

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**BOR KATKILI EPOKSİ REÇİNELİ TERMOSET KOMPOZİT  
MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Abdurrahman YILDIZ**

Danışman  
**Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN**

SAMSUN  
2020

## TEZ ONAYI

Abdurrahman YILDIZ tarafından hazırlanan ‘‘Bor Katkılı Epoksi Reçineli Termoset Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi’’ adlı tez çalışması 07/09/2020 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** Doç.Dr. Özgür DEMİRCAN  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı

### Jüri Üyeleri

**Başkan** Doç.Dr. Özgür DEMİRCAN  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı

**Üye** Dr. Öğr. Üyesi İbrahim İNANÇ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı

**Üye** Prof. Dr. Abdulkadir BİLİŞİK  
Erciyes Üniversitesi  
Tekstil Mühendisliğı Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım ...../.../2020**

Prof. Dr. Ali BOLAT  
**Enstitü Müdürü**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın EtiĐi Kurulu YönetmeliĐi'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

... / ... / 2020

Abdurrahman YILDIZ

## ÖZET

### BOR KATKILI EPOKSİ REÇİNELİ TERMOSET KOMPOZİT MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ

Abdurrahman YILDIZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Eylül/2020

Danışman: Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN

Bu çalışmada epoksi matrisli cam elyaf takviyeli termoset kompozit malzemelerde hegzagonal bor nitrür (h-BN) kullanarak matris/fiber arayüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla püskürtme yöntemi ile farklı oranlarda (ağırlıkça %0, %0,1, %0,3 ve %0,5) h-BN elyaf katlarına takviyesi yapıldı. Kompozitler Vakum İnfüzyon yöntemi ile her bir plaka için dört kat kumaşın simetrik olarak üst üste dizilmesiyle üretildi. Üretilen kompozit malzemelere çekme, üç nokta eğme, charpy darbe testi ve SEM, EDS ve FTIR analizi gerçekleştirildi. Deney sonuçlarına göre h-BN takviyesinin etkisi incelendi.

Çalışmanın sonucunda, epoksi reçineli termoset kompozitlerde püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesi yapılan numunelerin 0° ve 90 °yönünde çekme ve eğme dayanımlarında düşüş, darbe dayanımlarında ise 0° ve 90 ° yönünde %0,5 h-BN içeren kompozit  $\approx$ %54 ve  $\approx$ %50 artışla en iyi performansı göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hegzagonal bor nitrür (h-BN), Cam elyaf, Epoksi, Mekanik özellikler, FTIR

## ABSTRACT

### DEVELOPMENT OF THERMOSET COMPOSITE MATERIALS WITH BORON ADDITIVE EPOXY RESIN

Abdurrahman YILDIZ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Material Science and Engineering

M.A. September/2020

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özgür DEMİRCAN

In this study, it is aimed to improve the matrix / fiber interface properties by using hexagonal boron nitride (h-BN) in epoxy matrix glass fiber reinforced thermoset composite materials. For this purpose, h-BN supplement was made using two different methods. With the spraying method, it is reinforced to h-BN fiber layers at different rates (0%, 0.1%, 0.3% and 0.5%) and epoxy with h-BN-tipped sonication device at different rates (0% and 2% by weight). It was distributed and reinforced. The composites were made by vacuum infusion method by symmetrically stacking four layers of fabric for each plate. Tensile, three point bending, charpy impact testing and SEM, EDS and FTIR analysis were performed on the produced composite materials. According to the experimental results, the effect of h-BN supplementation was examined.

As a result of the study, tensile and bending strengths decreased in the direction of 0 ° and 90 ° in epoxy resin thermoset composites with a h-BN reinforcement with a spray method in the fabric. Composite containing 0.5% h-BN in the direction of 0 ° and 90 °, showed the best charpy impact results with an increase of  $\approx 54\%$  and  $\approx 50\%$  charpy impact energy compared to composite without h-BN.

**Keywords:** Hexagonal boron nitride (h-BN), Glass fiber, Epoxy, Mechanical properties, FTIR

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim süreci boyunca tez çalışmalarım ve proje çalışmalarım boyunca çalışmayı yönlendiren ve her zaman destek gördüğüm danışman hocam Sayın Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN'a teşekkür ederim. Tecrübelerinden yararlandığım çok değerli Kemal KADIOĞLU ve Doğanay YILDIZ'a, değerli arkadaşım Uğur ÇELİK'e ayrıca teşekkürü ve minnettarlığımı borç bilirim. Her zaman yanımda olan annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ve sevgimi borç bilirim. Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne yaptığımız çalışmalar boyunca yapmış olukları ki büyük katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

.....,2020, Samsun

Abdurrahman YILDIZ

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....</b>	<b>v</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1.Literatür Araştırması .....	3
2.1. Sınıflandırma.....	7
2.1.1. Matris elemanına göre kompozitler .....	7
2.1.2.Takviye elemanına göre kompozitler.....	8
2.2. Üretim Yöntemleri .....	9
2.2.1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi.....	9
2.2.2. Reçine transfer metodu (RTM).....	10
2.2.3. Elle yatırma yöntemi.....	11
2.2.4. Elyaf sarma yöntemi .....	11
2.2.5.Vakum infüzyon yöntemi.....	12
2.3. Kullanım Alanları .....	14
<b>3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....</b>	<b>15</b>
3.1. Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemeler.....	16
3.2. Termoset Matrisli Kompozit Malzemeler.....	17
3.2.1. Epoksi reçine.....	18
3.2.2. Cam Fiber.....	19
<b>4. HEGZAGONAL BOR NİTRÜR .....</b>	<b>21</b>
4.1. Üretim Yöntemleri .....	23
4.2. Kullanım Alanları .....	25
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
5.1. Amaç .....	26
5.2. Kullanılan Malzemeler.....	26
5.2.1. Cam elyaf.....	26
5.2.2. Epoksi .....	27
5.2.3. Hegzagonal bor nitrür .....	27
5.3. Yöntem.....	28
5.3.1. Cam elyafların h-BN ile kaplanması.....	28
5.3.2. Kompozit plakaların üretimi .....	31
<b>6. DENEYSEL İŞLEMLER.....</b>	<b>34</b>
6.1.Yakma Testi .....	34
6.2. Çekme Testi .....	36
6.3. Üç Nokta Eğme Testi.....	38
6.4. Charpy Darbe Testi .....	39
6.5. Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopi (FTIR) Analizi .....	40
6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi .....	41
<b>7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>42</b>
7.1. Yakma Testi Sonuçları.....	42
7.2. Çekme Testi Sonuçları.....	43
7.3. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları.....	45
7.4. Charpy Darbe Testi Sonuçları.....	47
7.5. FTIR Sonuçları.....	48
7.6. SEM Görüntüleri.....	49

<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### SİMGELER

$A_0$	Numune ilk kesit alanı
cm	Santimetre
dk	Dakika
E	Elastisite Modülü
g	Gram
GPa	Giga paskal
h	Numune kalınlığı
h-BN	Hegzagonal bor nitrür
J	Joule
$M_f$	Yakma işleminden sonraki numune ağırlığı
$M_i$	İlk numune ağırlığı
mm	Milimetre
$mm^2$	Milimetre kare
ml	Mililitre
MPa	Mega paskal
nm	Nanometre
$p_c$	Teorik yoğunluk
$p_r$	Elyaf yoğunluğu
$V_r$	Yüzde elyaf hacim oranı
$W_r$	Yüzde elyaf ağırlığı
°C	Santigrat
$\epsilon$	Gerinim
$\sigma$	Gerilim
0°	0 derece numune yönü
90°	90 derece numune yönü

### KISALTMALAR

BNNT	Bor nitrür nanotüp
CTP	Cam elyaf takviyeli polimer
CNT	Karbon nanotüp
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
RTM	Reçine transfer metodu
Vİ	Vakum infüzyon yöntemi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	7
Şekil 2.2. Matris elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması .....	7
Şekil 2.3. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması .....	8
Şekil 2.4. Enjeksiyon kalıplama yöntemi.....	9
Şekil 2.5. RTM yöntemi.....	10
Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemi .....	11
Şekil 2.7. Elyaf sarma yöntemi .....	12
Şekil 2.8. Vakum infüzyon yöntemi .....	12
Şekil 3.1. (a) Lineer ve dallanmış bağlanma (b) Çapraz bağlanma .....	15
Şekil 3.2. Epoksi reçinesinin yapısı .....	18
Şekil 3.3. Cam elyaf üretimi .....	20
Şekil 4.1. Bor nitrürün tabakalı yapısı .....	21
Şekil 5.1. DTE 1200 epoksi ve DTS 1151 sertleştirici .....	27
Şekil 5.2. Hegzagonal bor nitrür .....	27
Şekil 5.3. Püskürtme işlemi için solüsyon hazırlanma aşamaları .....	28
Şekil 5.4. Püskürtme işlemi ile elyaf yüzeylerin h-BN ile kaplanması.....	29
Şekil 5.5. Elyaf katmanların simetrik dizilimi .....	31
Şekil 5.6. Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit üretimi.....	32
Şekil 5.7. Üretilmiş kompozit .....	33
Şekil 6.1. Yakma testi aşamaları a) yakma öncesi numune tartımı b) yakma işlemi 620 °C'de c) yakma sonrası numuneler .....	34
Şekil 6.2. Çekme testi düzeneği.....	36
Şekil 6.3. Eğme testi düzeneği.....	38
Şekil 6.4. Charpy darbe testi düzeneği.....	39
Şekil 6.5. FTIR test cihazı.....	40
Şekil 6.6. SEM cihazı.....	41
Şekil 7.1. 0° yönünde alınan numunelerin çekme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri. ....	43
Şekil 7.2. 90° yönünde alınan numunelerin çekme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri .....	43
Şekil 7.3. 0° ve 90° yönünde alınan numunelerin çekme testi sonuçları .....	44
Şekil 7.4. 0° yönünde alınan numunelerin üç nokta eğme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri.....	45
Şekil 7.5. 90° yönünde alınan numunelerin üç nokta eğme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri.....	45
Şekil 7.6. 0° ve 90° yönünde alınan numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları .....	46
Şekil 7.7. FTIR sonuçları .....	48

