yüzünden bozuna bilirler.
- Elyafların birleşmesi zordur. Buna bağlı olarak da mikroskobik çatlaklar ortaya çıkabilir.

Aramidler termal kıyafetlerde, balistik uygulamalarda, endüstri ve otomotiv uygulamalarında, hava araçlarının gövdelerinde, yelken direği ve spor kıyafetleri gibi birçok uygulamalarda kullanılmaktadır (Tunç, 2012 ve Reis, 2012).

### **3.3 Karbon Elyaf**

Günümüzde birçok kompozit uygulamalarında iyi özellikleri yüzünden cam fiberler tercih edilse de ileri teknoloji kompozitlerde takviye malzemesi olarak karbon elyaf kullanılmaktadır. Cam ve karbon elyaf birbirleriyle kıyaslandığında karbon daha mukavemetli ve daha hafif bir malzemedir. Fakat üretim yöntemi oldukça pahalıdır (Demirel, 2007 ve Hossain, 2015).

Cam fiberlerin mukavemet değerleri çelikle kıyaslandığında oldukça düşük kalıyordu. Karbon fiberler üretim sırasında yüksek ısı işleme tabii tutulmaları onları tamamen karbonlaştırmaktadır. Bu durum sonucu oluşan fiberler ise grafit elyaf denirdi. Ancak günümüzde karbon ve grafit ayrımı kalkmıştır. Karbon her ikisini de tanımlamaktadır. Bu tür fiberler matris fazı ile bir araya getirildiğinde yüksek mukavemet ve sertliğe sahip olmaktadır. Ancak karbon sınırlı genişleme kapasitesine ve zayıf hata toleransına sahiptirler (Demirel, 2007 ve Yazdanie, 1985).

Karbon elyaflar sürekli ve kırılmış olmak üzere 2 farklı biçimde bulunabilirler (Demirel, 2007):

Sürekli elyaflar, çapları 8 – 10 µm ve iplik demeti şeklindedir. Bütün reçinelere uygundur. Kullanım alanları örgü, dokuma, tek yönlü bantlar ve elyaf sarma yöntemiyle üretilen parçalar için uygundur (Demirel, 2007).

Kırılmış elyaflar, sürekli elyafların kesilmesiyle elde edilen elyaf türüdür. Bu elyaflarla üretilen ürünler yüksek korozyon direnci, yorulma dayanımı, sertlik ve yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler. Buna bağlı olarak da genellikle basınçlı kaplarda, kimyasal valf yapımında ve enjeksiyon kalıplamada kullanılmaktadır (Hossain, 2015).

Karbon elyaf üretiminde organik hammaddeler kullanılmaktadır. Bunlar (Demirel, 2007):

- Zift
- PAN (Poliakrilonitril)
- Selüloz (Rayon)

Düşük modüllü elyaf üretimi yapılacağı zaman Rayon kullanılmaktadır. inert bir ortamda Rayon 1000 - 3000°C arasında ısıtılır. Mukavemet ve tokluk sağlamak içinse ısıtma sırasında çekme kuvveti de uygulanır. Fakat üretim maliyeti çok yüksek olduğu için pek tercih edilmemektedir (Demirel, 2007).

PAN'dan karbon elyaf üretimi 4 aşamada gerçekleşmektedir (Demirel, 2007).

- Oksidasyon: Elyaflar 300°C'de hava koşullarında ısıtılır. Bu işlem sayesinde hidrojen elyaftan ayrılırken oksijen eklenmektedir. Daha sonra elyaflar kesilir ve grafit teknelerine yerleştirilir. Merdiven yapısında olan polimer, kararlı halka yapısına geçer. Bu sırada elyafların rengi beyazdan kahverengine dönüşür ve son olarak da siyahlaşır.
- Karbonizasyon: elyaflar oksijensiz bir ortamda 3000°C'ye kadar ısıtılır. Lifler %100 olarak karbonlaşır. Bu işlem sırasında uygulanan sıcaklık elyafların türünü belirlemektedir.
- Takviye fazı olarak kullanılacak olan elyafların yüzeyi iyileştirilir ve temizlenir. Reçineyle daha iyi bir ara yüzey oluşturabilmek adına elektrolit banyoya yatırılır.

- Kaplama: elyafı daha sonra yapılacak işlemlerden korumak için nötr bir sonlandırma işlemi yapılır. Elyaf reçine ile kaplanır.

PAN'dan üretilen elyafların çekme mukavemetleri 2413 – 3102 MPa arasındadır.

Petrol rafinerisinden üretilen zift bazlı elyaflar 2069 MPa çekme mukavemetine sahiptirler. Maliyetleri ise PAN'dan daha düşüktür. Mekanik özelliklerinin düşük olmasından dolayı yapı malzemelerinde tercih edilmezler (Demirel, 2007).

Karbon elyaf birçok açıdan bakıldığında diğer elyaflara göre üstün özelliklere sahiptirler. Bunlar (Demirel, 2007):

- Düşük yoğunluk
- Yüksek mukavemet
- Tokluk
- Aşınma ve yorulmaya karşı direnç

Kullanım alanları uzay araçları, uçaklar, otomobil endüstrisi, savunma sanayi, spor ekipmanları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

### **3.4 Bor Elyaf**

Bor fiber 1960'lı yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Üretimden sonra ise ileri teknoloji kompozitlerde kullanılmaya başlanan ilk fiber malzemesi olma özelliğini taşımaktaydı. Karbon fiberin ticari olarak erişime sunulmasına kadar da bor fiberin yüksek modüllü olmasından dolayı kullanımına devam edilmişti (Vega, 1977).

Bor fiberler 'metalik bordan yapılmış özel iplikler' şeklinde tanımlanmaktadır. Bunlar çelik ve alüminyum ile kıyaslandığında hem daha hafif hem de mekanik özellikler açısından daha üstündürler (Reinhart, 1998).

Bor fiber, bortriklorürün ve hidrojen gazının 1000 – 1200°C'de saf ve çok ince olan bir volfram filaman üzerinden elektrik akımının geçirilmesiyle hidrojenin ayrılması sonucu borun biriktirilmesiyle elde edilmektedir. Isı kaynağı ve gerekli reaksiyon yüzeyi için kullanılan volfram filaman, 10 – 15µm olup

gerçekleştirilen reaksiyonlar sonucu bor fiberin kalınlığı 100 – 140µm çapına ulaşmaktadır (Ertürk, 2012).

Mekanik özellikleri incelendiğinde çekme mukavemeti 2758 – 3447MPa, young modülü 380 – 400GPa arasındadır. Aynı zamanda yüksek korozyon, hafiflik ve yüksek sertliğe de sahiptirler. Ergime sıcaklığında 2040°C'dir. Bor fiber kompozit malzemelere üstün özellikler kazandırsa da üretimi ve üretim sırasında kullanılan pahalı takviye malzemelerinden dolayı endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmamaktadır. Genellikle uçak ve roket gövdeleri, otomobil kaportaları, uzay mekiği orta gövdesi, F14 ve F15'in kuyruk kısımlarında kullanılmaktadır (Ertürk, 2012).

**Çizelge 3.2:** Fiberlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

| Fiber      | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Ortalama Çekme | Elastik Modülü |
|------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| Bor, 100µm | 2.59                          | 620            | 60             |
| Bor, 140µm | 2.49                          | 520            | 60             |
| Karbon     | 1.75                          | 450            | 32             |
| E - camı   | 2.54                          | 490            | 10             |
| Aramid     | 1.44                          | 520            | 18             |
| SiC, 140µm | 3.00                          | 570            | 80             |

#### 4. REÇİNELER

Polimer bazlı reçineler kompozitlerin matris fazını oluşturmakla beraber takviye fazı olarak kullanılan fiberleri bir arada tutmak, onları fiziksel ve kimyasal hasarlardan korumaktır. Üretilecek olan kompozitin özellikleri belirlenirken buna uygun reçine seçimi oldukça önem arz etmektedir. Reçinenin özelliğine göre kompozitin mekanik özelliklerinde de değişiklik gözlenmektedir. Öte yandan tercih edilen polimer reçinenin takviye fazıyla uyumu hasar mekanizması üzerinde oldukça etkilidir (Kaybal, 2015).

Polimer reçineler bağlarındaki farklı yapılardan dolayı termoplastik ve termoset olarak adlandırılırlar. Termoplastikler, uzun hidrokarbon zincirlerinden oluşur. Bunlar birbirlerine zayıf van der Waals bağlarıyla bağlanmaktadır. Zincir yapıları birbiri içerisine geçerek de mekanik kilitleme meydana getirir. Bu mekanik kilitleme sıcaklık arttıkça azalır. Viskozitesi de düşmüş olur. Bu tip reçinelerin en önemli özelliği tekrar kullanılabilir olmasıdır. Termosetler de aynı termoplastikler gibi uzun hidrokarbon zincirlerinden meydana gelmektedirler. Termoplastiklerle kıyaslandığında sünek, daha rijit ve dayanıklıdır (Kaybal, 2015).

Matris malzemesi seçiminde termoplastikler çok ön planda olmasa da birçok üstün özellikleri mevcuttur. Bunlar; raf ömürleri uzundur, sertleşmesi için ekstra bir maddeye ihtiyaç duymazlar, üstün kırılma tokluğudur. Oda sıcaklığında kötü işleme yeteneğine sahiptir. Yine de oldukça sert ve çarpma kaynaklı darbelere karşı dayanımı oldukça iyidir (Kaybal, 2015).

Termoset reçineler, kimyasal maddelere maruz kaldıklarında dahi çözünmezler. Her türlü hava koşuluna dayanıklı olduğu için uzun ömürlü malzemelerdir. Termosetler depolanırken dondurucu içerisinde bekletilmelidirler yoksa çabuk bozunurlar. Bu bekleme süresinde 6 – 18 ay arasında değişmektedir (Kaybal, 2015).

Polimer matrisler kendi içerisinde genel olarak 5'e ayrılmaktadırlar;



- Epoksi reçineler
- Polyester reçineler
- Vinilester reçineler
- Fenolik reçineler
- Silikon reçineler

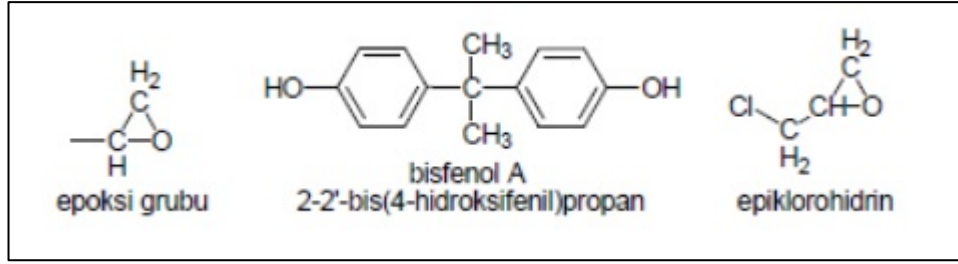
Matris malzemesi olarak belirlenirken kullanım alanına göre seçilmektedir. Yüksek mukavemet gerektirmeyen bir durum varsa genellikle polyester reçine tercih edilmektedir. Ancak ileri teknoloji kompozitlerin üretiminde epoksi reçineler kullanılmaktadır.

#### **4.1 Epoksi Reçineler**

Bünyesinde epoksit grubu bulunan çapraz bağlı polimerik yapıdaki reçinelere denmektedir. Geniş bir kullanım alanına sahip olan epoksi, ısıl kararlılık, iyi mukavemet, etkileşime girdiği yüzeye iyi yapışma ve düzgün yüzey oluşturma özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Diğer reçine türleriyle kıyaslandığında kimyasal özellikleri, mekanik ve elektriksel özellikleri oldukça iyidir (Ellis, 1993). Ancak kırılma dirençleri düşük olduğu için kimyasal yapısında değişiklik yapılarak kullanılır. Bu değişiklik genellikle silikon kullanılarak yapılmaktadır. Silikon ilavesinden sonra epoksi reçine önceki haline göre daha esnek, daha düşük kararlılık ve termal genişlemeye sahip oldukları gözlenmiştir (Can, 2008).

Bu özelliklerinden kaynaklı epoksi reçineler kompozit üretimde çok önemli bir yere sahiptirler. Özellikle ileri teknoloji kompozit uygulamalarında tercih edilmektedirler (Demirel, 2007). Uzay sanayi, elektronik sanayi ve bilişim sektörü de epoksi reçinelerin kullanıldığı alanlar arasındadır (Wang, 2000).

Epoksi reçineler sentezlenirken, genellikle polihidroksi bileşenleri epiklorhidrinle tepkimeye girmektedir. Bunun dışında da farklı sentezleme mekanizmaları bulunmaktadır. Polihidroksi bileşiği olarak Bisfenol A kullanılır. Eğer Bisfenol A'nın mol oranı epiklorhidrine göre daha fazla olursa molekül ağırlığı bakımından yüksek epoksi reçineler kazanılmış olur ve epoksit grubu lineer özellik gösterir (Can, 2008).



**Şekil 4.1:** Epoksi reçinenin kimyasal formülü (Dursun, 2018)

Epoksilerin sertleşmesini sağlamak için ajanlar kullanılmaktadır. Bunlarla birlikte epoksi daha üstün özellikler kazanmaktadır. Ajanlar, epoksinin kimyasal yapısındaki epoksit ve hidroksitle tepkimeye girer ve kararlı C – N, C – O, C – C yapılarını oluşturarak polimerik zincirin dayanımını ortaya çıkarır. Bununla birlikte fiziksel özelliklerinde iyileşmesine neden olur (Can, 2008).

Epoksi reçineler oda sıcaklığında veya dışarıdan ısı verilerek sertleştirilir. Eğer alifatik aminlerden elde edilmiş poliamidler veya poliamino – amidler kullanılıyorsa en iyi sonucu elde etmek için oda sıcaklığında kütleme işlemi yapılmalıdır. Aminler epoksi içerisine eklendiği zaman belli bir kullanma süresi vardır. Bu süre birkaç saat ile birkaç gün arasında değişmektedir. Epoksinin ve sertleştiricinin cinsine bağlı olan bu süre aynı zamanda depolama koşullarına da bağlıdır (Can, 2008).

Sertleştirici olarak tercih edilen alifatik aminler;

## 1. Diaminler

### 1.1. Etilen diaminler

### 1.2. Hekzametilen diaminler

### 1.3. Propilen diamin

## 2. Poli fonksiyonel aminler

### 2.1. Dietilen triamin

### 2.2. Trietilen tetraamin

### 2.3. Tetraetilen pentaamin

### 2.4. Pentaetilen hekzaamin

Yukarıda bahsedilen sertleştiriciler reçineyle düşük ısılarda tepkimeye girerek yüksek hızda sertleşme ve dayanıklılık sağlamaktadır. Diaminler ve poli

fonksiyonel aminler poliamidlerle kıyaslandığında daha hızlı tepkimeye girer ancak toksik seviyesi daha fazladır. Toksik özelliği düşük sertleştiriciler elde edebilmek için diaminleri dimer asitle tepkimeye sokmak gerekmektedir. Bu tepkime sonucu poliamid reçine elde edilir (Can, 2008).

Isıyla sertleştirme, epoksit ve hidroksillerin aynı çatı altındaki aromatik aminler, amino ve fenol formaldehitler arasında oluşmaktadır. Epoksi ve romatik sertleştiriciler oda koşullarındaki sıcaklıkta sabit kaldığı için tek komponentli sistemde kullanılır. Isıyla sertleştirmeye ihtiyaç duyan metalin diamin veya metafenilen diamin (aromatik sertleştiriciler) 200°C'nin üzerinde bir sıcaklıkta sertleşmektedir (Can, 2008).

Isıyla sertleşen reçineler, sert, gevrek, korozyona karşı dirençli, fiziksel darbelere karşı dayanıklı epoksi reçineler ortaya çıkarmaktadır (Can, 2008).