Şekil 7. 8. h-BN ait SEM görüntüsü a)x10.000 b)x30.000 c)x50.000 d)x100.000 büyütme oranı .....	49
Şekil 7.9. Kompozit plakadan alınan numuneye ait SEM görüntüsü a)10µm b)1 µm c) ve d)100 nm.....	50
Şekil 7.10. EDS element haritası.....	51



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin çeşitli sektörlerde kullanılması.....	14
Çizelge 3.1. Termoplastiklerin 2001 yılı dünya yüzde tüketim değerleri.....	16
Çizelge 3.2. Bazı termoset reçinelerin özellikleri .....	17
Çizelge 3.3. Bazı Cam elyafların fiziksel özellikleri .....	19
Çizelge 4.1. Hegzagonal bor nitrürün bazı özellikleri .....	22
Çizelge 5.1. Kullanılan E-cam elyafın özellikleri.....	26
Çizelge 5.2. %0,5 h-BN içeren solüsyonun elyaf yüzeylerine dağılmış miktarları .....	29
Çizelge 5.3. %0,3 h-BN içeren solüsyonun elyaf yüzeylerine dağılmış miktarları .....	30
Çizelge 5.4. %0,1 h-BN içeren solüsyonun elyaf yüzeylerine dağılmış miktarları .....	30
Çizelge 5.5. Kompozit plakaların üretiminde kullanılan epoksi ve sertleştirici miktarları....	31
Çizelge 6.1. Yakma testi numunelerinin boyutları.....	35
Çizelge 7.1. Yakma testi sonucunda hesaplanan elyaf-hacim oranı .....	42
Çizelge 7.2. Çekme testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterimi .....	44
Çizelge 7.3. Eğme testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterimi .....	46
Çizelge 7.4. Charpy darbe testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterimi.....	47

# 1. GİRİŞ

Teknolojinin kullanımı insan hayatının kolaylaştırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Sanayideki gelişim teknolojinin gelişmesiyle orantılıdır. Fakat günümüzde üretilmekte olan ürünler bazı alanlarda yetersiz kalabilmektedir. Günümüzde çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerde estetik, hafiflik, mekanik, termal ve elektriksel özelliklerin iyi olması istenmektedir. Kompozit malzemelerin geliştirilmesiyle birlikte bu özellikler iyileştirilmektedir. Ayrıca kompozit malzemeler sayesinde malzemelere ek özellikler getirilmektedir.

Kompozit malzemelerin üretilmesi temelde iki veya daha fazla malzemenin çeşitli yöntemler ile fiziksel şekilde bir araya getirilmesidir. Bu malzemelerin kullanılması aslında yıllar öncesine dayanmaktadır. Örnek olarak çamur ile samanın bir arada kullanılması. Günümüzde ise özellikle havacılık, otomotiv, uzay sektörü gibi farklı alanda kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler temelde matris ve takviye elemanı olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Matris elemanları polimer, seramik ve metal malzemelerden seçilmektedir. Takviye elemanları ise nano, fiber, dolgu şeklinde kullanılmaktadır.

Sentetik plastiklerin geliştirilmesiyle 20.yy'da piyasada kullanılmakta olan malzemeler içerisinde büyük oran yer almaktadır. İyi özelliklerinin yanı sıra bazı mekanik özelliklerinin düşük olması sebebiyle polimerler üzerine araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. Cam elyafın keşfi ile birlikte polimer malzemelerin bir araya getirilerek cam takviyeli plastik esaslı kompozitler (CTP) üretimi başlanmıştır. Hafiflik, dış etkenlere karşı dirençli, mekaniksel ve termal özellikleri iyi olması sebebiyle bu kompozit malzemeler kullanışlı olduğu düşünülmüştür. Bu kompozitler termoplastik ve termoset matrisli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılır.

Epoksiler termoset polimerler arasında elyaf takviyeli kompozit malzemeler için en çok kullanılan malzemelerden biridir. Mekanik, termal, korozyon direnci vb. özellikleri iyi olması sebebiyle tercih edilmektedir. Ayrıca bu polimere çeşitli fiberler takviye edilerek daha yüksek mukavemetli malzemeler elde edilmektedir. Termoset polimerlere çeşitli yöntemlerle nano veya mikro boyutta malzemeler katarak mevcut özelliklerine ek olarak katkı sağlanmaktadır.

Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri malzemede istenilen özelliklerine, malzemenin şekline, kullanılacak takviye ve matris elemanlarının çeşitlerine göre belirlenir. Üretim yöntemlerinin üzerine yapılan çalışmalar sayesinde birçok farklı üretim yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerin kendilerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte kompozit malzemelerde nano boyutta malzemeler takviye elemanı olarak kullanılması artmıştır. Bir nanometre metrenin milyarda biri ölçüsüne denk gelmektedir ( $10^{-9}m$ ). Bir malzemenin özellikleri, nano ve makro ölçüde farklılık gösterir. Nano boyutta bir malzemenin boyutlarında bir değişiklik aynı malzemenin içerisinde farklı özellikler getirilmektedir. Karbon nanotüpler (CNT'ler) ve bor nitrür nanotüpleri (BNNT'ler) mükemmel derecede mekanik özellikler, yüksek ısı iletkenliği, düşük yoğunluk gibi özelliklere sahip olduğu için kompozit malzemelerde kullanılmaktadır (Ashrafi vd., 2017).

Bor nitrür, bor ve azot atomlarının oluşturmuş olduğu seramik yapıya sahip yapay bir malzemelerdir. Kristal yapı açısından karbona benzemektedir. Hekzagonal bor nitrür ve kübik bor nitrür önemli polimorflarıdır. Yapı olarak karbona benzemesi sebebiyle beyaz grafit olarak da adlandırılmaktadır. Tabakalı bir yapı olan hekzagonal bor nitrür, sıcaklık ve basınç yardımıyla kübik bor nitrüre dönüştürülerek elmas kadar sert olma özelliğine sahip olabilmektedir. (Akay, 2012).

Çalışmada epoksi matrisli cam fiber ve püskürtme yöntemi ile h-BN takviye edilmiş termoset kompozit malzemeler incelenmiştir. Kompozit malzemeler vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesi yapılmış kompozit malzemelerden alınan numunelerle çekme, eğme, charpy darbe testi gerçekleştirilmiştir. Bu testlerle kumaş katlarının ara yüzeylerine düzgün bir şekilde püskürtülen bor nano parçacıklarının fiber/matriks arayüzeyinde nasıl bir etki yarattığı irdelenmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları literatür araştırmasında incelenmiştir.

## 1.1. Literatür Araştırması

Aşağıda bor malzeme katkılı kompozitlerle ilgili yapılan literatür araştırması yer almaktadır. Bu literatür araştırması göstermektedir ki belirli oranlarda kompozite eklenen bor malzeme kompozitin mekanik, termal ve elektriksel özelliklerinde iyileşmeler yapabilmektedir. Çalışma sırasında yapılacak deneylerle bor malzemeyi en uygun hangi yöntemle kompozit malzemeye takviye edilmesi, edilirse üretilen kompozit malzemenin özellikleri en iyi artırılabilir ya da kompozit malzemenin mekanik veya termal özellikleri bor malzeme kullanarak ne kadar artırılabilir gibi sorulara cevap aranacaktır.

Ashrafi vd. (2017) çok fonksiyonlu polimerik kompozit malzemelerde incelemelerde bulunmuşlardır. Yapmış oldukları çalışmada değişik oranlarda (ağırlıkça %0.5, %1, %2, %5) bor nitür ve karbon nanotüp kullanarak elle yatırma ve vakum destekli reçine transferi (VARTM) yöntemlerini kullanarak üretmiş oldukları epoksi matrisli kompozit malzemelerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucuna göre bor nitürlü kompozitlerin young modülleri karbon nanotüplü kompozitlere oranla daha yüksek bir değerde olduğunu tespit etmişlerdir.

Cheewawuttipong vd. (2013) yapmış oldukları çalışmalarında işlevsel dolgu maddeleri ekleyerek polipropilenin (PP) termal iletkenliğini ve özelliklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Polimerlerin termal iletkenliğini arttırmak için bor nitür (BN) kullanmışlardır. Çalışmada hacimce (%15, %21 ve %29) ve boyutlarda (1-2  $\mu\text{m}$  ve 7-10  $\mu\text{m}$ ) bor nitür kullanarak ve iki farklı viskoziteye sahip polipropilen matrisli kompozitlerin termal iletkenliğini incelemişlerdir. Sonuçlara göre büyük parçacıklı bor nitürlerin kullanımı kompozitlerin termal iletkenliğinde küçük parçacıklara oranla artış gösterdiğini raporlamışlardır.

Isarn vd., (2018) bor nitür dolgulu ((ağırlıkça %0, 10, 20, 30, 40, (6  $\mu\text{m}$ ) ve ağırlıkça % 40 wt% (80  $\mu\text{m}$  (yığın)) ve tiyol-epoksi matrisli termoset kompozitlerin termal iletkenliğini incelemişlerdir. 6  $\mu\text{m}$  boyutundaki ve ağırlıkça %40 bor nitür içeren kompozitlerin termal iletkenlik değerleri %400 artış göstererek 0.2 W/K.m'den 0.97 W/K.m'e, ağırlıkça %40 bor nitür içeren 80  $\mu\text{m}$  boyutunda yığın bor nitür kullanıldığı zaman %775 artış göstererek 0.2 W/K.m'den 1.75 W/K.m değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Harrison vd. (2008), çalışmalarında uzay endüstrisinde kullanılacak malzemeler için Polietilen / bor nitrür kompozitlerin mekanik ve radyasyon kalkını özellikleri incelemişlerdir. Kompozitlerin üretimi yüksek yoğunluk polietilen (HDPE) malzemesine farklı oranlarda hacimce %15'e kadar bor nitrür tozları katarak gerçekleştirilmiştir. Bor nitrür yüzeyleri de arayüzey yapışmasını geliştirmek için silan ile işlevselleştirilmişlerdir. Yapılan test sonuçlarında saf HDPE'ye maksimum hacimce %15 işlevselleştirilmemiş temiz bor nitrür eklenmesi ile gerilme modülü 588'den 735 MPa'ya yükseldiğini ve bor nitrürün işlevselleştirilmesiyle modül 856 MPa'ya yükseldiğini açıklamışlardır. %2'lik bir bor nitrür kullanımı kompozitinin radyasyon kalkını ölçümleri, saf polietileninkinden daha iyi hale getirdiğini gözlemişlerdir.

Zhou vd. (2014) kesintili hegzagonal bor nitrür (hBN) kullanarak (0.5 µm, ağırlıkça %50) epoksi matrisli kompozitlerin termal ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. İlaveten bor nitrür silan ile işleme tabi tutulan kompozitler silansız haline oranla yüksek termal iletkenlik göstermiştir. Dielektrik geçirgenlik, bor içeriğinin artmasıyla (ağırlıkça %50 oranında epoksiye eklenmesiyle)  $10^{-1}$  ile  $10^7$  Hz frekans aralığında düşük bir dielektrik geçirgenliğe (5.4 den az) ve dielektrik kaybına (0.02 den az) yüksek hacimli özdirenç ( $6,3 \times 10^{14} \Omega.cm$ ), yüksek dielektrik dayanımına (16 kV/mm) sebep olmuştur. %50 ağırlık oranında hBN içeren epoksi termal iletkenliği (1.2-1.34 W/mK), saf epoksinin 6-7 katından daha fazla olduğunu raporlamışlardır.

Yu vd. (2017) dikey bir şekilde yönlendirilmiş hegzagonal bor nitrür (h-BN) (10-30 µm, hacimce %12-44) kullanarak epoksi matrisli kompozitlerin termal iletkenliğini incelemişlerdir. Bor içeriğinin artmasıyla termal iletkenlikte artış olduğunu, hacimce %44 h-BN kullanıldığında termal iletkenlik 9W/m.K olduğu görülmüştür. Fakat çekme mukavemetinde de %44 hBN kullanıldığında önemli bir düşüş oluştuğunu gözlemişlerdir.

Madakbaş vd. (2013) poliakrilonitril ve hegzagonal bor nitrür (h-BN) (ağırlıkça %10) kullanarak kompozitlerin termal kararlılığı ve alev geciktiriciliğini incelemişlerdir. h-BN nin artmasıyla kompozitlerin termal kararlılığı, alev geciktirme özelliği (LOI, sınırlayıcı oksijen endeksi, limiting oxygen index) %18'den %27'ye ulaştığını gözlemişlerdir.

Tang vd. (2019) yapmış oldukları çalışmalarında termal olarak iletken cam elyaf kumaş / küresel bor nitrür dolgu maddeleri / epoksi (GFs / BN / epoksi) kullanarak lamine kompozit malzemeleri, karıştırma-emprenye yöntemi ve ardından sıcak sıkıştırma yöntemi ile üretmişlerdir. Cam elyaf kumaşı fonksiyonelleştirerek arayüzey bağlantısını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yapılan test sonuçlarına göre cam elyafın fonksiyonelleştirilmesiyle birlikte eğilme dayanımı ve kompozitlerin ILSS'si, saf kompozitlere oranla %7.8 ve % 22.4 oranında artarak 524.3 MPa ve 32.3 MPa'ya yükselir (eğilme mukavemeti Sırasıyla 486.6 MPa ve ILSS 26.4 MPa). Ayrıca, ağırlıkça %20 küresel bor nitrür kompozitlerin yüzey direnci ve kırılma mukavemeti sırasıyla  $5.1 * 10^{14} \Omega$  ve  $7 \text{ KV mm}^{-1}$ 'e düştü, ancak yine de mükemmel elektrik yalıtımı sağladığını tespit etmişlerdir.

Rahmat vd. (2018) BNNT hibrid kompozitlerin, özellikle cam elyaf- epoksi / BNNT kompozit laminatların kayma ve darbe özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında vakum destekli reçine transferi (VARTM) ve ıslak yatırma yöntemlerini kullanarak kompozitleri üretmişlerdir. İki farklı (ham ve saflaştırılmış) BNNT kullanmışlardır. Yapılan test sonuçlarına göre epoksi içerisine ağırlıkça %1 BNNT (hem ham hem de saflaştırılmış) eklenmesi, saflaştırılmış BNNT'ye oranla spesifik kesme delme mukavemetini (ortalama% + 8), spesifik kısa kiriş kesme mukavemetini (ortalama% + 15) ve alan başına spesifik kırılma enerjisini (% + 22 ortalama) artırdığını tespit etmişlerdir.

Literatür incelendiği zaman, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini, termal özelliklerini, elektriksel özelliklerini artırmak için çeşitli takviye malzemeler kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan h-BN ile ilgili araştırmalardan bazıları yukarıda verilmiştir. Araştırmalar incelendiği zaman h-BN kullanımı termal özellik başta olmak üzere malzemelerin birçok özelliğini artırmıştır. Ancak, en iyi performansı termal özelliklerde göstermişlerdir. Literatür incelendiği zaman bor katkılı epoksi matris kompozit malzemelerin üretim yöntemi genelde h-BN'nin dolgu şeklinde takviye edilmesiyle oluşmaktadır. Bor katkılı fiber takviyeli kompozit malzemelerle ilgili çok az çalışma vardır. Bizim çalışmamızda literatürden farklı olarak h-BN'nin püskürtme yöntemi ile takviye edilmesidir. Ayrıca cam fiber takviyesi yaparak vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı h-BN kullanarak elyaf-matris arayüzey bağlantısını güçlendirmektir.

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte çeşitli sektörlerde kullanılan malzemeler yetersiz olmaya başlamıştır. Özellikle uzay, otomotiv, havacılık vb. sektörlerde dünya piyasasında bir yarış hali vardır. Şirketler üretmiş oldukları ürünlerde hafiflik, dayanıklılık, iletkenlik vb. özelliklerini geliştirmek için büyük bir çaba sarf etmektedirler. Bu sebeple kompozit malzemelere olan ilgileri dikkat çekmektedir.

Kompozit malzeme içeriği açısından matris ve takviye elemanı olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bu iki ana kısmın arasında da bir ara yüzey oluşur. İhtiyaç durumlarında malzemelere çeşitli özellik kazandırmak maksadıyla ek olarak dışarıdan destekleyici malzemeler ilave edilmektedir (Ün, 2015).

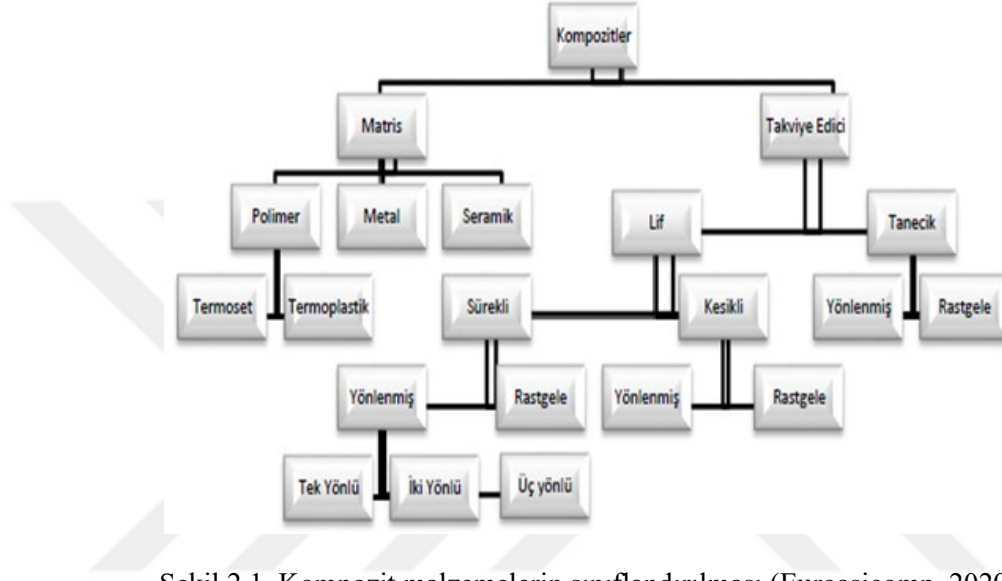
Günümüzde üretilen malzemelere çeşitli testler yapılmaktadır. Bu testler sayesinde malzemelerin dayanıklılığı, iletkenliği, sertliği vb., özellikleri belirlenir. Uygulanan bir test sonucunda kompozit malzeme içerisinde bulunan takviye elemanı taşıyıcı rolü üstlenir. Genelde kompozit malzemelerin spesifik özelliklerin belirlenmesini sağlar. Matris fazı ise takviye elemanını bir arada tutmak ve malzemenin dayanımının belirlenmesinde rol alır.