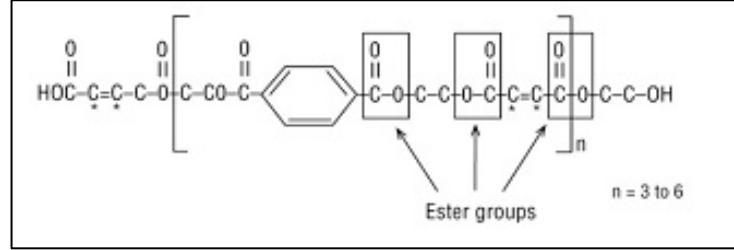
#### **4.2 Polyester Reçineler**

Polyester reçineler günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle cam fiber katkılı kompozit üretimde tercih edilir. Bunun en temel nedeni cam fiberin polyester reçine tarafından iyi ıslatılmasıdır. Bu tür reçineler iyi mekanik ve kimyasal dayanıma sahiptir. Özellikle 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda bu dayanım oldukça iyidir (Yırtımcı, 2011).

Polyester reçine bazı durumlarda kullanılmadan önce ek yardımcı maddelere gerek duyabilir. Bunlar; katalizör, hızlandırıcı ve katkıları. Reçine hazırlanırken ilk önce ne kadar ihtiyaç olduğu belirlenmeli ve bu ihtiyaç doğrultusunda reçine miktarı ayarlanmalıdır. Daha sonra ise katalizör reçine içerisine eklenmelidir. Buradaki amaç polimerizasyon reaksiyonunu başlatabilmektir. Ancak katalizör kimyasal tepkime içerisinde yer almamaktadır. Son olarak ise hızlandırıcı ilave edilmektedir. Böylece çalışma ortamının koşulları ne olursa olsun hızlandırıcı etkisiyle polyester reçine küllenecektir (Sp, 2015).

Kullanım öncesi reçine hazırlama kısmı oldukça önem arz etmektedir. Karışım sırasında oluşabilecek hava kabarcıkları reçine ve kompozit yapının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle hava kabarcıklarının tabakalı kompozit üretimi esnasında tabakalar arasına girmesiyle ara yüzey kalitesi de olumsuz yönde etkilenmektedir (Sp, 2015).

Bu reçinelerin dezavantajları; kürlenme esnasında büzülme oranı (% 5 – 12) yüksektir. Reçine miktarı doğru oranda hesaplanmazsa bu çekmeden dolayı malzemenin basma dayanımı düşecektir. Bünyesine su aldığı zaman bozunur. Belli bir raf ömrüne sahiptir. Bir süreden sonra kendi kendine kürlenme gerçekleşir (Sp, 2015).



Şekil 4.2: Polyester reçinenin kimyasal formülü (Dursun, 2018)

### 4.3 Vinilester Reçineler

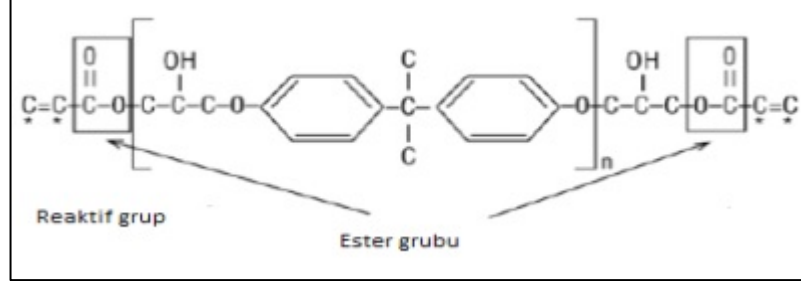
Vinilester reçinelerin ticarileşmesi 1930'lı yıllara dayanmaktadır. O yıllardan beri termoset malzemeler arasında çok önemli bir yerde olmuştur. Bu reçinenin günümüzde geniş kullanım yelpazesine sahip olması mekanik özelliklerinin yanı sıra kimyasal ortamlara karşı dayanımıdır (Dursun, 2018).

Epoksi ve doymamış polyesterin üstün özellikleri vinilester reçinelerde birleştirilmiştir. Epoksi reçinelerle hemen hemen aynı mekanik özelliklere sahip olsa da oda koşullarındaki sıcaklıklarda kürlenme ve tepkime koşullarında epokis daha kolay denetim imkanı sunar. Bununla beraber bazı polyester reçinelere göre daha iyi kimyasal direnç göstermektedir (Dursun, 2018).

Vinilester reçineler; tokluğu artırmak, viskozite ve çekmeyi azaltmak gibi yeni oluşum özelliklerine sahip vinilester sentezi yapılır. Bu reçinenin yapısı iyi derecede eğme ve çekme özelliği gösterir. Aynı zamanda yüksek uzama miktarı gözlenmektedir (Hui, 1998).

Doymamış polyesterlerle karşılaştırıldığında vinilester, hacimsel olarak daha düşük çekme, daha iyi kimyasal direnç ve tokluk gösterirler. Stiren oranının artması ve vinilester oligomer zincirinin boyundaki uzunluğun azalması sonucu hacimsel çekmede artmaktadır. Küreleme sırasında oluşan çekme; yüzeyde bozulmalara, iç çatlaklara ve boşluklara neden olmaktadır. Polimer yapısına bakılmaksızın 300°C dolayında da kürlenmektedir (Hui, 1998).

Vinilesterlerin kullanım alanına bakıldığında genel olarak fiber takviyeli kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca borular, kanallar, tanklar gibi alanlarda da tercih edilmektedir. Diğer kullanım yerleri ise kaplamalarda, elektrik uygulamalarında ve yapıştırıcılarda kullanılmaktadır (Hui, 1998).



Şekil 4.3: Vinilester reçinenin kimyasal formülü (Dursun, 2018)

#### 4.4 Fenolik Reçineler

Fenolik reçineler termoset reçinelerin bir çeşidi olup, fenolün aldehitle katalizör vasıtasıyla tepkimesi sonucu elde edilir. Fenolik reçineyle üretilmiş kompozit malzemeler ateşe karşı dirençli, uzun ömürlü, yüksek sıcaklıktaki çalışma koşullarına uygun, hidrokarbon ve klor içeren çözeltilere karşı da dayanıklılık göstermektedirler (Mağdala, 2009).

Fenolik reçinelerin çeşidi, aldehitle tepkimesinde kullanılan katalizör ve fermaldehit ile fenolün birbirine oranına bağlı olarak değişmektedir. Fenolik reçinenin eldesin de kullanılan katalizör asit ve fermaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan küçükse novolak, eğer kullanılan katalizör alkali ve fermaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan büyükse resoldür. Novolak sentezlemek için kullanılan asitler oksalik ve sülfürik asittir. Resol sentezlemek içinse lityum (Li), kalsiyum (Ca), hidroksit, potasyum (K), sodyum (Na) ve baryum (Ba) elementlerinin alifatik aminleri veya hidroksitleri kullanılmaktadır (Mağdala, 2009).

Novolak sentezinde ilk tepkime, asit katalizörün metilen glikol ile tepkimeye girmesi sonucu karbon iyonunun ortaya çıkmasıdır. Daha sonra karbon iyonunun fenolle tepkimesinden metilolfenol oluşur. Oluşan metilol grubu asidik ortamlarda kararsız durumdadır. Bu kararsız durumdan kurtulmak için fenolle tepkimeye girerek novolak oluşturur. İlk açığa çıktığında novolak termoplastik grubundan bir reçinedir. Ancak heksametilentetramin (HEXA) ile tepkimeye girer ve termoset reçine haline dönüşür (Gardziella, 1999).

Fenolik reçinelerin çok geniş kullanım alanına sahip olmasının nedeni novolak ve resol reçinelerinin farklı pazarlara hitap etmesindedir. Bunlar piyasada toz, sulu çözelti ve çözücü bazlı formlarda bulunmaktadır. Toz halindeki novolaklar döküm kalıpları, merdaneler gibi yerlerde kullanılırken, resol reçineler fiber (cam ve karbon) takviyeli kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılmaktadır (Mağdala, 2009).

Bu reçinelerin en önemli kullanım alanı ısı kalkanı olarak kullanılmasıdır. Bunun sebebi diğer termoset reçinelerle kıyaslandığında fenolik reçinenin alev maruz kaldığında, alev ilerlemesi oldukça yavaştır ve ortaya çıkan duman miktarı ve toksik seviyesi oldukça düşüktür. Cam ve karbon fiber takviyeli kompozit üretiminde tercih edilmekte ve talep gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca fenolik reçineler yer kaplamalarında, uçaklarda iç duvar ve tavanlarında kullanılmaktadır (Mağdala, 2009).

#### **4.5 Silikon Reçineler**

Silikon reçinelerin diğer reçinelerden en önemli farkı yapılarında karbon buldurmak yerine inorganik esaslı silikon malzemeler bulundurmasıdır. Bu reçineler yapısındaki küçük değişiklikler sayesinde mekanik ve elektriksel özelliklerini 250°C'ye kadar koruyabilmektedirler. Silikon reçinelerin mekaniksel dayanımları diğer reçinelerle kıyaslandığında daha düşük ancak maliyet açısından da daha yüksektir. Bunlara istinaden kullanım alanları kısıtlıdır (Yavaş, 2009).

#### **4.6 Kürleme Sürecinin Mekanik Özelliklere Etkisi**

Özellikle tabakalı kompozit üretiminde kullanılan termoset reçinelerin mukavemet ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kür süreci en önemli aşamalardan birisidir. Kür işlemine tabii tutulmuş kompozit malzemelerin özellikleri geleneksel metallere göre oldukça üstündür. İyi bir tabakalı kompozit malzeme üretilmek isteniyorsa şunlara aşamalar dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Tabakaların en uygun dizilime sahip olup olmadığına
- Elyaf / Reçine oranına

- Boşluk hacminin düşük olmasına
- Doğru kürlenme derecesi ve zamanına

Kür derecesi, reçine akışkanlığının, sıcaklığın, zamanın ve reçinenin polimerizasyonun başlaması için gereken kimyasal tepkimenin fonksiyonudur. Bu üç parametre de kürlenme boyunca ortaya çıkan kimyasal tepkimelerle doğrudan olarak alakalıdır.

Kürlenme süresi, belirlenmiş zaman çerçevesinde ısıyla basıncın sistemli bir şekilde uygulanmasına dayanır. Normal şartlar altında kür süresi, kullanılan sertleştirici oranına ve malzemenin kalınlığına bağlı olarak değişmektedir.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1 Materyal

Bu bölümde kompozit malzeme üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerinden bahsedildi. Bunlar:

- Fiberler (Karbon ve Aramid)
- Epoksi
- Nanoalümina

#### 5.1.1 Fiberler

Bu çalışmada kullanılan karbon fiber İstanbul'da bulunan METYX firmasından, aramid fiber ise Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden temin edildi.

Fiber seçimi yapılırken üretim sonrası kullanılacak alanlar ve vakum infüzyon yönetimine uygun olacak şekilde seçildi. Karbon ve aramid fiberlerin özellikleri çizelge 3'de verildi.

**Çizelge 5.1:** Kullanılan fiberlerin özellikleri

| Kumaş Türü     | Karbon elyaf         | Kevlar Elyaf          |
|----------------|----------------------|-----------------------|
| Yoğunluğu      | 1.8g/cm <sup>3</sup> | 1.13g/cm <sup>3</sup> |
| Birim Ağırlık  | 75g/m <sup>2</sup>   | 207g/m <sup>2</sup>   |
| Açı            | +45                  | 0                     |
| Dikiş Tipi     | Pillar               | Tiwil                 |
| Dikiş Ölçüsü   | 5 Dikiş/İnc          | -                     |
| Dikiş Uzunluğu | 3 mm                 | -                     |



### 5.1.2 Epoksi

Epoksi üretimi için gerekli olan reçine ve sertleştirici DURATEK firmasından temin edildi. Vakum infüzyon yöntemine ve fiberlere uygun olması DTE 1200 kodlu termoset reçine ve buna uygun DTS 1151 kodlu sertleştirici kullanıldı.



Şekil 5.1: Kullanılan epoksi ve sertleştirici

Reçine ve sertleştiricinin özellikleri çizelge 4 ve çizelge 5’de verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Reçine mekanik özellikleri

| Özellikle<br>r                 | Birim              | Standar<br>t | 16Sa@50°<br>C | 12Sa@60°<br>C | 8Sa@80°<br>C | 4Sa@100°<br>C |
|--------------------------------|--------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Çekme<br>Direnci               | N/mm <sup>2</sup>  | ISO527<br>-2 | 76 - 81       | 76 - 81       | 76 - 81      | 76 - 81       |
| Yüzde<br>Uzama                 | %                  | ISO527<br>-2 | 3.5 - 4       | 3.5 - 4       | 4.2 - 4.7    | 4.5 - 5       |
| Çekme<br>Elastisite<br>Modülü  | kN/mm <sup>2</sup> | ISO527<br>-2 | 3.4 - 3.7     | 3.3 - 3.6     | 3 - 3.3      | 3.1 - 3.4     |
| Eğilme<br>Direnci              | N/mm <sup>2</sup>  | EN<br>ISO178 | 113 - 118     | 113 - 118     | 113 - 118    | 128 - 133     |
| Eğilme<br>Elastisite<br>Modülü | kN/mm <sup>2</sup> | EN<br>ISO178 | 3.1 - 3.4     | 2.9 - 3.2     | 2.9 - 3.2    | 3.4 - 3.7     |
| Isıl<br>Eğilme<br>Sıcaklığı    | °C                 | ISO75-<br>2  | 68 - 73       | 77 - 82       | 78 - 83      | 77 - 82       |
| Su<br>Emme                     | mg                 | EN<br>ISO175 | 50 - 55       | 46 - 51       | 42 - 47      | 41 - 46       |

**Çizelge 5.3:** Epoksinin özellikleri

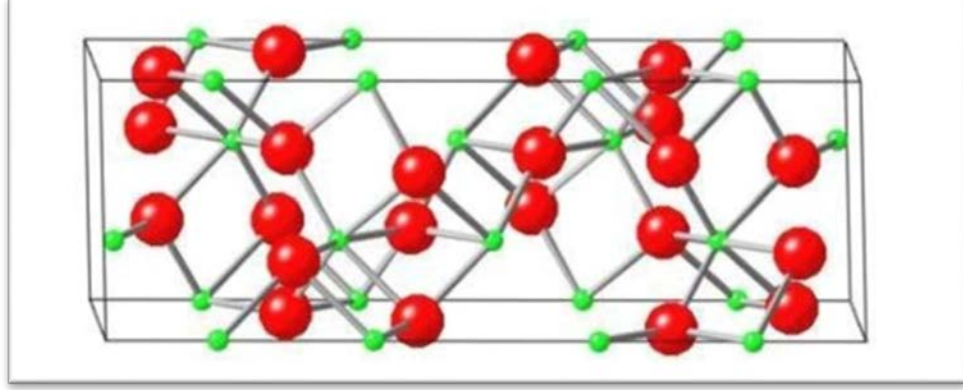
| Malzeme                   | DTE 1200 + DTS 1151 |
|---------------------------|---------------------|
| Yoğunluk (kg/lt)          | 1.10±0,05           |
| Viskozite (mPas)          | 300±50              |
| Uygulama Süresi (dk)      | 180±20              |
| Karışım Oranı (Ağırlıkça) | 79/21               |

### 5.1.3 Nanoalümina

Boksit cevherinin Bayer sürecine sokulmasıyla birlikte alüminyum oksit üretilmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> piyasada ne yaygın olarak kullanılan üründür. Fiziksel olarak beyaz bir görünüme sahip olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aynı zamanda kokusuzdur.

Atomik yapıda incelendiğinde oksijen iyonlarının alüminyum iyonlarıyla sıkı paket hegzogonal şekilde sarılmasından meydana gelmektedir. Ergime sıcaklığı

2050°C olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün kaynama noktasıysa 2080°C'dir. Oldukça kararlı bir yapıya sahiptir. Su içinde iyi kalsine edildiğinde asitlerde ve bazlarda çözünmez.



**Şekil 5.2:** Alüminanın atomik yapısı

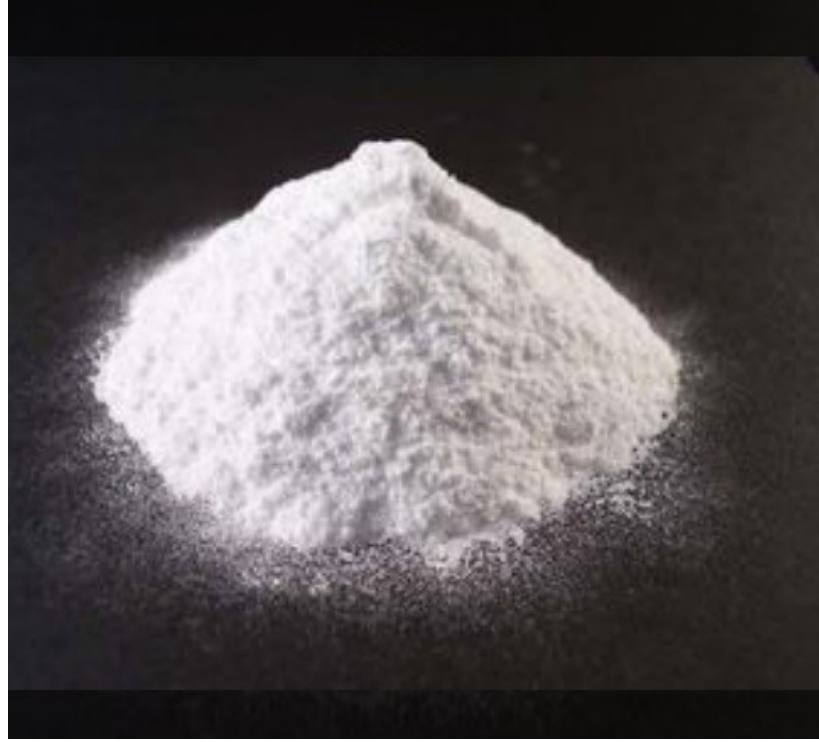
Alümina saflık derecesine göre düşük sıcaklıklarda farklı kristal yapıya sahiptirler. Sıcaklık aralığı 750°C ve 1200°C olduğunda atmosfere bağlı olarak da  $\alpha$ -alüminaya dönüşmektedir.

Alüminanın saflık oranı artıkça aşınma direnci, elektrik ve mukavemet değerlerinde de artış gözlenmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan alüminanın saflık derecesi ise %99.99 oranındadır.

Yapılan çalışmalar bize gösterdi ki kompozit farklı oranlarda kullanılan alümina, malzemenin mukavemet, sertlik ve aşınma direnci üzerinde etkili olmaktadır. Alüminanın belli bir oranın üzerinde kullanılmasında ise sertlik artarken mukavemetinde azalmanın olduğu gözlenmiştir. Tez çalışmasında ise matris malzemesinin yani epoksi ağırlığının %2'si kadar alümina ilave edildi. Bu oran belirlenirken daha önce yapılmış olan çalışmalar referans alındı.

### **5.1.3.1 Alümina kullanım alanları**

Dünya çapında üretilen alüminanın %90'ı alüminyumun üretiminde kullanılmaktadır. Geriye kalan %10'luk kısım ise çeşitli kimyasallarda kullanılmaktadır. Kullanım alanı belirlenirken saflık derecesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Alüminanın bazı kullanım alanları refrakter tuğlalar, cam sanayi, implant üretimi, aşındırıcı, kimya sanayi ve bazı kompozit malzemelerin matris fazı içerisinde kullanılmaktadır.



**Şekil 5.3:** Nanoalümina

Kullanılan nanoalüminanın özellikleri çizelge 6’da verilmiştir.

**Çizelge 5.4:** Nanoalüminanın özellikleri

| Malzeme           | Nanoalümina          |
|-------------------|----------------------|
| Saflık            | %99.99               |
| Tane Boyutu       | 40nm                 |
| Özgün Yüzey Alanı | 60 m <sup>2</sup> /g |

## 5.2 Yöntem

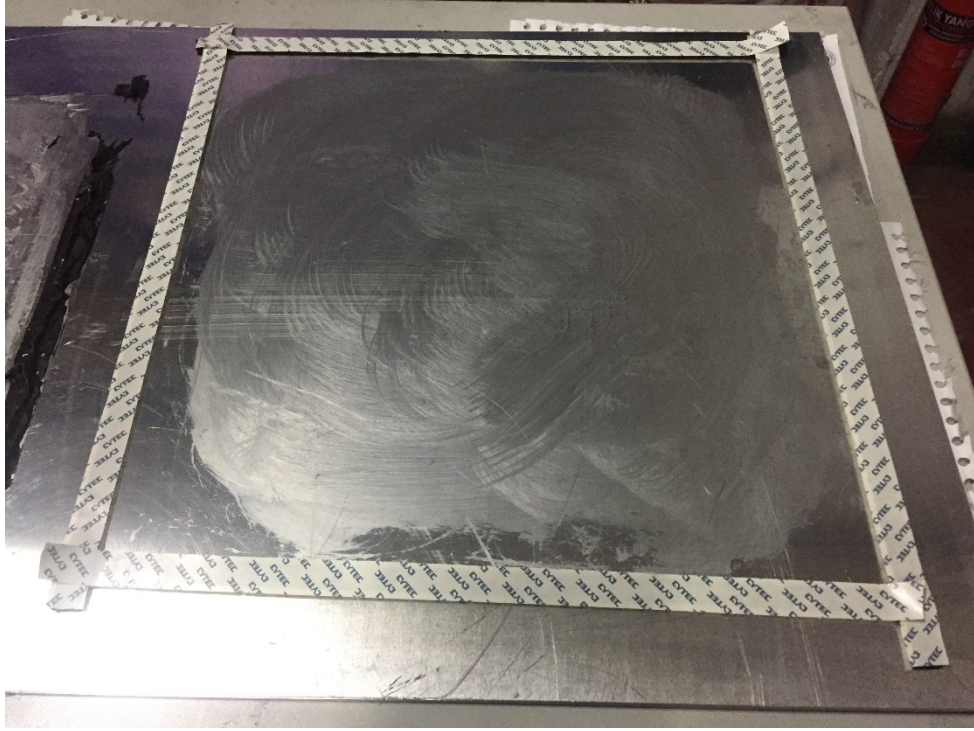
Yapılan bu tez çalışmasında tabakalı hibrit kompozit üretilirken vakum infüzyon yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntemin seçilmesindeki nedenler şu şekilde sıralanabilir:

- Son ürünün matris fazı oranını azaltmak ve takviye fazı oranını artırmaktır. Bunun içinde vakum infüzyon en etkili yöntemlerin başında gelmektedir. Bu sayede takviye fazının kompozite kazandırdığı mekanik özelliklerden en iyi verim alınabilmektedir.

- Takviye fazının matris tarafından eşit şekilde ıslanmasını sağlamak ve epoksi içerisindeki nanoalüminanın homojen olarak dağılmasına yardımcı olmaktadır.
- Vakum infüzyon yöntemiyle üretilen malzemelerde daha kaliteli yüzeyler elde etmek mümkündür.
- Yöntemde vakum kullanılmasından dolayı güçlü arayüzey bağları elde edilmektedir.

Vakum infüzyon metoduyla tabakalı hibrit kompozit plaka üretimi için ilk olarak elyaf kumaşlar 320\*320mm boyutlarında kesildi. Bu ölçüler düşünülen plakanın boyutlarından 10mm fazla olacak şekilde ayarlandı. Buradaki fazla kısmın amacı hata ve düzeltme payı düşünülerek bırakıldı. Orijinal boyutlar 310\*310mm olarak belirlendi. Bu boyutların belirlenmesindeki etken bir sonraki aşamada plakalardan kesilerek hazırlanacak olan deney boyutlarıdır. Fiberlerin hazırlanmasından sonra üretimin yapılabilmesi ve yüzey kalitesini artırmak için numune boyutlarından daha büyük olacak şekilde Al plakalar kestirildi. Tüm bunlar hazırlandıktan ve temin edildikten sonra üretime başlandı. Kompozitler İstanbul Aydın Üniversitesi Aziz Sancar Teknoloji Merkezinde yapıldı.

Düz bir masanın üzerine konulan Al plakaların üzeri vakslanmadan önce saf aseton ile temizlendi ve bir süre boyunca kuruması beklendi. Levha, üretime hazır hale geldiğinde, üretilecek plaka boyutlarından daha büyük ölçüde olacak şekilde çift taraflı bantlar kullanılarak kare bir çerçeve oluşturuldu. Bu alan içerisine, kompozitin yüzeyden daha kolay ayrılması ve yüzey kalitesini artırmak için vakslama işlemi yapıldı. Bu işlem 3 aşamalı olarak yapıldı. Birinci kat vaks sürüldükten sonra kuruması için 5 dakika beklendi ve bu sürenin sonunda 2. Kat vakslama yapıldı. Aynı işlem son bir kez daha uygulandıktan sonra vakslama tamamlandı.



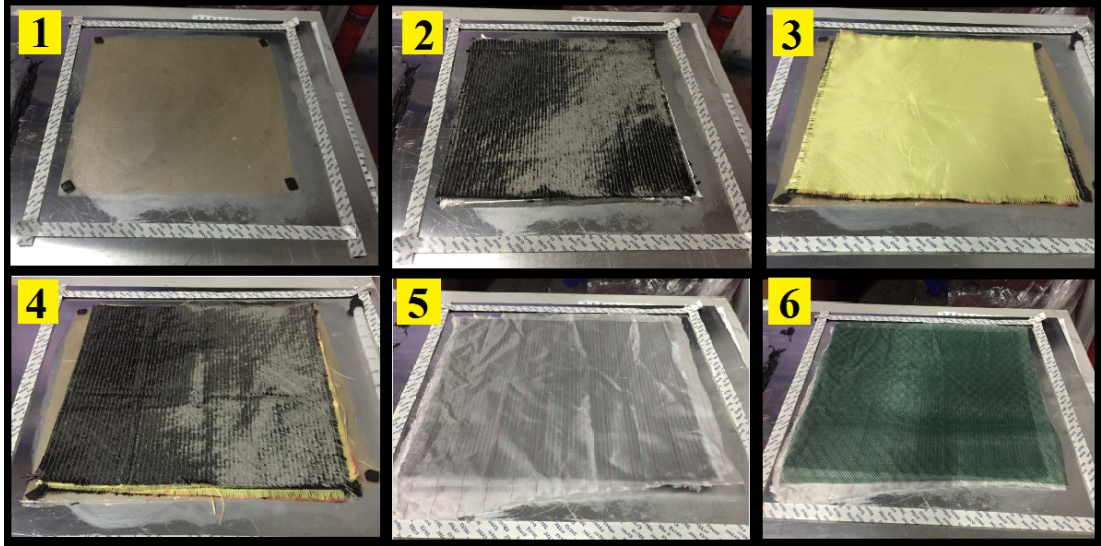
**Şekil 5.4:** Vakslanmış alüminyum plaka

Bu aşamanın ardından daha önce kesilmiş olan karbon – aramid kumaşların mekanik özelliklerinden en iyi şekilde faydalanılabilecek açı ve istifleme sırasına göre üst üste dizildi. Kumaşların üzerine, kompoziti kolayca ayırabilmek için peel – fly ve onun üzerine ise reçinenin akışını sağlamak için akış filesi yerleştirildi.

**Çizelge 5.5:** Kullanılan fiberlerin istiflenme sırası ve açıları

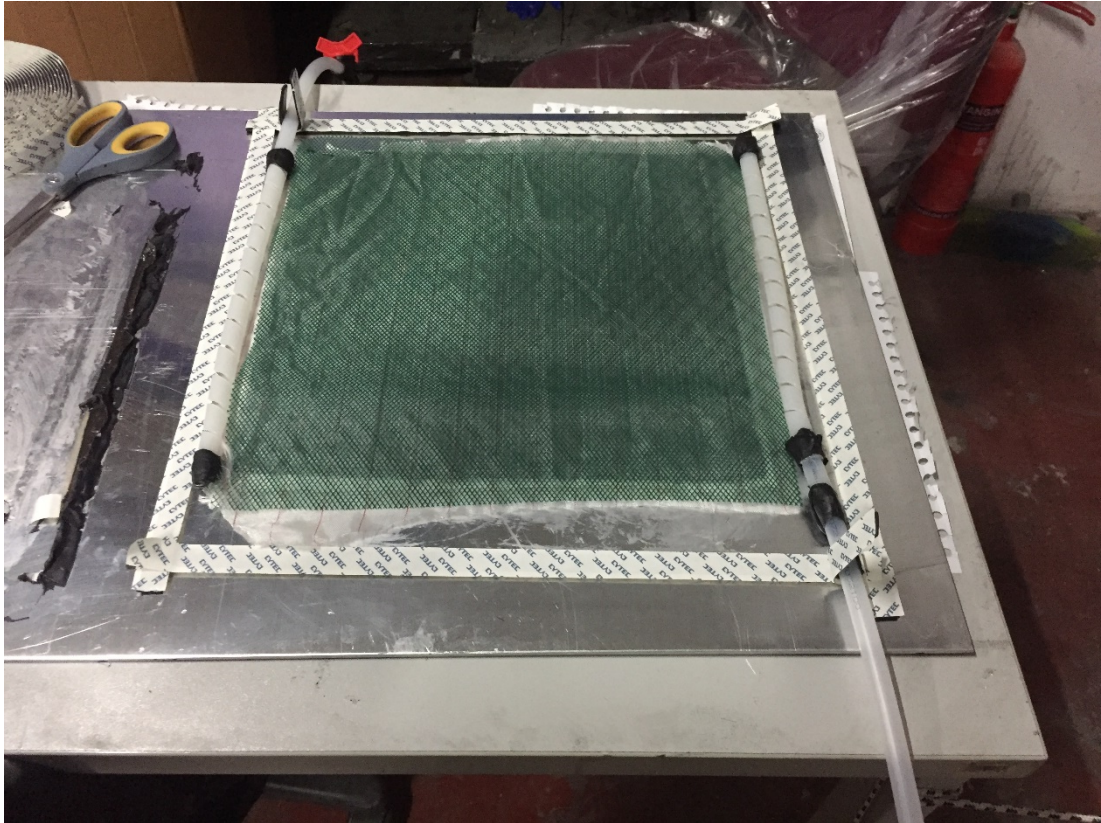
| Numune Kodu | İstifleme Sırası    | İstifleme Açıları              | Kalınlık |
|-------------|---------------------|--------------------------------|----------|
| S1          | K /A /K             | 45° 0° -45°                    | 1.01 mm  |
| S2          | K/ A/ K/ A/ K       | 45° 0° -45° 0° 45°             | 1.57 mm  |
| S3          | K/ A/ K/ A/ K/ A/ K | 45° 0° -45° 0° 45° 0° -<br>45° | 1.69 mm  |





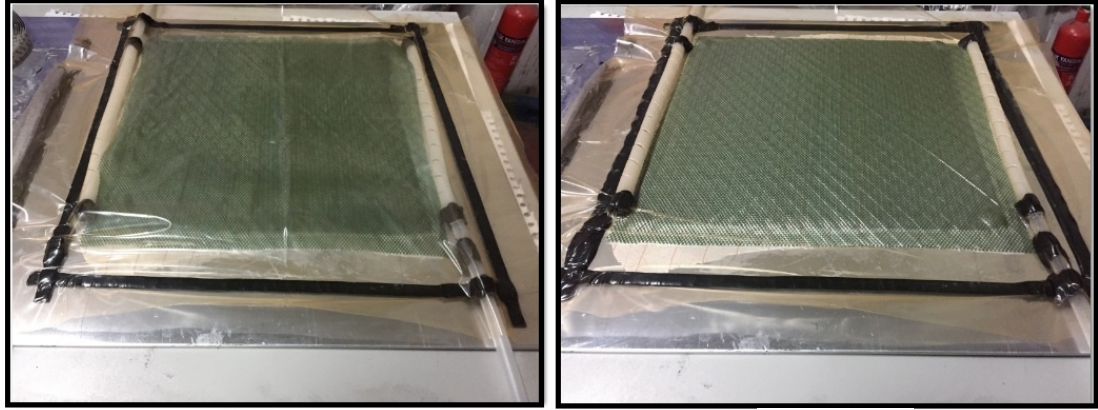
**Şekil 5.5:** 3 katlı hibrit kompozitin üretim aşamaları

Reçinenin giriş ve çıkışını sağlamak için kesilen spiral hortumlar birbirlerine paralel olacak şekilde karşılıklı olarak sabitlendi ve bunlara reçineyi transfer edecek vakum hortumları bağlandı. Bu hortumlar belli bir noktadan kesildi ve akış kontrol vanaları bağlandı. Böylece reçine akışı kolay bir şekilde kontrol altına alındı.