Matris ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey etkileşimi kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bunun yanı sıra kullanılan matrisin ve takviye elemanının çeşitliği, takviye elemanın matris içerisinde dağılımı, kullanılan ek malzeme, takviyenin şekli malzemelerde aşınma ve sürtünme gibi özelliklerinin belirlenmesinde etkili olduğu belirtilmiştir (Koç ve Demirel, 2019; Zum, 1987).

Karmaşık yapıları malzemeleri tek parça halinde üretimi, yüksek düzeyde korozyon direnci, hafiflik, yorulma dayanımları gibi özellikleri sayesinde diğer malzemelere oranla kompozitler avantajlı durumdadır. Özellikle uzay araçlarında parça üretimlerinde kompozit malzemelerin seçilmesi her geçen gün artmaktadır (Robert, 1999).

## 2.1. Sınıflandırma

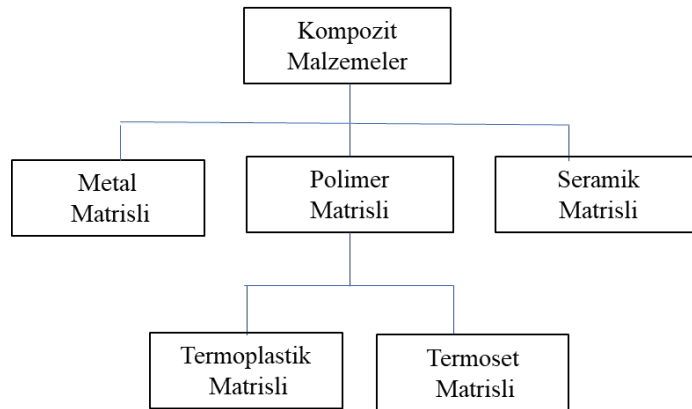
Kompozit malzemeleri bir çok açıdan sınıflandırmak mümkündür. Çünkü farklı malzemelerin kombinasyonu ve farklı yöntemlerle bir araya getirilerek oluşturulur. Genelde kullanılan matris ve takviye elemanına göre şekillendirilmek mümkündür. Şekil 2.1.'de kompozit malzemelerin genel sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Euroasicomp, 2020)

### 2.1.1. Matris elemanına göre kompozitler

Matris elemanı takviyeye elemanını bir arada tutar ve onu dış etkenlerden korur. Kompozit malzemelerin üretirken matris elemanın seçimi önemlidir. Çünkü kullanılan matris elemanları birbirinden farklı özellik gösterirler.



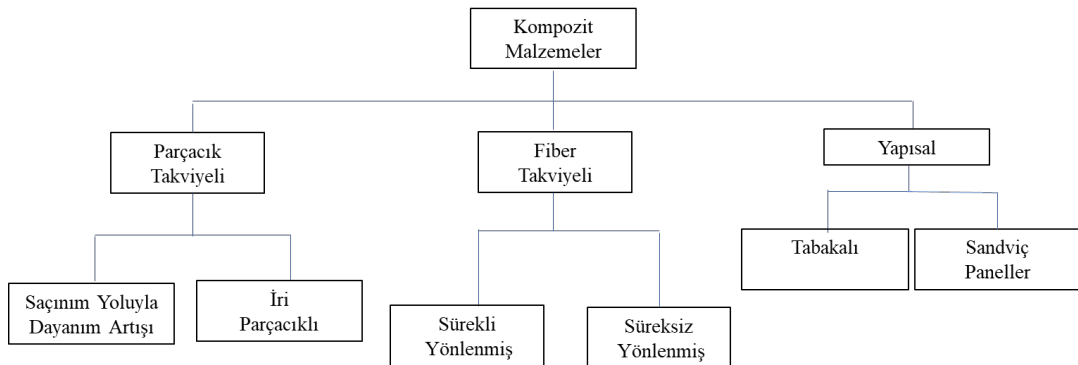
Şekil 2.2. Matris elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması

Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi matris elemanına göre kompozit malzemeler metal, seramik ve polimer matrisli olarak sınıflandırılmıştır. Kompozit malzeme üretirken seçilen matris elemanını üretilecek parçanın ihtiyaçlarına göre belirlenir. Bazı araştırmacılar çevresel faktörlere dayanıklı, termal iletkenlik, tokluk, süneklik, fiyat, kürleşme hızı gibi özelliklere sahip kompozit üretiminde matris elemanı seçilmesi önem arz ettiği belirtmişler (Ün, 2015; Mindivan ve Kayalı, 2007; Peters, 2008).

### 2.1.2. Takviye elemanına göre kompozitler

Kompozit malzemelerin yapısında bulunan takviye elemanı genelde malzeme üzerine uygulanan yükleri çok yüksek oranda karşılar. Bu şekilde matris elemanını destekleyerek üzerinde birikmiş gerilmeleri azaltarak kompozitin mekanik özelliklerinde etkili olmaktadır. Takviye elemanı mekanik özelliklerinin yanı sıra kullanılan malzemenin çeşidine göre elektriksel özelliklerinde de etkilidir. Günümüzde takviye elemanları kompozit malzeme içerisindeki dağılımına, takviye elemanın şekline ve boyutuna göre sınıflandırılması yapılmaktadır (Callister, 2015).

Teknolojinin gelişmesiyle kompozit malzeme üretiminde bir çok malzemeyi çeşitli yollarla kompozit malzeme için takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Fiber teknolojisinin ortaya çıkmasıyla kompozit malzemeler için takviye elemanı olarak kullanılması artmıştır. Nanoteknoloji ile birlikte metal, seramik ve polimer matrisli kompozitlerde karbon nanotüp, oksitler, karbürler vb. malzemeleri çeşitli yollarla kompozit malzeme içerisinde kullanarak nanokompozit malzemeler üretilmektedir (Demircan G. , 2018). Şekil 2.3.'de kompozit malzemelerin takviye elemanına göre sınıflandırılması gösterilmiştir.



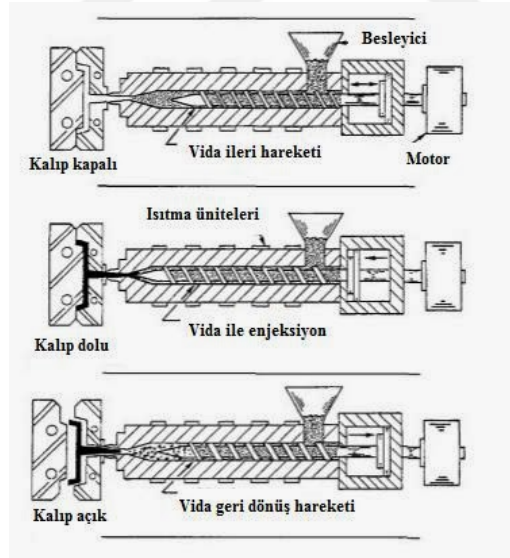
Şekil 2.3. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması

## 2.2. Üretim Yöntemleri

Kompozitler birden fazla malzemenin bir araya gelmesi sebebiyle bir çok üretim yöntemleri bulunmaktadır. Üretim yöntemi belirlemek için kullanılan malzemenin seçimi, üretim hızı, uygunluk, parça maliyetleri önemli etkindir (Solak, 2012). Kompozit malzemeleri üretirken sıcaklık, basınç gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Bu parametreler üretilen kompozitlerin özelliklerinde etkili olabilmektedir. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde en çok kullanılan üretim yöntemleri enjeksiyon kalıplama, otoklav, reçine transfer kalıplama, fiber sarma, elle yatırma, vakum torbalama, vakum destekli reçine infüzyon yöntemleri olarak sıralanabilir.

### 2.2.1. Enjeksiyon kalıplama yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, polimer malzemelerin işlenmesinde, fiber takviyeli termoplastik matrisli kompozitlerin üretilmesinde önemli yöntemlerinden biridir. Bu yöntem ile üretilen parçalarda ekonomik açıdan büyük miktarlarda ve malzemelerin tasarım açısından belirli kısıtlamalara maruz kalmadan üretilmesi sağlanmaktadır.