**Şekil 5.6:** Spiral hortum ve akış kontrol vanalarının bağlanması

Son aşama olarak da hazırlanan tüm sistemin üzerini kaplayacak şekilde vakum poşeti kesildi. Daha önceden yapıştırılmış olan çift taraflı bantların da yardımıyla yapıştırılıp vakum için hazır hale getirildi. Vakum pompası -1 atm basınçta çalıştırıldı ve içerisindeki tüm hava sistemin dışına çıkarıldı. 10 dakika boyunca vakumlama işlemi yapıldıktan sonra akış kontrol vanaları kapatıldı. Herhangi bir kaçak olup olmadığını anlayabilmek için sistem kapalı durumdayken belli bir süre boyunca gözlemlendi.



(a)

(b)

**Şekil 5.7:** (a) sistemin vakum torbasıyla kapatılmış hali, (b) sistemin vakumlanmış hali

### 5.2.1 Epoksinin hesaplanması ve hazırlanması

Matris malzemesi olarak kullanılan epoksi, sertleştirici ve reçine olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Hibrit kompozit üretimi için gerekli miktarı belirlemek için epoksi hesabından yararlandı. Bu hesaplama yapılırken, kullanılacak olan fiberler (karbon ve aramid) hassas terzide teker teker tartıldı ve çıkan değerler toplandı. Elde edilen sonucun 2 katı olacak şekilde epoksi hazırlandı. Bu değerlerin %79'u reçine, %21'i ise sertleştiriciden oluştu. Örnek olarak aşağıda 3L tabakalı kompozitin epoksi hesabı verilmiştir:

1 adet karbon fiber ağırlığı 17.46g olarak tartıldı.

1 adet aramid fiber ağırlığı 21,30g olarak tartıldı.

3L kompozit için istifleme sırası K, A, K olacak şekilde üst üste dizildi.

Karbon + Aramid + Karbon toplam ağırlık 56,22g olarak hesaplandı.

Yukarıda da belirtildiği gibi toplam ağırlık 2 ile çarpıldı ve 112,44g bulundu.



|                   |             |
|-------------------|-------------|
| 100g karışım için | 79 g reçine |
| 112,44 g için     | X g reçine  |

---


$$X = \frac{112,44 \cdot 79}{100}$$

$$X = 88,82 \text{ g reçine}$$

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 100g karışım için | 21g sertleştirici |
| 112,44g için      | X g sertleştirici |

---


$$X = \frac{112,44 \cdot 21}{100}$$

$$X = 23,61$$

Hazırlanan bu karışım içerisine %2 oranında 40 nanometre boyutlarında nanoalümina toz ilave edildi. Bu oran 3L kompozit için 2.24g'dır. Kullanılması gereken epoksi miktarı oranlarıyla birlikte yukarıdaki gibi hesaplandı ve hazırlandı.

Epoksi için tüm hesaplama işlemlerinin ardından karışım işlemine geçildi. Belirlenen sertleştirici miktarına ulaşılabilmesi için bir enjektör yardımıyla kaptan alındı ve daha önce hassas terazide tartılan ve darası alınmış olan beher içerisine döküldü. Sertleştiricinin hazırlanmasının ardından nanoalümina kapalı hassas terazide 1 gram olacak miktarda tartıldı ve beher içerisine ilave edildi. Bu elde edilen ilk karışım belli bir süre boyunca ultrasonik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra kalan 1,24 gramlık nanoalümina tekrar beher içerisine döküldü ve tekrar ultrasonik karıştırıcıda karıştırıldı. Bu kademeli ekleme işleminin amacı nano parçaların topaklanmasını önlemek için yapıldı. Sertleştiricinin viskozitesinin reçineye kıyasla daha düşük olmasından dolayı nanolar ilk aşamada sertleştiriciye eklendi. Bu karışım 30 dakika boyunca

30°C’de ultrasonik karıştırıcıda son bir kez daha karıştırıldıktan sonra reçine eklendi ve son basamak olarak mekanik karıştırıcıda sonlandırıldı.



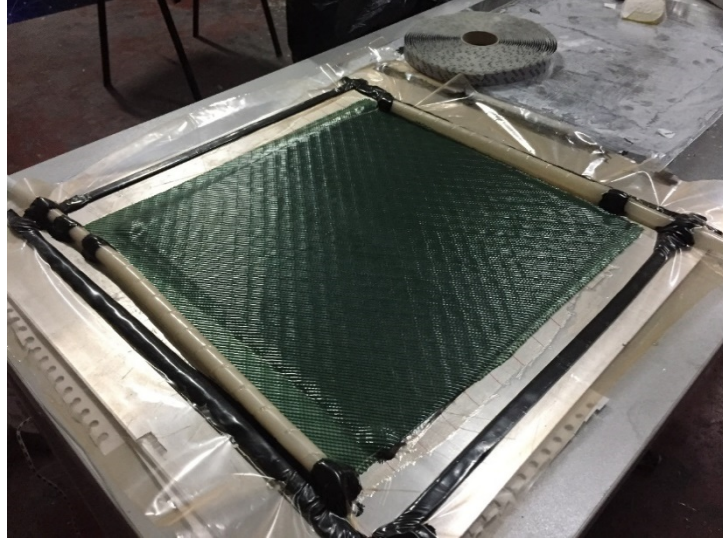
(a)

(b)

**Şekil 5.8:** (a) Reçinenin, sertleştirici alümina karışımına eklenmesi, (b) karışımdan sonraki hali

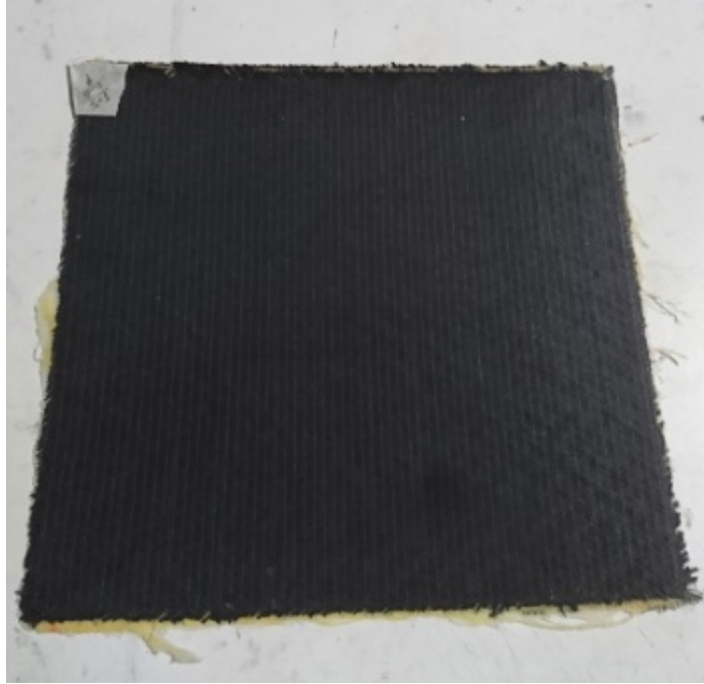
### 5.2.2 Epoksinin sisteme verilmesi

Daha önceden üretim için hazırlanmış olan sistemin giriş kısmında bulunan vakum hortumu içerisinde epoksi olan behere daldırıldı. Girişte ve çıkışta bulunan vakum hortumlarının akış vanaları aynı anda açıldı ve vakum pompasının sağladığı -1 atm basınç yardımıyla epoksi sistem içerisine alındı. Akış takip edildi ve fiberlerin ıslandığından emin olana kadar akış devam ettirildi. Fazla gelen epoksi ise çıkış hortumundan akış tankı içerisinde bulunan kaba akıtıldı.

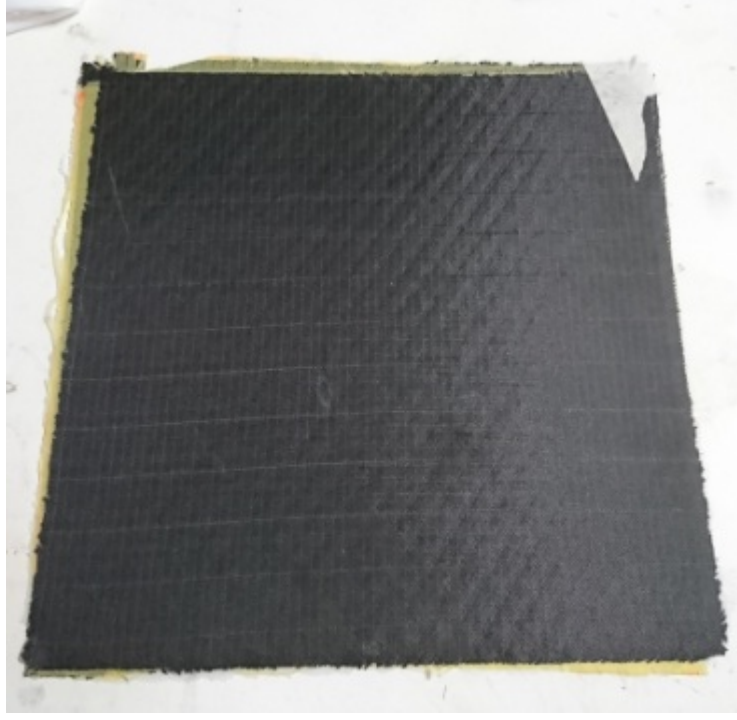


**Şekil 5.9:** Reçinenin sisteme verilmesi

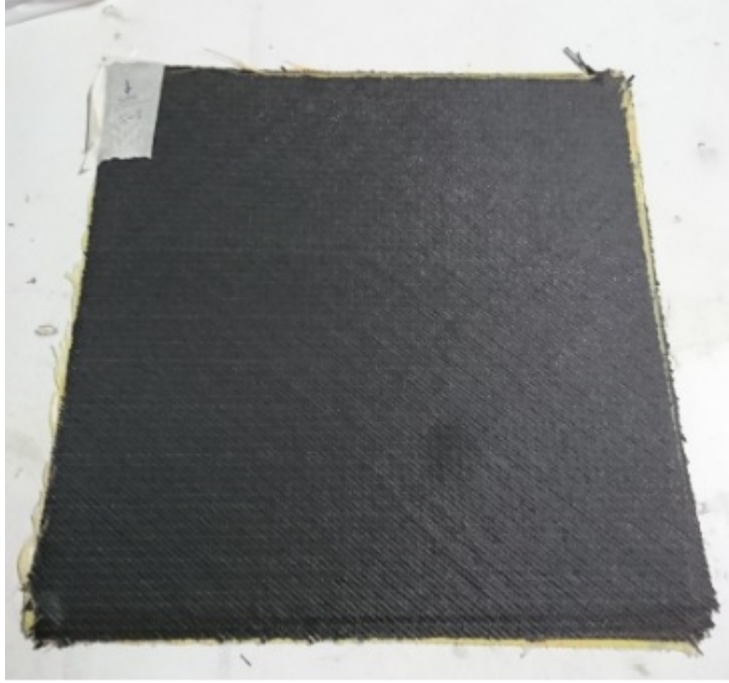
Vakum pompası belli bir süre daha çalıştırıldıktan sonra her iki vanada kapatılarak vakum ortamının korunması sağlandı. Sistem 24 saat boyunca epoksi kurleninceye kadar kapalı halde bekletildi. Bu sürenin sonunda vanalar açılarak vakum boşaltıldı ve kompozit plaka çıkarıldı.



**Şekil 5.10:** 3 katlı numune



**Şekil 5.11:** 5 katlı numune



**Şekil 5.12:** 7 katlı numune

## 6. DENEYLER VE BULGULAR

### 6.1 Yakma Deneyi

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin en önemli değerlerinden birisi fiber ve reçine oranıdır. Bu oranların belirlenebilmesi için iki yöntem mevcuttur. Bunlar kompozitin yoğunluğunun belirlenmesi ve yakma deneyidir. Matris malzemesi polimer reçinelerden seçildiğinde gaz boşluk oranı %1'den az olduğundan boşluksuz olarak kabul edilir. Aşağıdaki formülden faydalanarak hesaplanır (Dinçer, 2013).

$$V_f = (W_f/p_f) / (W_k/\rho_k)$$

Burada:

$W_f$  = Fiber ağırlığı

$P_f$  = Fiber yoğunluğu

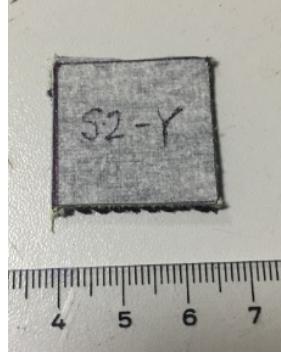
$W_k$  = Kompozit ağırlığı

$P_k$  = Kompozit yoğunluğu

İkinci yöntem olarak, yakma testi standartlarında (ASTM-D2584) kesilen numuneler kullanılan fiber cinsine (kevlar, karbon, cam) göre fırın içerisinde belli bir sıcaklıkta yakılarak polimer reçinenin uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır (Dinçer, 2013).

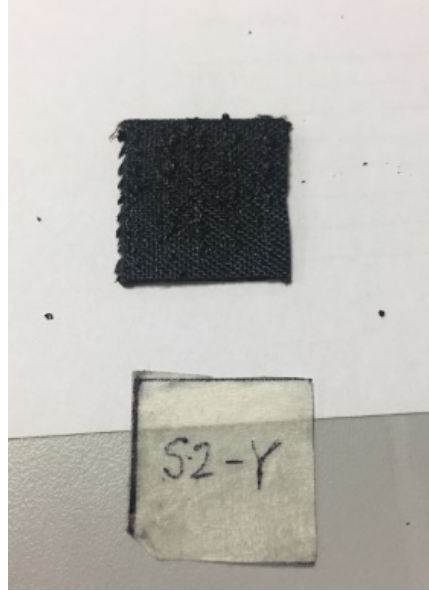
#### 6.1.1 Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı

Bu tezde yukarıdaki yöntemlerden yakma testinden yararlanılarak fiber hacim oranı hesaplanmıştır. Vakum infüzyon yöntemiyle üretilen kompozitten 25\*25 mm boyutlarında yakma numuneleri kullanıldı. Her bir kompozit plaka için bu standartlarda birer numune olmak üzere toplam 3 numune hazırlandı.



**Şekil 6.1:** Yakma testi numunesi

Bu numuneler 0,01mg hassasiyetine sahip hassas terazide tartıldıktan sonra 300°C sıcaklıkta kül fırını içerisine koyuldu ve yarım saat boyunca fırın içerisinde reçine tamamen yakıldı. Bu sürenin sonunda kalan kevlar ve karbon elyaflar tekrar tartıldı ve matris miktarı hesaplandı.



**Şekil 6.2:** 5 katlı numunenin yakma testinden sonraki hali

Çizelge 8'de yakma deneyinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 6.1:** Yakma testi sonucu elde edilen veriler

| Numune Ağırlıklar(g) | / Kompozit Ağırlığı | Fiber Ağırlığı | Uzaklaştırılan matris |
|----------------------|---------------------|----------------|-----------------------|
| <b>3L (S1)</b>       | 0.829               | 0.709          | 0.12                  |
| <b>5L (S2)</b>       | 1.274               | 1.085          | 0.189                 |
| <b>7L (S3)</b>       | 1.367               | 1.191          | 0.176                 |

Yukarıda verilen formülden ve çizelge değerlerinden yararlanarak fiber hacim oranı hesaplandı. 3L kompozitin hesaplanması örnek olarak verilmiştir. Diğer fiber hacim oranları ise çizelge 9’da verilmiştir.