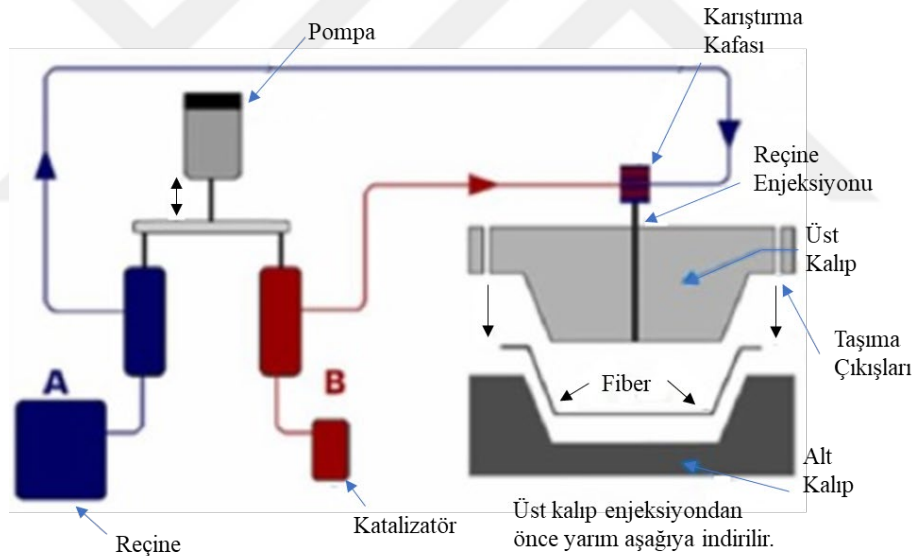
Şekil 2.4. Enjeksiyon kalıplama yöntemi (Anonim, 2013)

Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi enjeksiyon kalıplama yönteminde döner bir vida sayesinde ham malzemeleri sıcaklık yardımıyla eriterek ham malzemenin plastikleşmesi sağlanır. Plastikleşen kütle vida ucuna doğru taşınarak yüksek basınç altında kapalı ve içinde tasarlanmış parçanın kalıbına bir boşluk sayesinde içine enjekte edilir.

Enjekte işleminden sonra eriyik kütlenin soğuması ve sertleşmesi beklenir. Bu işlemden sonra kalıp açılır ve parça alınır. Bu yöntemde ham malzemeler granül şeklinde olmaktadır. Granül içerisine elyaf takviyesi yapılarak bu yöntem ile polimer matrisli elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için pratik bir yöntem olarak görülebilir. Bu yöntemin yanında toz metalurjisi teknolojisini de kullanarak iyi performanslı metal parçalarını üretmek mümkün olunabilir (Şelte, 2011).

### 2.2.2. Reçine transfer metodu (RTM)

Reçine transfer metodu sayesinde üstün mekanik özelliklere sahip, karmaşık şekilli kompozitlerin üretimi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde üretilen parçalarda pürüzsüz bir yüzey sağlanması mümkündür. Yöntemde kapalı kalıp içerisine vakum yardımıyla reçine takviye elemanlarına (cam fiber, kevlar vb) ulaştırarak parça imalatı sağlanır. Şekil 2.5’de reçine transfer metodu gösterilmektedir.



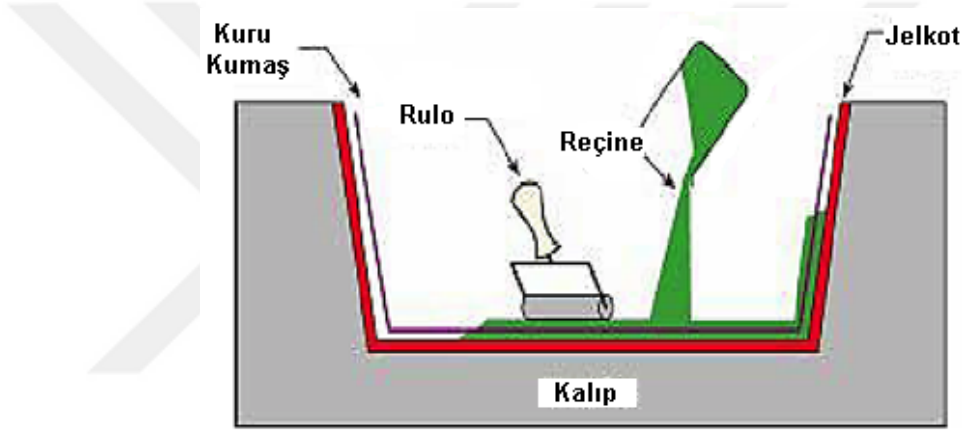
Takviye malzemesi kalıba yerleştirilir ve reçine enjekte edilir.

Şekil 2.5. RTM yöntemi (Ün, 2015)

Fazla olan reçine vakum altındaki sistem içerisinde bir boru yardımıyla dışarı alınır. Sistemin daima vakum altında kontrollü olması sayesinde kompozit içerisinde hava boşluğu olma oranı azaltılmaktadır (Brocks vd, 2013). Reçine transferi bittikten sonra kürleşme için beklenir. Bu yöntem ile uçak parçaları gibi karmaşık yapıları üretilmesi mümkündür.

### 2.2.3. Elle yatırma yöntemi

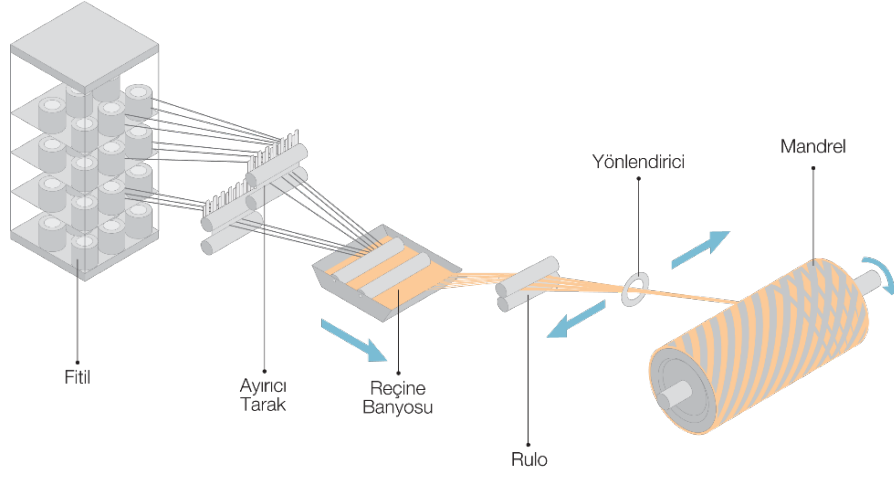
Elle yatırma yöntemi çok fazla alet donanım gerektirmeyen basit bir yöntemdir. Bu yöntemde kompozit malzemenin kalitesini belirleyici faktör işçiliktir. Kullanılacak kalıp yüzeyine kompozit malzemenin kolayca ayrıştırılması için çeşitli kalıp ayırıcı malzemeler yerleştirilir. Hazırlanan elyaflar kalıp içerisine yerleştirilir. Genelde polimerik jel kullanılarak üretilecek ürünün düzgün yüzey olması sağlanır. Yerleştirilen elyaflar üzerine çeşitli reçineler bir rulo yardımıyla sürülür. Burada önemli olan reçinenin kullanılan elyafı iyi bir şekilde ıslatması gerekir. Maliyeti açısından oldukça düşük olan bu yöntem ile çeşitli tekne, kabin, araba parçaları elde edilmektedir. Şekil 2.6'da şematik olarak elle yatırma yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemi (Durgun , 2014)

### 2.2.4. Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma yönteminde sürekli elyaf liflerinin içinde reçine ve sertleştirici bulunan bir kap içerisine daldırılarak ıslatıldıktan sonra dönen bir mandrel yardımıyla kalıp üzerine sarılması ile oluşturulur. Islanan reçine sertleştikten sonra dönen alet çıkarttırılır ve kompozit istenilen şekli almış olur. Elyafın kalıba sarılmasında sürekli elyaf liflerin hangi açılarla sarıldığı önemlidir. Çünkü bu etken kompozitlerin mekanik özelliklerinde etkilidir. Şekil 2.7'de elyaf sarma yöntemi gösterilmiştir.

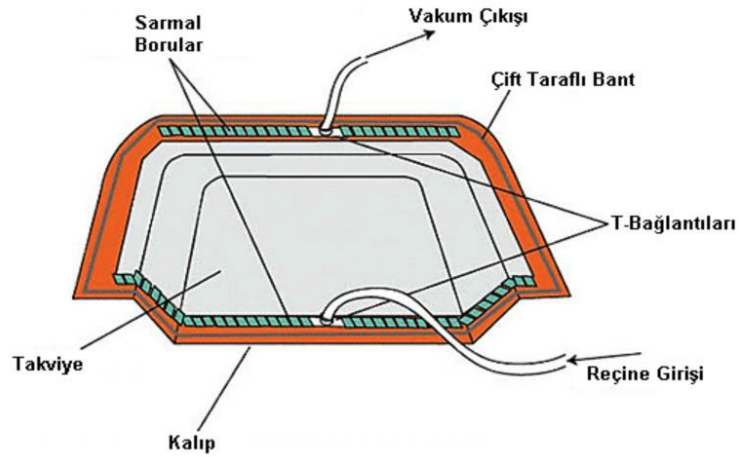


Şekil 2.7. Elyaf sarma yöntemi (Poliya, 2020)

Elyaf Sarma yöntemi ile yakıt tankları, yüksek basınca dayalı kaplar gibi silindirik şekle sahip malzemeleri seri bir şekilde üretilmek için kullanılmaktadır.