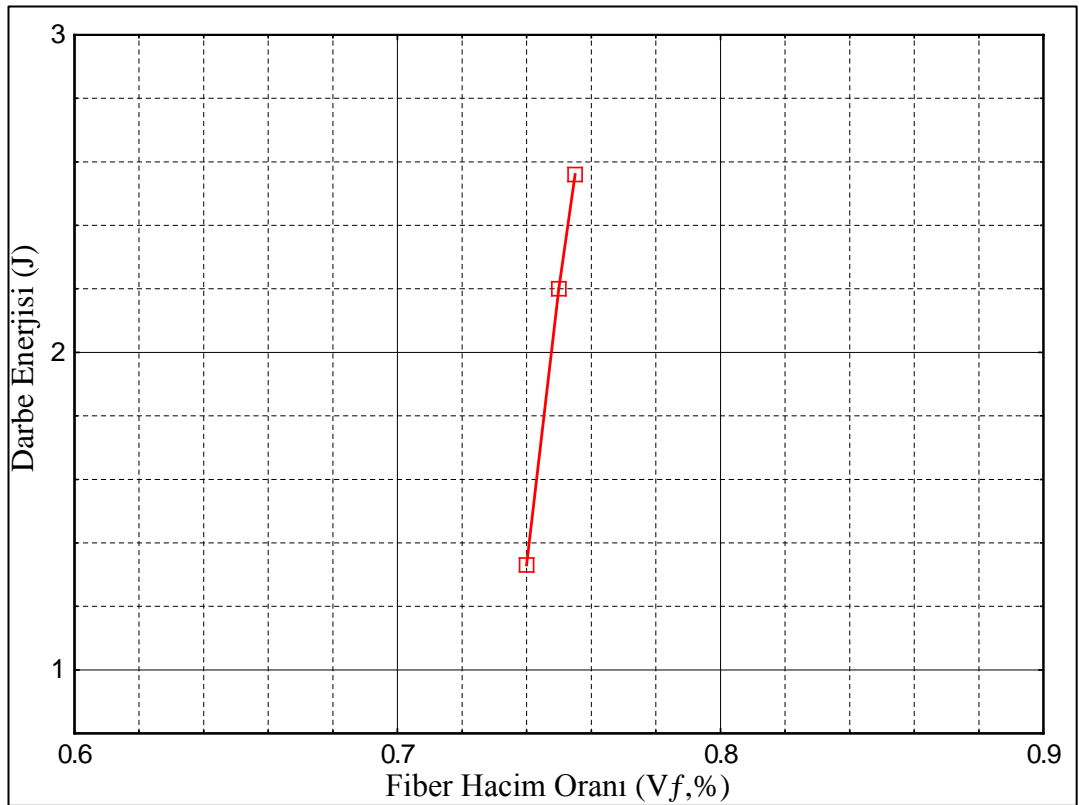
$$V_f = (W_f/\rho_f) / (W_k/\rho_k)$$

$$V_f = (0,709/1,57)/(0,829/1,36)$$

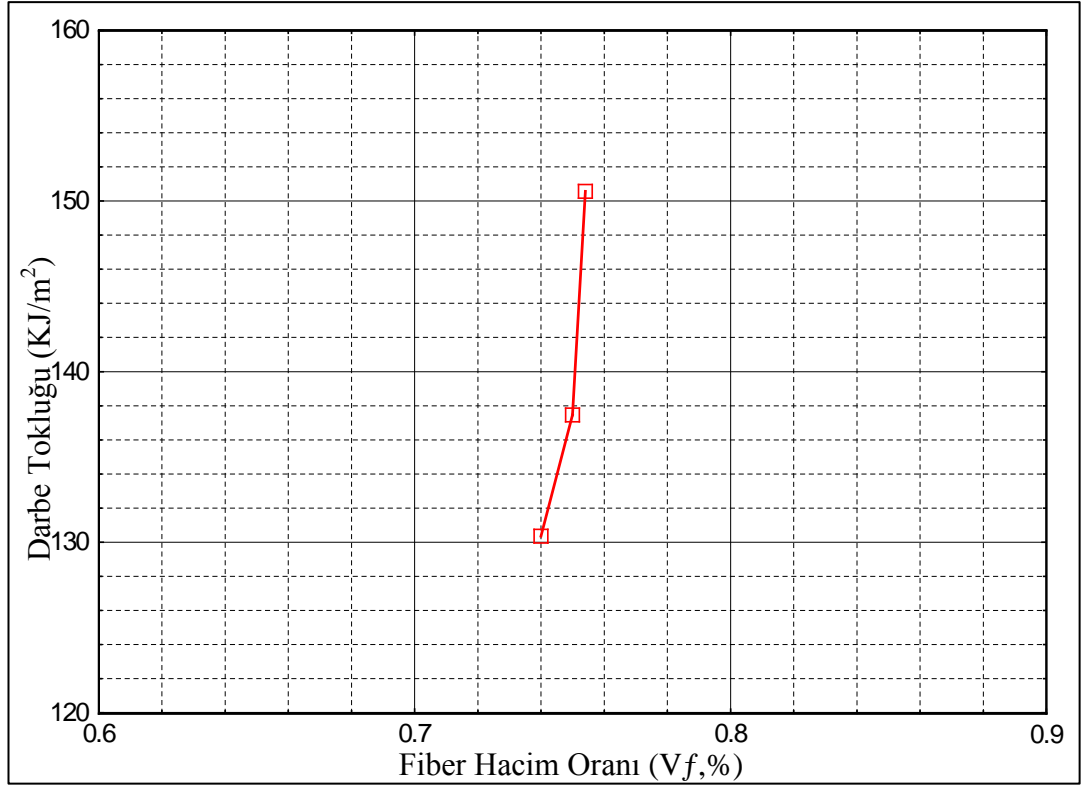
$$V_f = 0,74$$

**Çizelge 6.2:** Numunelerin fiber hacim oranları

| Numune  | Fiber Hacim Oranı(%) |
|---------|----------------------|
| 3L (S1) | %74                  |
| 5L (S2) | %75                  |
| 7L (S3) | %75.4                |



**Şekil 6.3:** Darbe Enerjisi – Fiber hacim oranı grafiği



**Şekil 6.4:** Darbe tokluğu – Fiber hacim oranı grafiği

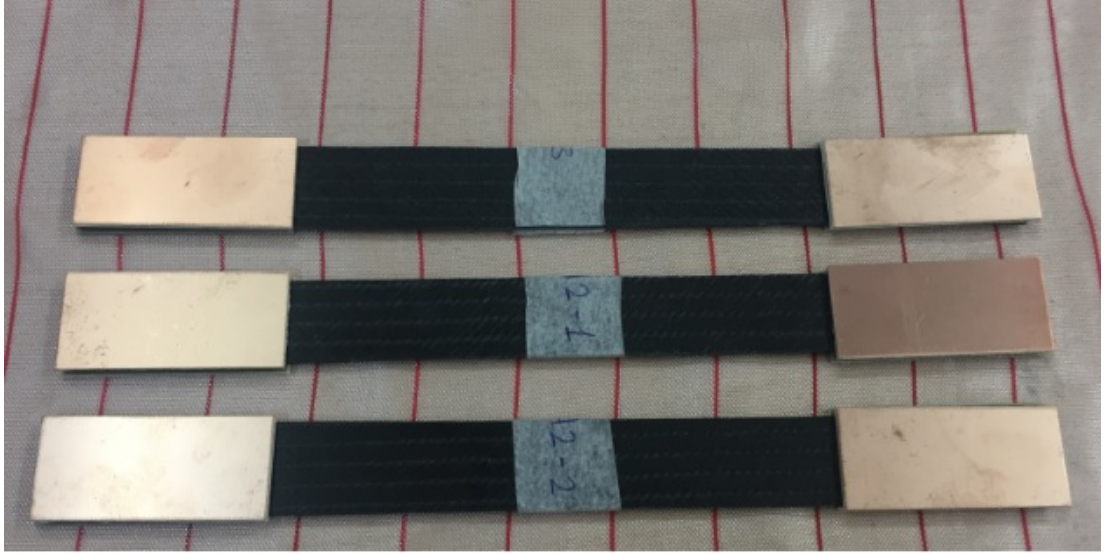
## 6.2 Çekme Deneyi

Çekme deneyi malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir (Yıldızlı, 2011).

### 6.2.1 Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı

Çekme deneyi numuneleri, ASTM D 3039 standartlarına göre 20\*250mm olacak şekilde her plakadan 3'er tane olmak üzere toplam 9 adet hazırlandı. Bu numuneler çekme cihazına bağlanmadan önce ayrı bir işlemde daha geçirildi. Bu işleme tebleme denmektedir. Tebleme, bakır devre kartlarının belli ölçülerde kesilerek güçlü bir yapıştırıcının yardımıyla da numunelerin iki ucuna arkalı önlü olacak şekilde yapıştırılma işlemine denmektedir. Bu işlemin amacı numunelerin çeneler tarafından çekilmesi sırasında kaymayı önlemek ve kompozit malzemeyi çenelerin baskısından korumaktır. Ayrıca hatalı kırılmaları önlemektir.





**Şekil 6.5:** Çekme deneyi numuneleri

Bu deney Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi makineleri Mühendisliği Bölümü gemi mukavemeti laboratuvarında 20 tonluk Alşa çekme cihazında yapıldı.



**Şekil 6.6:** Alşa çekme cihazı

Çekme işlemi oda sıcaklığında ve 3mm/dak çekme hızında yapıldı. Bu işlem numuneler kırılıncaya ya da tamamen deformasyona uğrayana kadar sürdürüldü. Daha sonrasında numuneler cihazdan çıkarıldı ve elde edilen tüm veriler bilgisayar yardımıyla excel dosyasına aktarıldı. Deney sonucu elde edilen veriler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çizelge 10'daki değerler hesaplandı.

*Orantı sınırı* ( $\sigma_o$ ), gerilme – şekil değişimi grafiğinde hooke kanunun geçerli olduğu alanı sınırlayan değerdir.

*Elastiklik sınırı* ( $\sigma_E$ ), numunenin çekme esnasında maruz kaldığı kuvvet ortadan kalktığına plastik şekil değişiminin gözlenmediği veya numunede sadece elastik şekil değişiminin olduğu en yüksek kuvvet değeridir.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

*Akma dayanımı* ( $\sigma_a$ ), uygulanan kuvvetin hemen hemen sabit olmasına rağmen malzemenin geri dönmeyecek şekilde deformasyona uğradığı kuvvet değeridir.

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_o}$$

*Çekme dayanımı* ( $\sigma_\zeta$ ), numunenin kopuncaya ya da kırılıncayadek dayanabileceği maksimum çekme kuvvetidir.

$$\sigma_\zeta = \frac{F_{maks}}{A_o}$$

*Kopma dayanımı* ( $\sigma_k$ ), deney sırasında numune, uygulanan kuvvete dayanmadığında kopma meydana gelir. Buna kopma dayanımı denir.

*Kopma uzaması*, deney boyunca numunenin boyunda oluşan yüzde plastik uzama miktarına denir.

$$\Delta l = l_k - l_o$$

$$KU(\%) = \frac{\Delta l}{l_o} * 100$$

*Kopma büzülmesi*, numunenin kesit alanında ortaya çıkan yüzde büzülme ya da daralma miktarına denir.

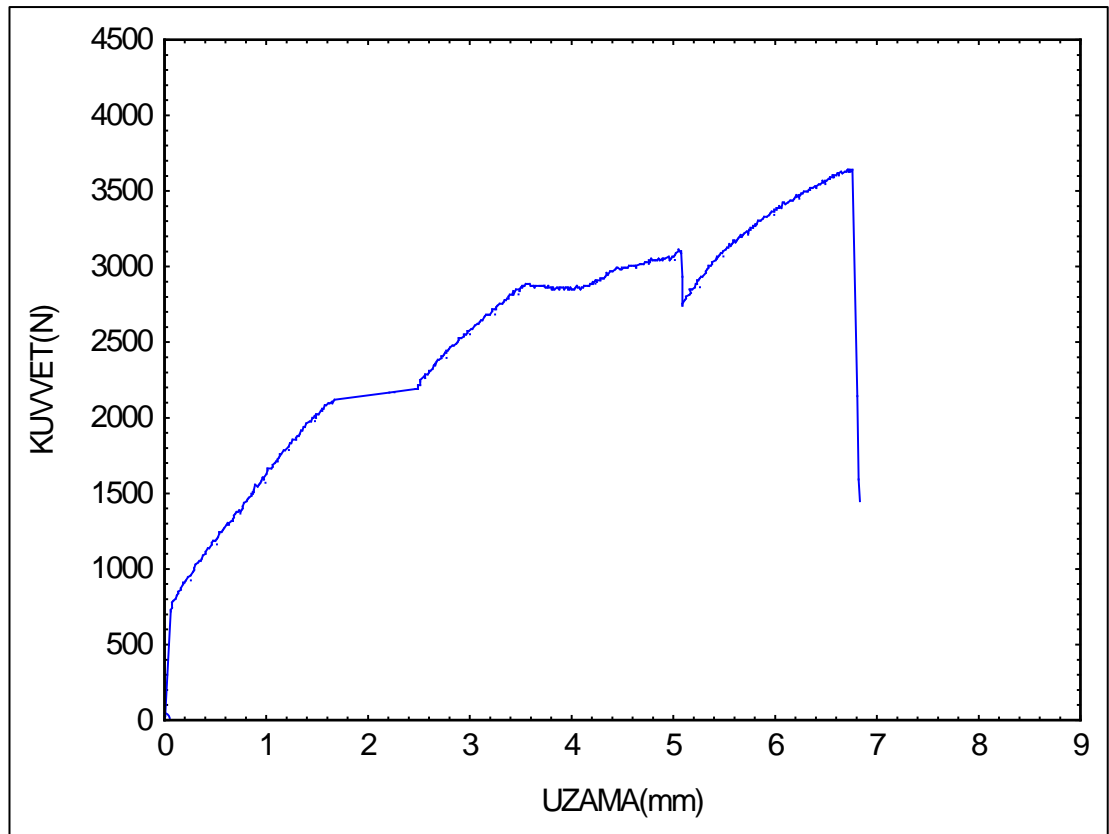
$$KB(\%) = \frac{(A_o - A_k)}{A_o} * 100$$

*Rezilyans*, numunenin elastik şekil değişimi boyunca depoladığı enerji miktarıdır.

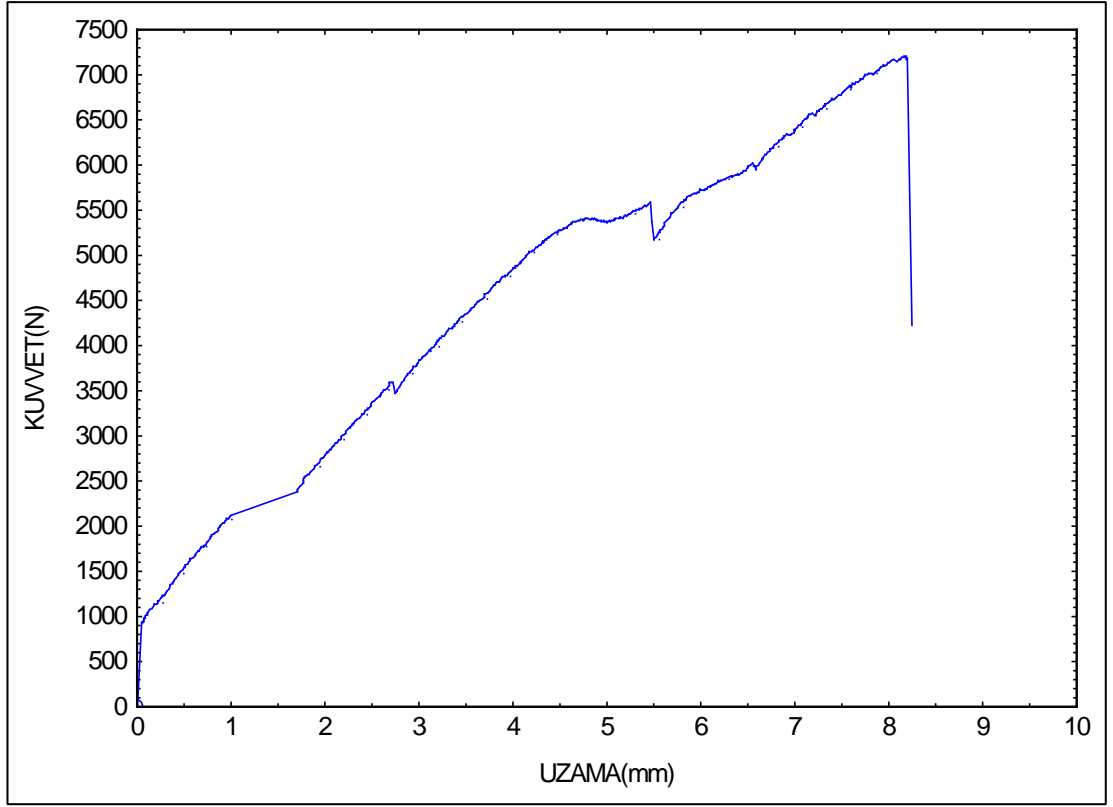
*Tokluk*, numunenin kırılıncaya kadar absorbe edebildiği kuvvet miktarına denir.

**Çizelge 6.3:** Çekme deneyi sonucu elde edilen değerler

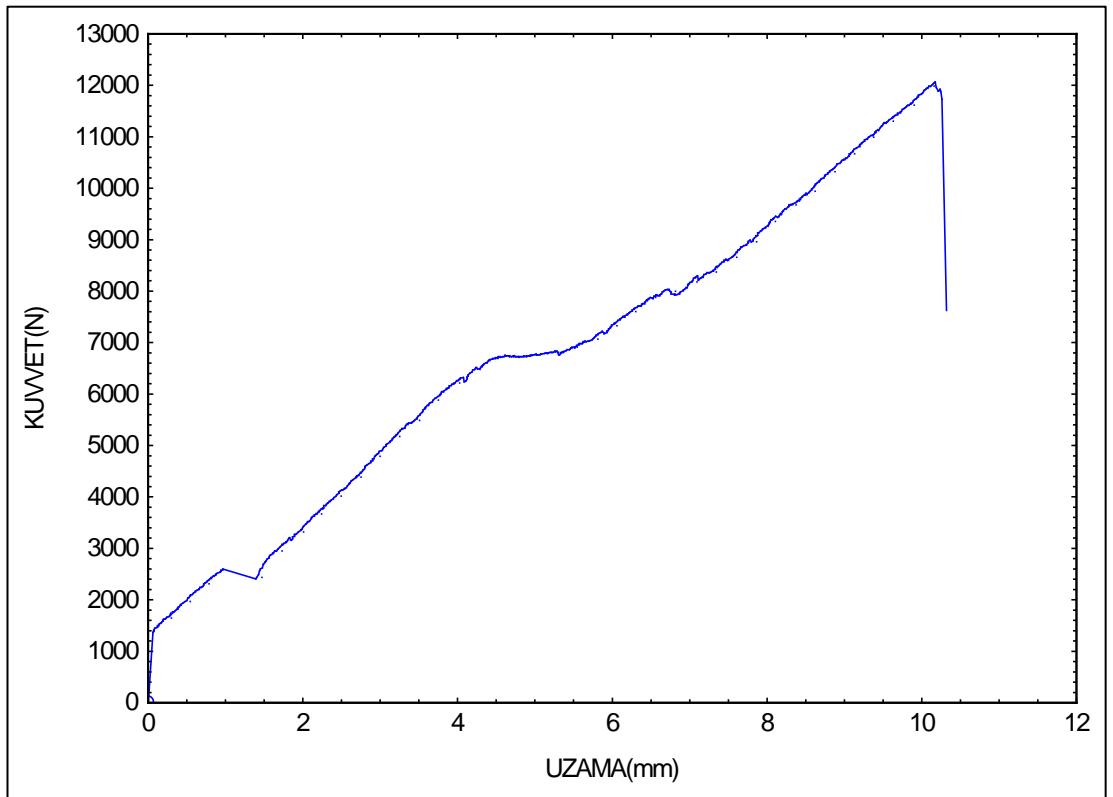
| Hibrit Kompozit Malzemeler |                         |              |            |                                  |            |               |
|----------------------------|-------------------------|--------------|------------|----------------------------------|------------|---------------|
|                            | $\sigma_{max}$<br>(MPa) | $\epsilon$ % | E<br>(GPa) | $\rho_c$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $V_f$<br>% | $H_c$<br>(mm) |
| <b>3L</b>                  | 3639                    | 7.2          | 3.150      | 1.31                             | %74        | 1.01          |
| <b>5L</b>                  | 7207                    | 5.97         | 3.970      | 1.48                             | %75        | 1.57          |
| <b>7L</b>                  | 12067                   | 7.3          | 2.999      | 1.29                             | %75.4      | 1.69          |



**Şekil 6.7:** 3 katlı numune kuvvet – uzama grafiği



Şekil 6.8: 5 katlı numune kuvvet – uzama grafiği



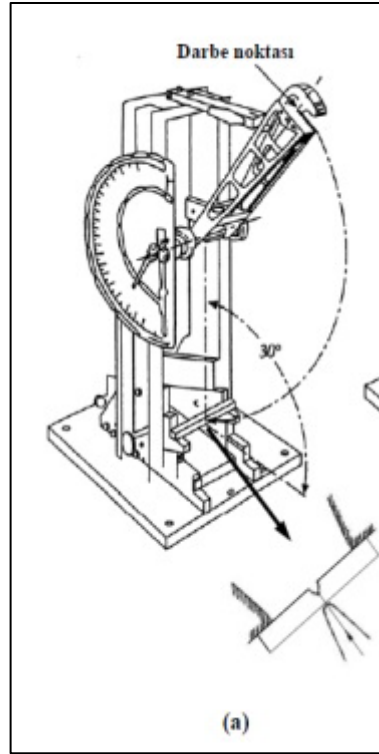
Şekil 6.9: 7 katlı numune kuvvet – uzama grafiği

## 6.3 Darbe Testi

### 6.3.1 Çentik darbe deneyi

Kompozit malzemelere ve ya diğer malzemelere darbe testinin uygulanmasındaki amaç, numunelerin belli koşullarda ve belli darbe yükleri altındaki davranışlarını incelemektir. Kompozit malzemeler için uygulanabilecek 3 farklı darbe deney yöntemi vardır.

Charpy darbe testi genel olarak uygulama şekli izod testine benzemektedir. Çekicinin bırakılmasıyla numunenin kırılması ve darbe enerjisini vermektedir. Fakat bu iki deney düzeneğinin farklılıkları da mevcuttur. Charpy'de numune cihaza dik olacak şekilde değil yatay olarak bağlanmaktadır. Burada kullanılan çekiç de farklılık göstermektedir. Bunlara ek olarak numunenin yatay bağlanmasından dolayı numunenin darbeyi karşıladığı açıda değişmektedir (Reid, 1999).



Şekil 6.10: Çentik darbe deneyi şematik gösterimi

### 6.3.2 Deney numunelerinin hazırlanması ve deneyin uygulanışı

Çentik darbe deneyi için ilk olarak önceden üretilmiş olan tabakalı hibrit kompozit levhalardan ASTM D 6110 standartlarına uygun olarak 10\*80mm

boyutlarında numuneler kesildi. Daha sonra bunlara 2 milimetre derinliğinde 45°'lik çentikler açıldı.



**Şekil 6.11:** Çentik darbe deneyi numuneleri

Darbe testi deneyleri İstanbul Aydın Üniversitesi Aziz Sancar Teknoloji Merkezindeki Devotrans CD 1 C modellen çentik darbe testi cihazında yapıldı.



**Şekil 6.12:** Çentik darbe cihazı

Deney başlamadan önce cihazın kalibrasyonu yapıldı. Bunun ardından hazırlanmış numuneler katman sırasına göre cihaza bağlandı. Bağlama işleminin ardından 12J'luk çekiç  $h_i$  yüksekliğine çıkarıldı. Çekiğin serbest alması için kol çekildi ve numune darbeye maruz bırakıldı ardından çekiç  $h_s$  yüksekliğine çıktı. Parçanın kaç J'de kırıldığını okumak için ibrenin durduğu nokta okundu. Bu işlem her kompozit numune için (3L, 5L, 7L) 3 kere tekrarlandı. Her bir numunenin 3 değeri de not alınarak ortalaması bulundu.

**Çizelge 6.4:** Çentik darbe deneyi sonucu elde edilen kırılma enerjileri

| İstifleme sayısı/numune | 1. Numune | 2. Numune | 3. Numune | Ortalama |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>3L (S1)</b>          | 1.4       | 1.2       | 1.4       | 1.33     |
| <b>5L (S2)</b>          | 2.4       | 2.3       | 1.9       | 2.2      |
| <b>7L (S3)</b>          | 2.3       | 2.5       | 2.9       | 2.56     |

$$Kc = Ke/(bh)$$

Yukarıdaki bağıntıdan  $Kc$  darbe tokluğu ( $\text{kJ/m}^2$ ),  $Ke$  darbe enerjisi (j),  $b$  ve  $h$  sırasıyla numune yüksekliği ve kalınlığıdır.

**Çizelge 6.5:** Hesaplanan darbe tokluğu değerleri

| Numune kodu | Tabaka sayısı | Darbe Enerjisi (E, J) | Darbe Tokluğu ( $K_c$ , $\text{kJ/m}^2$ ) |
|-------------|---------------|-----------------------|---|
| <b>S1</b>   | 3             | 1.33                  | 131.6                                     |
| <b>S2</b>   | 5             | 2.2                   | 140.1                                     |
| <b>S3</b>   | 7             | 2.56                  | 151.4                                     |



**Şekil 6.13:** 3 katlı numunenin kırılma alanının mikro görüntüsü



**Şekil 6.14:** 5 katlı numunenin kırılma alanının mikro görüntüsü



**Şekil 6.15:** 7 katlı numunenin kırılma alanının mikro görüntüsü



## **6.4 Hasar Analizi ve Sem Görüntüleri**

Tabakalı kompozit malzemelerde charpy testi uygulandığında darbe bölgesinde ve darbenin olmadığı bölgelerde çeşitli hasarlar meydana gelmektedir. Bunlar çoğunlukla gözle görülmeyecek boyutlarda hasarlardır. Bu hasarlara etki eden en önemli faktörler seçilen matris malzemesinin özellikleri, takviye fazı (fiberler) özellikleri, arayüzey ve fiberlerin istiflenme açısıdır. Bunların yanı sıra uygulanan kuvvet (düşük veya yüksek hızlı darbe), ortam koşulları da hasar mekanizması üzerinde etkilidir(Yıldızhan, 2013).

Kompozit malzemedeki darbe etkisiyle matris çatlağı, delaminasyonlar ve fiber hasarı meydana gelmektedir. Düşük hızlı darbelere maruz kaldığında ilk hasar matrisin çatlamasıyla başlar ve arayüzeyde delaminasyonlar oluşur. Darbe enerjisinin devam etmesi durumunda ise fiberlerde kopmalar ortaya çıkmaktadır(Yıldızhan, 2013).

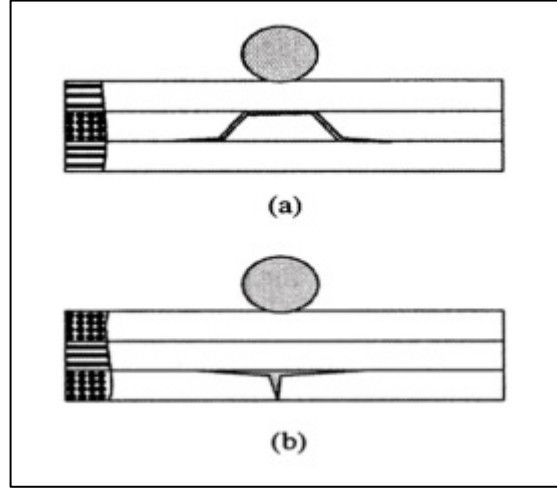
### **6.4.1 Matris hasarı**

Bir kompozit malzemenin darbeyi absorbe edebilme yeteneği matris malzemesinin tokluk özelliğine bağlıdır. Bu konu üzerine yapılan çalışmaların sonucu baz alındığında termoplastiklerin tokluk özelliklerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Buradan yola çıkıldığında termoplastik kompozitler de daha az matris hasarının ortaya çıktığı gözlemlenmektedir (Sierakowski ve Chatuverdi, 1997) ve Chatuverdi, 1997).

Matris hasarı, darbenin uygulanmasından sonra yüzeyde oluşan yüksek gerilmeler sonucunda başlar ve karmaşık şekilde birçok matris hasarı oluşur. Bunların nasıl oluştuğunu veya nasıl ilerlediğini tahmin etmekse oldukça güçtür. Matris hasarıyla başlayan hatalar tabaka yüzeylerinde delaminasyonlarında oluşmasına neden olur (Sierakowski ve Chatuverdi, 1997) ve Chatuverdi, 1997).

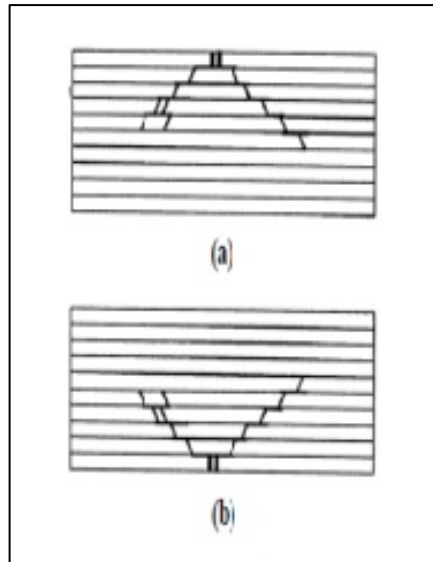
Matriste oluşan hatalar çeki ve kayma olmak üzere iki farklı şekilde görülebilir. Çeki çatlağı, kompozit içinde bulunan gerilmelerin fibere dik olan doğrultusundaki mukavemetin aşılmasıyla meydana gelir. Kayma ise orta katmandaki bir açıda oluşur. Bu iki hasar incelendiğinde kayma gerilmelerinin

çatlağın meydana gelmesinde önemli bir yere sahip olduğu gözlenir (Yıldızhan, 2013 ve Sierakowski, 1997).



**Şekil 6.16:** Matris hasarı

Numune kalınlığı da matris hasarında farklılıklara yol açmaktadır. Numunenin kalın olması durumunda hasar ilk tabakada meydana gelirken ince olan numunelerde en alt tabakada matris çatlağı gerçekleşir. Kalın numunelerde çatlak yukarıdan aşağıya doğru ilerler, ince de ise aşağıdan yukarıya doğru ilerlemektedir (Yıldızhan, 2013 ve Sierakowski, 1997).



**Şekil 6.17:** (a) kalın numunelerde meydana gelen matris çatlağı, (b) ince numunelerde meydana gelen matris çatlağı

### **6.4.2 Delaminasyonlar**

Delaminasyon, iki farklı tabaka arasındaki arayüzün ayrılmasıyla meydana gelmektedir. Bu ayırım kompozit malzemenin mukavemetinin büyük ölçüde azalmasına sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu bu hasarın yalnızca farklı fiber açlarına sahip tabakalarda meydana geldiği ortaya çıkmıştır ve hasar kompozit yapıda birden fazla arayüzde oluşmaktadır (Yıldızhan, 2013).

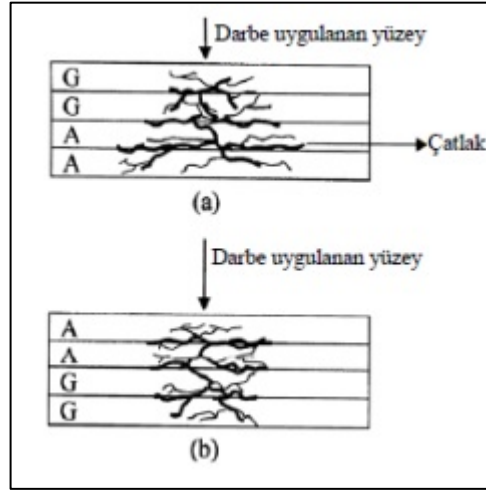
Delaminasyona sebep olan kinetik enerji değerini saptamak oldukça zordur. Bu enerjiyi belirlemek için testin birden fazla yapılmasına gerek duyulur. Ortaya çıkan hasar şekilleri değildir. Ayrıca yönlerin belirlenmesi de zordur. Delaminasyonlu alanın oluşması için vurucunun küçük miktarda enerjiye sahip olması gerekir. Daha sonra darbe enerjisi artıkça da delaminasyon boyutu da doğru orantılı bir şekilde artmaktadır (Yıldızhan, 2013).

### **6.4.3 Fiberler**

Kompozit üretiminde tercih edilen fiberler, oluşabilecek hasarın tespitinde ve hasarın en aza indirgenmesinde önemli bir yere sahiptir. Kullanılan fibere göre kompozit malzemenin uygulanan darbe enerjisini absorbe etme yeteneği daha fazla olabilmektedir. Bunun sonucunda da fiber kırılması daha az olmaktadır. Kırılma direncinin yüksek olması istenilen kompozitler üretilirken, yüksek tokluğa sahip matris (reçine) malzemesi seçilmelidir. Ayrıca twill örgüye sahip fiber ya da fiberleri en uygun istifleme açılarıyla dizecek şekilde tabakalar oluşturulmalıdır. Böylece kompozit malzemenin darbelere karşı direncinde artmaya sebep olur. Fiber malzemenin elastik modülü matris malzemelerinin elastik modülüyle kıyaslandığında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak da fiberlerin, matris hasarı ve delaminasyonların oluşması üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir (Park ve Jang, 2001).