### 2.2.5. Vakum infüzyon yöntemi

Vakum infüzyon yöntemi son elli yıllardır tüm dünyada, farklı sanayi dallarında malzeme üretiminde kullanılan bir üretim yöntemidir. Vakum ortamında reçinenin ilerlemesi ve fiber malzemeyi ıslatması prensibiyle çalışan bir yöntemdir. Çalışma prensibi RTM yöntemi ile benzerdir. Diğer yöntemlerden farklı olarak fiber/matris oranı açısından yüksek kompozit malzemeler üretilmektedir. Malzemelerin daha hafif ve uzun ömürlü olması sağlanır. Şekil 2.8.'de üretim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Vakum infüzyon yöntemi (Durgun, 2014; Genç ve Arıcı, 2008)

Vakum infüzyon yönteminde üretim aşamaları şu şekildedir;

- Kullanılacak kalıp yüzeyinde herhangi bir çizik olmadığına dikkat edilmelidir ve kalıp temiz tutulmalıdır.
- Kalıp yüzeyi çeşitli kimyasallarla temizlenir ve kompoziti kalıptan ayıracak malzeme sürülür.
- Daha önceden hazırlanmış takviye elemanı (cam fiber, karbon fiber vb) yerleştirilir.
- Fiberler üzerine yüzey pürüzlülüğünü sağlayan soyma kumaşı serilir. Soyma kumaşının üzerine akış fileleri yerleştirilir.
- Kalıp üzerinde üretim yapılacak alanın etrafı macunlarla kaplanır.
- Elyaf lar üzerine çok baskı yapılmayacak şekilde vakum torbası kesilir ve macunlar üzerine konulur.
- Sistem içerisinde reçine akışını ve vakumu sağlamak için portlar açılır ve buralara boru bağlanır.
- Sisteme vakum pompası ve vakum göstergesi bağlanarak kaçak olup olmadığı anlaşılır.
- Üretim için gerekli reçine hazırlanır. Borular içerisinde kalan reçine miktarı da hesaba katılır.
- Sistemin vakum altında olduğu anlaşıldıktan sonra portlar sayesinde reçine sistem içerisine verilir.
- Elyaf ların tamamen ıslanmış olduğundan emin olduktan sonra reçine giriş kısmı kapatılır.
- Kompozit içerisindeki reçine sertleşene kadar vakum altında tutulur.
- Reçine sertleştikten sonra vakum torbası kaldırılır. Kompozit kalıp içerisinden dikkatli bir şekilde alınır ve fazlalık kısımları kesilir.

Bu yöntem ile karmaşık yapı lı malzemelerin, rüzgar türbin kanatların, gemi parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı olarak üretim esnasında ıslanmamış bölgelerin oluşma ihtimali vardır. Bunun sonucu kompozitin mekanik özelliklerde olumsuz gelişmelere yol açabilir. Ayrıca iş gücü açısından maliyeti fazla olan bir yöntem olabilir.

### 2.3. Kullanım Alanları

Kullanım alanı açısından kompozit malzemeler oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Çeşitli sektörlerde kullanılan kompozit malzemeler çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin çeşitli sektörlerde kullanılması

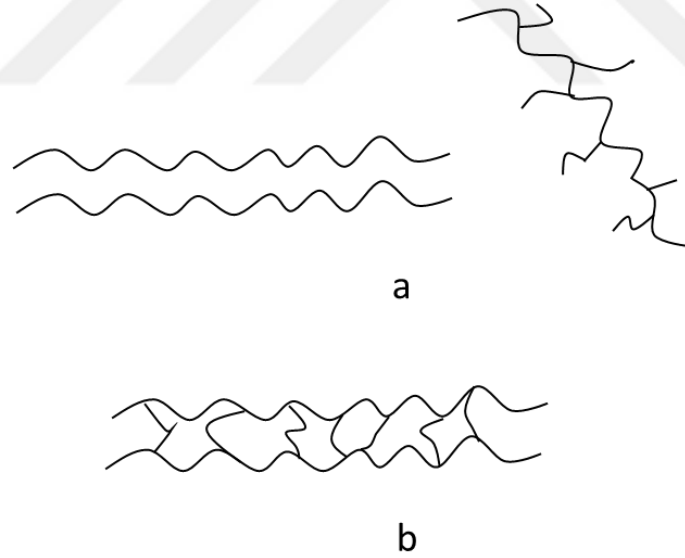
Sektör	Uygulama alanları	Kullanılan kompozit malzemeler
Uçak	Uçak kanatları ve gövdesi, türbin kanatları, helikopter pervaneleri	B/Al, Gr/Al, Cam/Epoksi, C/Epoksi, Süper alaşımlar
Spor	Oltalar, yüzme havuzları, tenis raketleri, bisiklet gövdeleri	B/Epoksi, C/Epoksi, SiC/Al, B/Al
Elektrik	Motor fırçaları, kablo ve akü plakaları	Gr/Cu, Gr/Pb, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Pb
Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam/Epoksi, C/Epoksi
Otomotiv	Gövde parçaları, aks mili, yaylar, piston kolları, tampon ve çamurluklar	Kevlar/Epoksi, B/Al, SiC <sub>p</sub> /Al

Her geçen yıl teknolojinin gelişimi ile birlikte kompozit malzemelerin farklı sektörlerde kullanılması artmaktadır. Ülkemiz açısından kompozit sektöründe son yıllarda gelişim göstermektedir. Kompozit Sanayicileri Derneği (2016) yayınladıkları yazılarında Türkiye kompozit sektörünün geçmiş yıllara göre ekonomik koşullar altında değerlendirilerek %8-%12 büyüme gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu oran Avrupa ülkelerine göre daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

### 3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Polimerler çok sayıda monomer adı verilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerin kovalent bağ oluşturarak bir araya gelmesi ile oluşturulan malzeme grubudur (Saçak, 2012). Polimer malzemeler kolay işlenebilme, hafiflik, düşük maliyet, kimyasal maddelere dayanıklılık gibi avantajların yanı sıra belirli sıcaklık değerlerinde çalışabilme, mekanik dayanım açısından düşük özelliklere sahip olabilmektedir. Bu özellikler polimerlerin kendi aralarında da farklılık gösterilmektedir.

Polimerler, zincirleri oluşturan bağların farklı şekillerde bağlanmasıyla birbirinden değişik özelliklere sahip polimer grupları oluşturulmuştur. Genelde polimerler termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak sınıflandırılmaktadır. Polimerlere elyaf takviyesi veya dolgu takviyesi yaparak kompozit malzemeler oluşturulmaktadır. Termoset ve termoplastik yapı polimerler kompozit malzeme üretiminde polimer matrisli kompozitler olarak isimlendirilmektedir (Sezgin, 2020).



Şekil 3.1. (a) Lineer ve dallanmış bağlanma (b) Çapraz bağlanma

Şekil 3.1.'de termoplastik ve termoset polimer zincirlerinin örnek bağlanmasını göstermiştir. Termoplastiklerde çapraz bağlanma yoktur. Daha çok doğrusal bağlanma mevcuttur. Termosetlerde ise çapraz bağlanma vardır.

### 3.1. Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemeler

Termoplastikler ısıtıldığında eriyebilen soğutulduğunda ise sertleşebilen polimerlerdir. Sertleşen polimeri tekrardan ısıtarak yeniden şekillendirmek mümkündür. Polimer zincirleri arasında çapraz bulunmaması sebebiyle uygun çözücülerle çözünür ve geri dönüşüm açısından oldukça kullanışlı malzemelerdir. Çok sayıda polimer olmasına rağmen uzun süreli yüklemelerde boyutlarının değişmesi sebebiyle termoplastiklerin matris elemanı olarak kullanılması sınırlıdır (Saçak, 2012). Sınırlı sıcaklıklarda çalışma aralığına sahip olması termoplastik matrisli kompozitlerin üretimi zorludur. Olgun ve Çavdar (2018) çalışmalarında termoplastik matrisli kompozitlerin üretim sürecini kısaltarak tasarruf sağlamak üzere ısıtma prosesinin hızlandırılması amacıyla, indüksiyonla ısıtma yöntemi ile ilgili derlemede bulunmuşlardır.

Termoplastik malzemelerin molekülleri aralarında zayıf Vander Walls bağı vardır ve diğer polimer çeşitleri gibi üç boyutlu bir yapı oluşturmazlar (Ün, 2015). Şekillendirme işlemi yapılırken termoplastikler kimyasal olarak bir farklı bir duruma geçmezler. Genellikle granür halinde bulunurlar. Ayrıca cam fiber ile birlikte lif formunda da üretilmekte ve bunlara karışım fiber denilmektedir (Yıldız vd, 2018 ; Kadioğlu, 2018; Demircan vd, 2015). Saçak (2012) tarafından temel plastikler diye adlandırdığı polimer çeşitlerinin dünya yüzde tüketim değerleri çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Termoplastiklerin 2001 yılı dünya yüzde tüketim değerleri

<b>Termoplastik</b>	<b>Tüketim (%)</b>
<b>Polietilen</b>	%34
<b>Polipropilen</b>	%20
<b>Poli(vinil klorür)</b>	%17
<b>Polistiren</b>	%5
<b>diğerleri</b>	%24

Çizelge 3.1’de verilen tüketim miktarlarına göre polietilen,polipropilen polivinilklorür en çok tüketilen polimerlerdir.Bu polimerler genelde günlük eşya malzemelerinin üretiminde kullanılmaktadır.