Cam ve karbon fiberlerin gevrek yapılarından dolayı, darbeye maruz kaldığı bölgelerde ve bu bölgeye yakın alanlarda yüksek gerilmeler ortaya çıkmasından dolayı bölgesel delaminasyonlar oluşur ve darbe enerjisi o alanda karşılanır. Aramid kompozitler ise esnek yapılarından dolayı darbe enerjisi tabakalar içinde yayılır ve deformasyon daha büyük bölgelere yayılır. Bu da kompozitin tamamen deforme olmasına sebep olur.

Cam – aramid ya da karbon – aramid gibi rijit ve esnek fiberlerin bir araya getirilmesiyle oluşan hibrit kompozitlerin darbe davranışlarıysa fiberin konumuna göre değişiklik göstermektedir. Eğer aramid darbenin uygulandığı yüzeyde bulunuyorsa ve alt tabakalarda rijit bir fiber varsa (karbon veya cam) hasarın yayılması engellenmiş olur. Fakat darbe enerjisinin uygulandığı yüzeyde rijit bir fiber varsa ve alt tabakada aramid fiber varsa enerjinin büyük miktarı absorbe edilir (Park ve Jang, 2001).



**Şekil 6.18:** Fiber hasarı şematik gösterimi

#### 6.4.4 Sem görüntüleri

Çentik darbe testi sonucu deformasyona uğrayan numunelerin sem görüntüleri alındı. Bu test numunelerinin seçilmesindeki amaç kırılan yüzeydeki fiberleri incelemek ve hasar analizi yapmaktır. Bunların yanı sıra reçine içerisine katılmış olan nanoalüminaların homojen bir şekilde dağılıp dağılmadığını kontrol etmektir.

Numuneler SEM cihazına yerleştirilebilmek için uygun boyutlarda kesildi. Elektronların numuneleri analiz edebilmesi için görüntüleme öncesinde kaplama yapıldı. Bu kaplama Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarındaki QUORUM marka cihazda yapıldı.



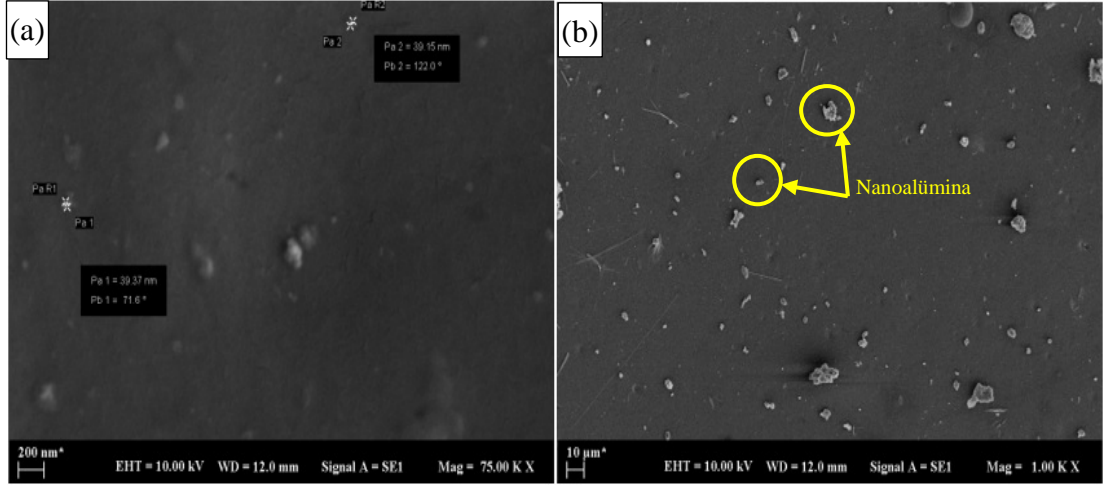
**Şekil 6.19:** Kaplama cihazı

Kaplama malzemesi olarak altın – paladyum kullanıldı. Bu işlem 10 miliamperde 120 saniye boyunca  $2-4 \cdot 10^{-2}$  milibar basınç altında gerçekleştirildi. Sem numunelerinin üzerinde 3 nanometre kalınlığında bir kaplama yüzeyi elde edildi.



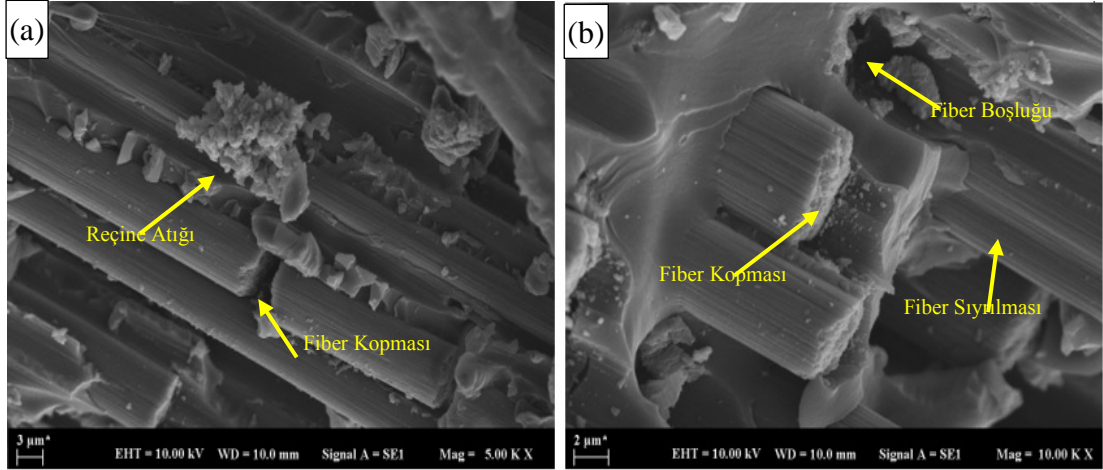
**Şekil 6.20:** Au – Pd ile kaplanmış numuneler

Kaplama işleminin ardından SEM görüntüleri alınmıştır.



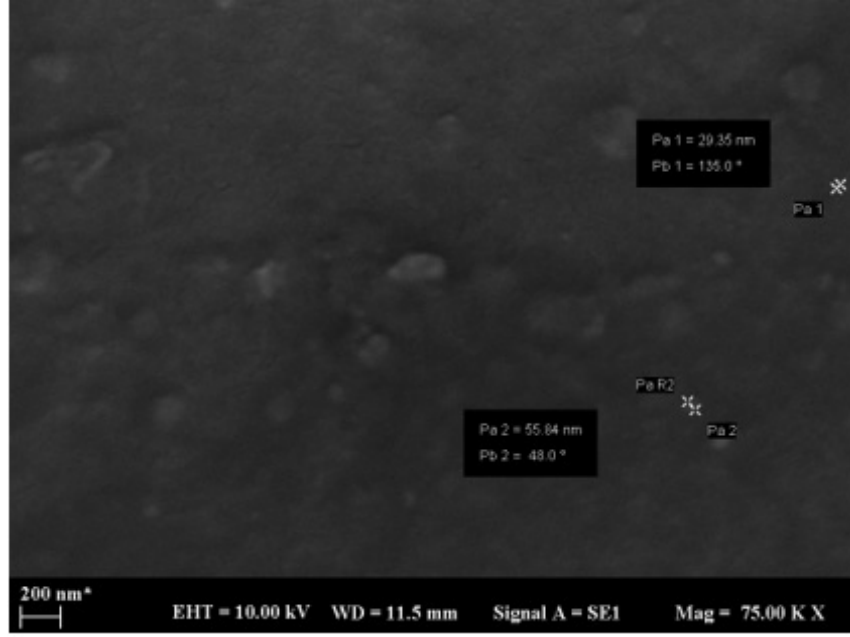
**Şekil 6.21:** 3 katlı numenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri

(a) görüntüsünde 75.00KX büyütmede belirlenen nano partiküller cihaz tarafından boyutlandırılması görülmektedir. (b) görüntüsünde ise 1.00KX büyütmeden nano partiküllerin dağılımı görülmektedir.



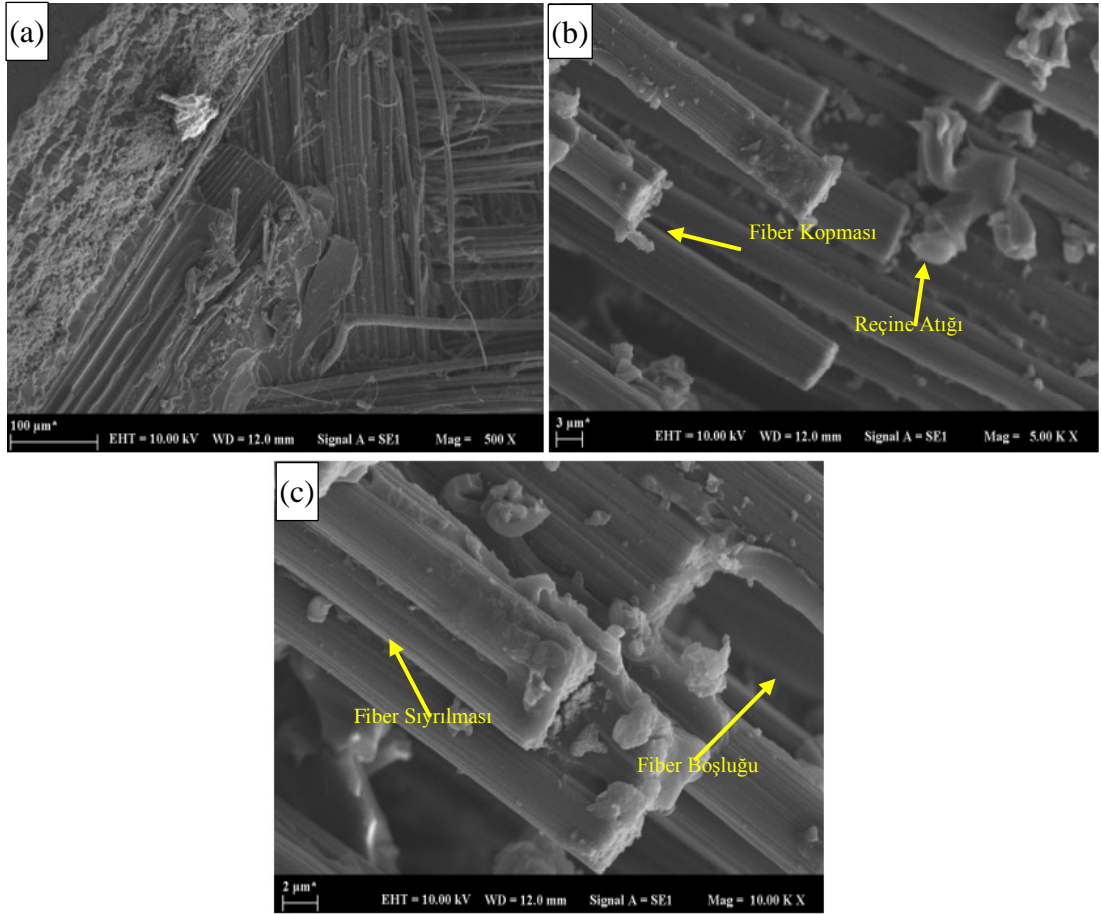
**Şekil 6.22:** 3 katlı numunenin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri

S-1 numunesinin kırılma yüzeyinden alınan görüntülerden (a) 5.00KX görüntüsünde reçine atığı ve fiber kopması, (b) 10.00KX görüntüsünde ise fiber kopması, fiber boşluğu ve fiber sıyırılması olduğu görülmektedir.



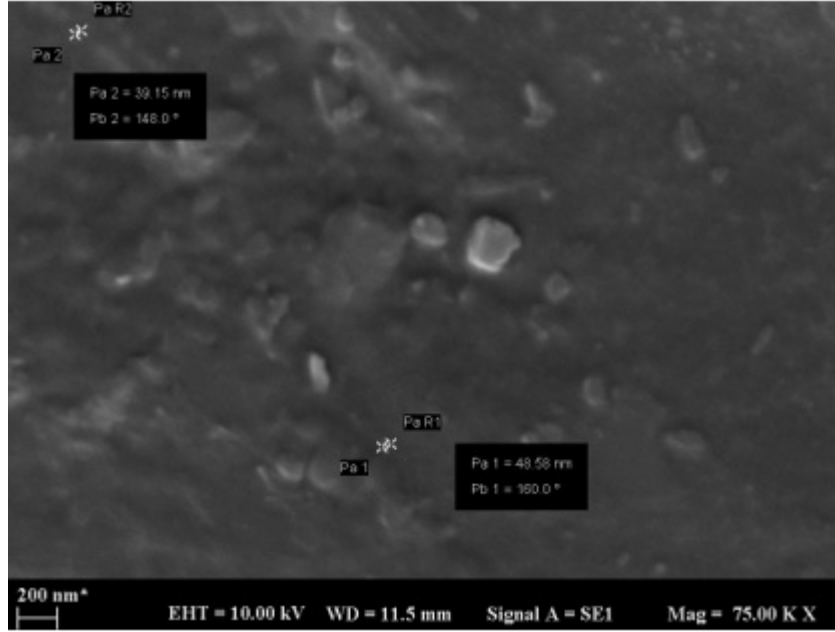
**Şekil 6.23:** 5 katlı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüsü

Yukarıda S-2 numunesinin 75.00KX büyütmedeki yüzey görüntüsü verilmiştir. Görüntüde cihaz tarafından boyutlandırılmış nano partiküller görülmektedir.



**Şekil 6.24:** 5 katlı numunenin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri

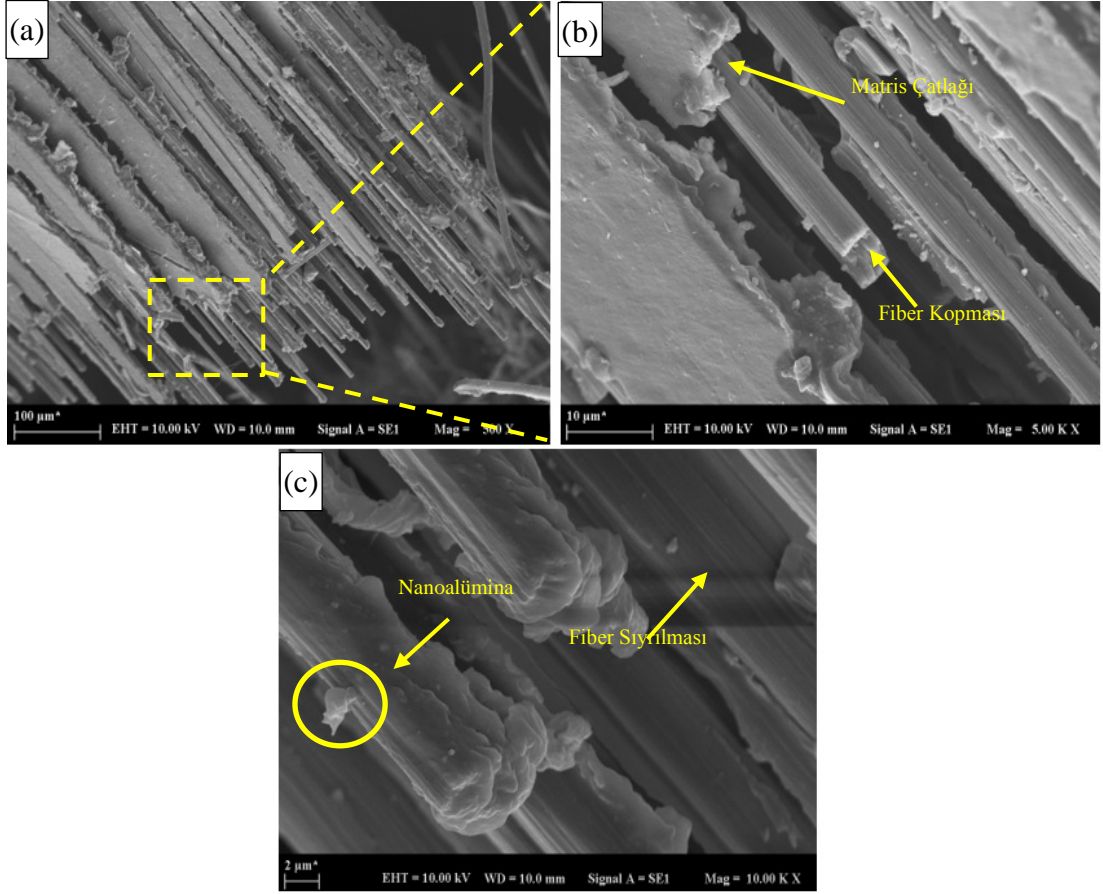
S-2 numunesinin kırılma yüzeyinden 500X, 5.00KX ve 10.00KX büyütmede alınan görüntüler verilmiştir. (a) karbon ve kevlar fiberler görülmektedir. (b) fiber kopması ve reçine atığı (c) görüntüsünde de fiber sıyrılması ve fiber boşluğu görülmektedir.