### 3.2. Termoset Matrisli Kompozit Malzemeler

Termoset polimerler, zincirleri arasında çapraz bağ yapan malzemelerdir. Termoplastikler gibi tekrardan ısı ile yumuşaklaştırılıp şekillendirilmesi yapılamayan malzemelerdir. Zincirleri arasındaki çapraz bağ sebebiyle rijit yapılı, termoplastiklere oranla gevrek ve yüksek dayanıma sahiptirler (Şahin, 2006). Termosetler kimyasal yollarla çözilemeyen malzeme gruplarıdır. Oluşturmuş oldukları ağ yapısı sayesinde sıcaklığa karşı termoplastiklere oranla daha dayanıklı olmaktadır. Polimerizasyon işlemleri önceden hazırlanan doğrusal bir polimere farklı malzemelerin eklenmesiyle viskoz sıvı benzerinde karışım oluşur (Ün, 2015). Genelde reçine olarak isimlendirilmektedir. Termoset polimerler boyutsal kararlılık, kimyasal olarak dirençli ve mekanik özellikler açısından kompozit malzemelerde matris elemanı olarak kullanılmaktadır. (Sönmez, 2009), termosetlerin matris olarak kullanılması polimerizasyon sırasında meydana gelen çekmelere ve soğuma esnasında oluşabilecek iç gerilmelere dikkat edilmelidir. Bu gibi içyapı hassasiyetleri, özellikle yüksek performans beklenen kompozit ürünlerde istenmeyen hatalara sebebiyet verebilir. Matris elemanı olarak en çok epoksi, fenolikler ve polyeşterler kullanılmaktadır. Çizelge 3.2’de kompozit malzemelerde kullanılan bazı termoset reçinelerin özellikleri gösterilmiştir.

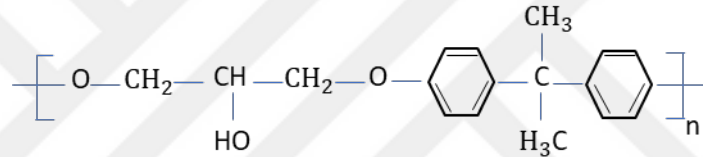
Çizelge 3.2. Bazı termoset reçinelerin özellikleri (Mazumdar, 2002)

Reçine	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Epoksi	1.2-1.4	2.5-5.0	50-110
Polyester	1.2-1.4	2.7-4.1	35-60
Fenolik	1.1-1.4	1.6-4.1	35-95

Çalışmamızda matris elemanı olarak epoksi reçinesi kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de epoksi reçinesinin çekme dayanımının 50-110 Mpa arasında olduğu gösterilmiştir. Çeşitli malzemelerle takviye yaparak epoksi matrisli kompozitlerin çekme dayanımını artırmak mümkündür.

### 3.2.1. Epoksi reçine

Epoksi reçineleri kompozit malzemelerde matris elemanı olarak en çok kullanılan reçinedir. Malzemelerin ihtiyacına göre epoksi reçineleri formülasyonu değiştirerek kür oranı, işlem sıcaklığı, sıcaklık direnci gibi özellikleri değiştirilir (Mazumdar, 2002). Mekanik özellikleri ve ortam etkilerine karşı dirençleri diğer termoset reçinelerine oranla daha yüksektir. Birbirleri ile olan etkileşimleri sayesinde yüksek dayanımlı, kimyasal etkilere dirençli ve kuvvetli yapıştırıcılık özelliğine sahip malzemeler oluşturabilen polimerlerdir. Epoksi reçinelerinin çoğu bisfenol A ve epiklorhidrin arasındaki tepkime ile üretilmektedir (Saçak, 2012). Epoksi reçineler, düşük viskoziteli reçineler olup çoğunlukla oda sıcaklığında ve basınçta kalıplanabilir ve yan ürün oluşumu sağlamaz. Şekil 3.2.'de epoksi reçine yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Epoksi reçinesinin yapısı (Günaydın, 2018)

Epoksilerin pişirme süreleri uzundur ve bu sureyi azaltmak için çeşitli maddelerle çapraz bağlanma tepkimeleri hızlandırılır. Epoksiler polietelerin yapısında olmakla birlikte önemli bir yer edinmiştir. Epoksiler yüksek yapışma özelliğine sahip oldukları için kaplamalarda, fiber takviyeli kompozit malzemelerde kullanılmaktadır. Kompozit üretirken sertleştiricileri ile birlikte kullanılmaktadır.

Epoksi reçineleri oligomer bileşik olmaları nedeniyle fiziksel ve mekanik özelliklerini artırmak için çok fazla çapraz bağa sahip yapılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem sertleştiriciler yardımıyla gerçekleştirilir. Sertleştiriciler sayesinde epoksi reçineleri daha iyi fiziki ve mekanik özelliklere sahip olur (MEB, 2012).

İyi yapışmaları, fiziksel ve kimyasal olarak dirençli olması sebebiyle epoksi reçineleri birçok sektörde kullanılmaktadır. Kullanımları açısından en çok kaplama gerektiren malzemelerde tercih edilir.

Yüzeyleri çok rahat bir şekilde ıslatma özelliklerine sahiptir. Cam, karbon ve kevlar elyaflarla birlikte yüksek mukavemetli kompozitler üretmek için matris elemanı olarak kullanabilmektedir.

Bu tür malzemeleri havacılık, uzay sektörlerinde kullanmakta mümkündür. Epoksi matrisli kompozitler ayrıca yüksek dayanım / ağırlık oranına sahip malzemeler gerektiren endüstrilerde de kullanılması için üretilmektedir (Ratna, 2009).

### 3.2.2. Cam Fiber

Cam fiberler, polimer matrisli kompozit malzemeleri üretmek için en çok kullanılan takviye elemanlarıdır. Diğer elyaflara oranla ucuz oluşu tercih edilme sebeplerinden biridir. Elyafın özellikleri, kendilerinin ne şekilde üretildiğine bağlıdır. Birçok cam elyaf (A, E, S, D, C) mevcuttur. En çok kullanılan E-cam elyaflarıdır. E-cam elyafı üretirken kullanılan hammaddeler silis kumu, kireçtaşı, fluorspar, borik asit ve kildir. Silika, toplam bileşenlerin %50'sinden fazlasını oluşturur (Mazumdar, 2002).

Çizelge 3. 3. Bazı Cam elyafların fiziksel özellikleri (Özdemir vd, 2006)

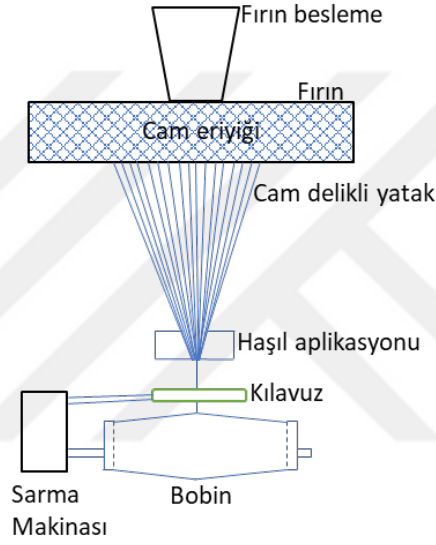
Özellikler	A-Camı	C-Camı	D-Camı	E-Camı
Yoğunluk g/	2,44	3,52	2,11-2,14	2,55-2,62
Yumuşama Noktası °C	705	750	771	846
Tavlama Noktası °C		588	521	657
Gerilme Noktası °C		522	477	615
<b>Gerilme Mukavemeti, MPa</b>				
-196 °C		5380		5310
23 °C	3310	3310	2415	3445
371 °C				2620
538 °C				1725
<b>Young Modülü GPa</b>				
23 °C	68,9	68,9	51,7	72,3
538 °C				81,3

Çizelge 3.3'de gösterildiği gibi cam fiberler fiziksel özellik açısından iyi performans göstermektedirler. Birim ağırlık başına mukavemeti çelik malzemeden yüksektir (Ün, 2015).

Cam fiberlerden özellikle E-camı ve S-camı kolay bir şekilde işlenebilmek ve yüksek mukavemet özelliğinden dolayı en çok kullanılan fiberlerdir. Birçok alanda kullanılmaktadır.

E-camı alkali olmayan ve iyi elektriksel yalıtıma sahip neme karşı dirençli ve iyi mekanik özellikleri sayesinde, polimer matrisli kompozitlerin üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.

Cam fiberleri üretirken hammadde miktarlarını ve üretim parametrelerini değiştirilmesiyle farklı türden eritilmektedir. Genellikle 1200°C-1500°C arasında hammaddelerin karıştırılıp eritilmesiyle ve çok sayıda küçük delik içeren bir levha içinden geçirilmesiyle üretilir. Bu küçük levhalardan geçirilen lifler camsı geçiş sıcaklığında soğutulur ve bir makaraya sarılır bu şekilde elyaf topları olur ve satışa hazır olur.