Şekil 6.25: 7 katlı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüsü

Yukarıda S-3 numunesinin 75.00KX boyutundaki yüzey görüntüsü verilmiştir. Görüntüde cihaz tarafından boyutlandırılmış nano partiküller görülmektedir.





Şekil 6.26: 7 katlı numunenin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri

S-3 numunesinin kırılma yüzeyinden 500X, 5.00KX ve 10.00KX büyütmede alınan görüntüler verilmiştir. (b) görüntüsünde matris çatlağı ve fiber kopması olan bölgeler, (c) görüntüsünde ise nanoalümina ve fiber sıyırılması gösterilmiştir.

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada tabakalı hibrit kompozit üretimi yapılmıştır. Tabakalar için karbon ve kevlar fiberler kullanılmıştır. Matris malzemesi için epoksi reçine tercih edilmiştir ve epoksi içerisine 40nm boyutunda alüminalar eklenmiştir. Üretim sonunda 3L, 5L ve 7L katlı kompozit malzemeler elde edilmiştir. Bu numunelerin, mekanik özelliklerini belirlemek için yakma, çekme ve çentik darbe deneyleri uygulanmıştır. Son olarak da malzemelerin hasar analizi yapılmış ve SEM görüntüleriyle desteklenmiştir.

Deney sonuçları ve bulgular:

- Yakma testi verileriyle elde edilen değerlere göre 3, 5 ve 7 katlı numunelerin fiber hacim oranları sırasıyla %74, %75 ve %75.4 olarak hesaplandı.
- Çekme deneyi sonucu 3, 5 ve 7 katlı numunelerin çekme dayanımı sırasıyla 3639 MPa, 7207 MPa ve 12067 MPa olarak ölçülmüştür. Bu verilere dayanarak katman sayısı artıkça çekme dayanımı da artmaktadır.
- Çentik darbe deneyiyle numunelerin kırılma enerjileri ölçülmüştür. Bu değerler 3 katlı numune için 1.33J, 5 katlı numune için 2.2J ve 7 katlı numune için 2.56J olarak ölçülmüştür.
- Kırılma enerjileri kullanılarak numunelerin darbe tokluk değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler 3 katlı numune için  $130.4 \text{ kJ/m}^2$ , 5 katlı numune için  $137.5 \text{ kJ/m}^2$  ve 7 katlı numune için  $150.6 \text{ kJ/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Çentik darbe deneyi sonucu elde edilen darbe enerjisi ve darbe tokluğu değerleri göz önüne alındığında fiber hacim oranı artıkça bu değerler de artmaktadır.
- SEM görüntüleri incelendiğinde epoksi reçine içerisine ilave edilen nanoalüminaların homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.

- Yapılan hasar analizi sonucu ve elde edilen SEM görüntülerine dayanarak numunelerde görülen hasar tipleri fiber kopması, fiber sıyrılması ve matris çatlağı olarak tespit edilmiştir. Bu hasarların yanı sıra kırılma yüzeylerinde matris atıkları görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Arıcasoy, O.** (2006). “İstanbul Ticaret Odası Kompozit Sektörü Raporu”. İstanbul.
- Balbay, A.** (2018). “Kompozit Levhaya Nanopartikül Katkısının Mekanik ve Burulma Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Beşergil, B.** (2016). “Kompozitler Temel İlkeler”. ISBN: 978-605-344-391-9, Ankara.
- Bulut, M.** (2017). “Investigation of Impact Behavior of Laminated Hybrid Composite Plates”. Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Can, M.F.** (2008). “Sepiyolit/Epoksi Nanokompozit Üretimi ve Karakterizasyonu”. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canan, F.** (2007). “Açılı Yüzey Çatlaklı Cam Epoksi Kompozit Malzemelerin Kırılma Davranışları”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Correia, N.C.** (2002). “Use of Resin Transfer Molding Simulation to Predict Flow Saturation and Compaction in the Vartm Process”. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, New Orleans.
- Çelikkanat, A.B.** (2002). “Teknik Tekstiller”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirci, M.T.** (2015). “SiO<sub>2</sub> Nanopartikül Katkısının Yüzey Çatlaklı Ve Çatlaksız Bazalt Elyaf Takviyeli Kompozit Boruların Yorulma Davranışlarına Etkisi”. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Demirel, A.** (2007). “Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dincer, C.** (2013). “Yüzey Çatlaklı Tek Yönde Takviyeli Cam Epoksi Kompozit Malzemelerde Kırılma Davranışının İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dursun, İ.** (2018), “Cam Elyaf Takviyeli Polimerlerin Değişik Sıcaklıklarda Mekanik Davranışları” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Ellis, B.** (1993). ”Chemistry and Technology of Epoxy Resins”. Blackie Academic&Professional, London.
- Erkendirci, Ö.F.** (2012). “Charpy Impact Behavior of Plain Weave S-2 Glass/HDPE Thermoplastic Composites”. Journal of Composite Materials, 46:2835, DOI: 10.1177/0021998311433059, ABD.
- Ertürk, S.** (2012). “Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi İle Volfram Çekirdekli Bor Fiber Üretiminde Sistem Tasarımı” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Gardziella, A., Pilato, L.A.**, (1999). “Phenolic Resins Chemistry, Applications” Standardization, Safety and Ecology, Springer-Verlag,
- Gençoğlu, M.** (2011). “Tabakalı Kompozit Levhalara Burkulma Analizi”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hossain, M.** (2015). “Carbon – Kevlar Reinforced Hybrid Composite: Impact of Matrix Variation”. International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy, Bangladesh.
- Hui, L.** (1998). “Synthesis, Characterization and Properties of Vinyl Ester Matrix Resins”. Doctor of Philosophy, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University
- Jagger. D.C., Harrison, A. Jandt, K.D.** (1999). “The reinforcement of dentures J Oral Rehabil”. 26: 185-194.
- Karacaer, Ö.** (2001). “Karbon, Aramid ve Polietilen Fiber ile Güçlendirilen Protezlerin Değerlendirilmesi”. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, Sayı: 6 31 – 35.
- Karadağ, M.** (2017). “B<sub>4</sub>C Partikül Takviyeli Bakır Matrisli Elektrik İletken Kompozit Üretimi”. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kaybal, H.B.** (2015). “Karbon Nanotüp Takviyeli Karbon Elyaf – Epoksi Nanokompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Delme Parametrelerinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kayıran, H.F.** (2018). “Farklı Ortam Koşullarına Maruz Hibrit Kompozit Plakalarda Burkulma Davranışının İncelenmesi”. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Khakzad, F.** (2017). “Grafen Katkılı Cam/Epoksi Nanokompozit Plakaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mağdala, M.Ö.** (2009), “Isı Kalkanları İçin Kalıplanabilir Karbon Fenolik Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mazumdar, S.K.** (2001). “Composites Manufacturing Materials, Product and Process Engineering”. CRC Press, ABD, ISBN 0-8493-0585-3 kompozit malzemelere giriş kitabı
- Nejabati, A.** (2014). “Kompozit Levhaların Darbeden Sonra Bası Davranışının İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Özen, U.** (2018). “Kompozit Sandivic Panel Üretimi ve Üretilen Panellerin Hasar Kriterlerine Göre Karşılaştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Park, R., Jang, J.** (2001). “Impact Behavior of Aramid Fiber/Glass Fiber Hybrid Composites: Effect of Stacking Sequences”. Polymer Composites, 22 (1): 80-89.
- Reid, S.R, Zhou, G.** (1999). “Impact Behaviour of Fibre-Reinforced Composite Materials and Structures”. CRC Press, Woodhead Pub, 303p, USA.
- Reinhart, T. J.** (1998). “Overview of Composite Materials In Handbook of Composites (2nd ed.)”. Ed. Peters, S. T., London, UK: Chapman-Hall.
- Reis, P.N.B., Ferreira J.A.M.** (2012). “Impact Response of Kevlar Composites With Filled Epoxy Matrix”. Composites Structures, Sayı: 94 3520 – 3528.

- Sierakowski ve Chatuverdi, 1997, R. L., Chaturvedi, S. K.** (1997). "Dynamic Loading and Characterization of Fiber-Reinforced Composites". John Wiley & Sons, Inc., 252p, USA.
- Sönmez, M.** (2009). "Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, E.** (2015). "Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama Yöntemi ile Kompozit Malzeme Üretimi". Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- Tankut, A.N.** (2011). "İleri mühendislik malzemelerinin orman endüstrisinde kullanımı". Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Sayı: 19, 90-99, Cilt: 13, Bartın.
- Taşyürek, M.** (2014). "Yüzey Çatlaklı ve Çatlaksız  $\pm 55^\circ$  Filaman Sarım CNT Takviyeli CTP Kompozit Boruların Mekanik Özelliklerinin ve İç Basınç Etkisi Altındaki Yorulma Davranışının Araştırılması". Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Toptan, F.** (2006). "Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi". Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toptan, F.** (2006). "Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi". Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunç, S.** (2012). "Meta Aramid Kumaşın Boyanması, Haslık Yönünden Elyaf Boyalı Meta Aramid Kumaşlarla Karşılaştırılması". Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Vega-Boggio, J., Vingsbo, O.** (1977). "Radial Cracks in Boron Fibers". Journal of Materials Science, 12, 2519-2524.
- Wang W J, Hsiue LH, Chang FC,** 2000, "Characterization and properties of new silicone-containing epoxy resin", Polymer 41, 6113-6122
- William, D. , Callister, Jr.** (2014). "Material Science and Engineering". ISBN:978-1-118-32457-8, ABD.
- Yanen,** 2016 URL-2 <https://www.bolton.ac.uk/CODATE/SPGuidetoComposites.pdf>  
SP Systems Guide to Composites. 11 Haziran 2015.
- Yanen, C.** (2016). "Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yavaş, M.O.** (2009). "Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı". Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yazdanie, N., Mahood, M.** (1985). "Carbon fiber acrylic resin composite: An investigation of transverse strength". J Prosthet Dent. 1985; 54(4): 543-547.
- Yıldızhan, İ.** (2013). "Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı". Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yıldızlı, K.** (2011). "Çekme / Eğme Deney Föyü". Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Samsun.

- Yırtımcı, A.Y.O.** (2011). “Kompozit Levhalarda Yüzey Formunun Ve Çevresel Aşınmanın Darbe Performansına Etkisi”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yüce, İ.** (2007). “Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Serkan KILIÇTEK  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Bakırköy/ İST 22.02.1987  
**Ev Adres** : Kocasinan Merkez Mah. Badem Sok.No: 26 Daire: 4  
Bahçelievler / İstanbul  
**Tel** : 0535 022 9161  
**Mail** : serkankilictekg@gmail.com  
**Askerlik** : Yapıldı

### EĞİTİM

**YÜKSEK LİSANS** İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ (Tez Dönemi)  
Makine Mühendisliği  
**LİSANS** ERCİYES ÜNİVERSİTESİ  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği  
( 2011 – 2017)  
**ÖNLİSANS** MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
Makine – Resim – Konstrüksiyon  
(2006 – 2010)  
**LİSE** BARBAROS LİSESİ  
(2001 – 2004)

### BİLGİSAYAR BİLGİSİ

**Solidworks** : İleri Derecede (Sertifika)  
**Autocad** : İyi Derecede  
**3dsMax** : İyi Derecede (Sertifika)  
**Microsoft Office** : Word, Excel, PowerPoint



## **STAJLAR**

### **İÇDAŞ (İMALAT STAJI)**

İçdaş'daki stajım boyunca döküm yöntemi, kalite kontrol testleri (çekme, sertlik), mikroyapı inceleme, pota hazırlama, eriyik metal içerisine katılan elementler ve bunların etkileri gibi birçok konu gözlemlendi. Bunların yanı sıra haddeleme, haddeleme merdanelerinin ayarlanması, makina bakım ve onarım, temperleme gibi konularda da bilgi elde edildi.

### **HERMEKSAN (YÖNETİM STAJI)**

Yönetim stajında lojistik, organizasyon, işveren ve işçi arasındaki koordinasyon, dosya ve teklif hazırlama, iş akış şeması oluşturma, iş sağlığı ve güvenliği konularında tecrübe kazanıldı.

### **VATAN MAKİNA**

Önlisans stajı boyunca makina parçalarının 2 veya 3 boyutlu çizimleri solidworks ve/veya autocad programları yardımıyla çizildi ve montajı yapıldı. Aynı zamanda bu çizilen parçaların dosyalanması ve üretim süreci takip edildi.

## **YABANCI DİL BİLGİSİ**

**İngilizce: Okuma: Çok İyi Yazma: İyi Konuşma: İyi**  
EF Language School in Malta

## **PROJELER**

### **OTOMOBİLLER İÇİN PİSTON – SİLİNDİR TASARIMI VE ALTERNATİF**

**MALZEME SEÇİMİ:** Günümüzde kullanılan piston – silindirler genellikle alüminyum, alüminyum alaşımları ve dökme demirlerden imal edilmektedir. Bunun en önemli nedenleri bu malzemelerin çalışma koşullarını karşılaması ve elde edilen verimdir. Bu projede, piston – silindirin ortam koşullarına uygun fakat daha yüksek verim için malzeme önerisinde bulunuldu.

### **THE SELECTION OF MATERIAL TO USE IN SPOILER DESIGN BY**

**MULTI-CRITERIA DECISION METHOD:** Bu proje süresince spoiler için en uygun tasarım ve malzeme araştırması yapıldı. Bu konular belirlenip solidworks yardımıyla çizildikten sonra Ansys programında rüzgar testine tabii tutuldu. Bununla

beraber piezo elektrik malzemelerden yararlanılarak yakıt tasarrufu konusunda çalışıldı.

**KARBON KALIBA ALTERNATİF ÜRETME:** Cam yapımı imalatında kullanılan karbon kalıplar oldukça pahalı malzemeler olduğu için bunlara alternatif olabilecek ürünlere ihtiyaç duyulmuştur. Bunun içinde Erciyes Üniversitesi laboratuvarlarında kil ve karbon tozu karışımından kalıp üretimi üzerinde çalışıldı.

**FARKLI TABAKALARDA NANO ALÜMİNA KATKILI KARBON – ARAMİD HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE DARBE TOKLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI:** Nano alüminanın epoksi reçine içerisine katılmasının kompozit malzemeye olan etkisi araştırıldı. Bunun için 3, 5 ve 7 katlı hibrit kompozit üretildi ve mekanik testler uygulandı (çekme, çentik darbe ve yakma). Bu testlerin sonuçları ise birbirleri ile mukayese edildi.

**İLAÇ TAŞIYICI SİSTEMLER İÇİN NANOPARTİKÜL HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ (YÜKSEK LİSANS SEMİNER):** Bu çalışmada nanopartikül üretim yöntemleri teorik olarak incelenmiş ve bu partiküller içerisine kanser tedavisi için gerekli olan ilaçların yüklenmesi ve bunların tedavide nasıl kullanılacağı, tümörlü bölgeye nasıl yönlendirileceği araştırıldı.

## **BİLDİRİLER**

**İKİNCİ ULUSLARARASI MALZEME BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ KONFERANSI (2017): THE SELECTION OF MATERIAL TO USE IN SPOILER DESING BY MULTI-CRITERIA DECISION METHOD**

## **İLGİ ALANLARI**

Seyahat etmek

Kitap okumak

Yazılı veya görsel bilimsel gelişmeleri takip etmek

Yan flüt

Video oyunları

Spor yapmak

Fotoğraf çekmek