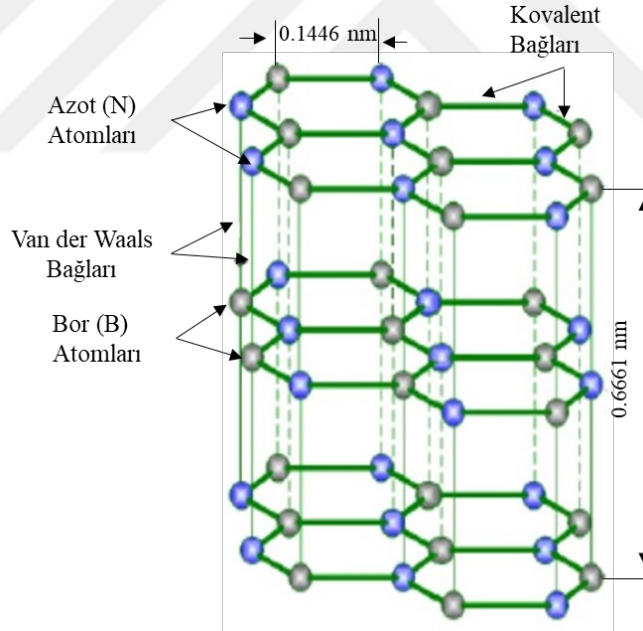


Şekil 3.3. Cam elyaf üretimi (Özdemir, 2006)

Cam elyaflar ile üretilen kompozit malzemelere nano veya mikro boyutlarda çeşitli malzemeler takviye edilebilmektedir. Matris takviye elemanı arayüzeyi bağlantısını iyileştirmek kompozit malzemelerin özellikleri açısından önemlidir. Çalışmamızda E-cam elyaf kullanarak ve bor katkısı yaparak elyaf/matris arayüzey bağlantısı incelenmiştir.

#### 4. HEGZAGONAL BOR NİTRÜR

Bor nitrür, bor ve azot atomlarının oluşturmuş olduğu seramik yapıya sahip yapay bir malzemelerdir. Kristal yapı açısından karbona benzemektedir. Hekzagonal bor nitrür ve kübik bor nitrür önemli polimorflarıdır. Yapı olarak karbona benzemesi sebebiyle beyaz grafit olarak da adlandırılmaktadır. Yağlayıcı, iyi ısı iletkenliği, elektriği iletmemesi, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı sebebiyle birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Tabakalı bir yapı olan hekzagonal bor nitrür sıcaklık ve basınç yardımıyla kübik bor nitrüre dönüştürülerek elmas kadar sert olma özelliğine kavuşturulabilir (Akay, 2012). Bor nitrürün molekül gösterimi BN'dir. Bor ve nitrojen atomları birbirleriyle kovalent bağ ile tabakalar arasında ise van der Waals kuvvetleri yer almaktadır. Şekil 4.1'de bor nitrürün bağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Bor nitrürün tabakalı yapısı (Öz, 2016)

Bor nitrür (BN) doğada bulunmayan sentetik bir malzemedir. Bor nitrürün sentezlenmesi 1840'lı yıllarda başlanmıştır. İlk olarak Balmain tarafından sentezlenmiştir (Haubner vd, 2002). İlk sentezin gerçekleştirilmesiyle birlikte bor nitrür üzerine uzun süre çalışmalar yapılmıştır. Basıncısız sinterlenmemesi sebebiyle bir süre bor nitrür üzerine durulmamıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek sıcaklıklarda ve basınçlı preslerin piyasaya sürülmesiyle bor nitrür tekrar hak ettiği ilgiyi üzerine çekmiştir. Çeşitli alanlarda kullanıma sunulmuştur. Kompozit malzemelerde de takviye malzemesi olarak da kullanılmaktadır.

Hegzagonal bor nitrürün özelliklerinin belirlenmesinde üretim yönteminin önemi büyüktür. Kristalinite, parçacık boyut dağılımı, saflık gibi özellikler üretim şekline göre değişmektedir. Bu özellikler hegzagonal bor nitrürün kullanılacak alanlara göre belirlenir. Çizelge 4.1’de h-BN’ait bazı fiziksel özellikler gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Hegzagonal bor nitrürün bazı özellikleri (Doğrul, 2018;Öz, 2016)

Özellikler	h-BN
Yoğunluk ( $g/cm^3$ )	2,27
Termal İletkenlik 25°C $Wcm^{-1}Kcm^{-1}$	0,627 a,b eksen 0,015 c eksen
Erime Sıcaklığı (°C)	2700
Oksitlenme Sıcaklığı (°C)	980

Hegzagonal bor nitrür yüksek termal iletkenliğe sahip olduğu için termal genişmesi düşük olup termal şoka karşı dirençlidir. Yüksek dielektrik sabitine sahip olduğu için h-BN’ü elektronik devre parçalarında yalıtım ve soğutucu malzemelerinde kullanılmaktadır (Doğrul, 2018).

Hegzagonal bor nitrür, tabakaları arasındaki zayıf van der Waals bağları sebebiyle birbirleri üzerinden kolay bir şekilde kayar. Bu yapısı sayesinde yağlayıcılık özelliği göstermektedir. h-BN görünüm olarak alüminaya benzer. Seramik malzemeler içerisinde en düşük yoğunluğa sahip malzemedir. Ayrıca h-BN inert bir malzeme olup asitlerle ve bazik ortamlarda kimyasal olarak tepkimeye girmez (Haubner vd, 2002; Öz, 2016).

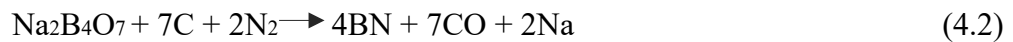
Çok farklı özelliklere sahip olduğu için hekzagonal bor nitrür üzerine çalışmalara her geçen gün artmaktadır. Seramik ve malzeme bilimciler hekzagonal bor nitrürün farklı sektörlerde uygulanmasına yönelik çalışmaları yoğunlaşmıştır.

#### 4.1. Üretim Yöntemleri

Bor nitrür, sentetik bir malzeme olduğu için doğada bulunmaz.1840 yıllarda ilk sentezinde borik asidin potasyum siyanürle ile reaksiyonu sonucunda gerçekleştirilmiştir. Fakat ortaya çıkan ürün kararlı olmaması sebebiyle, ürünü üretmek için lazım olan malzemelerin pahalı ve üretim yöntemlerindeki zorluklar sebebiyle 1950’li yıllara kadar endüstriyel bir ürün şekline dönüşmemiştir.

Birçok yolla bor nitrür üretilebilmektedir. Aydın (2018) en çok kullanılan yöntemleri “direk redüksiyon ve azotlama, karbotermal redüksiyon, bor bileşiklerinin amonyak ile reaksiyonu, bor oksitin moleküler azot ve hidrojenle reaksiyonu, azot içeren bileşiklerin bor oksit veya oksijen içeren borlu bileşiklerle reaksiyonu, alkali element içeren sistemlerden bor nitrür eldesi ve amonyaklı bileşiklerden bor nitrür eldesi” şeklinde ifade etmektedir.

Direk redüksiyon ve azotlama yöntemi ile bor nitrür üretilebilmektedir. Bu yöntemde, elementel olan bor azot atmosferi ve belirli süre yüksek sıcaklıkta bekletilerek üretilir. Bor metalinin doğrudan azot ile reaksiyonu sonucu bor nitrür (Denklem 4.1) üretilebilmektedir (Töre, 2006). Fakat bor pahalı bir element olması ve yüksek sıcaklıklarda homojen nitrasyon gerçekleştirememesi bu yöntem sınırlı bir şekilde kullanılmaktadır. Boraksın ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) direkt redüksiyonu ile de BN üretilebileceği (Denklem 4.2) gösterilmiştir (Töre, 2006).



Alkali veya toprak alkali borürlerin Si ve/veya Al birlikte azot içermekte olan bir atmosferde 200-1200 °C arasında reaksiyona girmesiyle birlikte h-BN üretilebilmektedir.

Bu yöntemde ürün, suda çözünebilecek olan alkali metal tuzlarını sistemden kovmak için tepkime sonrası, H<sub>2</sub>O ve HCl asitten oluşmuş çözelti içerisinde liç işlemine tabii tutulmaktadır (Doğrul, 2018).

Karbotermal indirgeme ve nitrüleme metodu en çok kullanılan bor nitrür üretim metodlardan biridir. İlk olarak olarak B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve C kullanılır. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+C karışımının 1500 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda azot atmosferinde reaksiyona girmesi sağlanır ve denklem 4.3'de verilmiş tepkimenin gerçekleşmesiyle birlikte h-BN tozu üretilmektedir (Çamurlu vd, 2009; Doğrul, 2018).



B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün amonyak gazı ile birlikte inert olan bir katkı malzemesinin eşliğinde (genelde trikalsiyum fosfat) 900°C sıcaklıkta nitrürleşmesi sayesinde denklem 4.4'de verilen tepkimesi gerçekleşmesi ile h-BN üretilebilmektedir. Fakat, reaksiyon sonrasında saflaştırma ve kristalizasyonun gerçekleşmesi için ısıl işlem uygulaması gereklidir (Doğrul, 2018).



Günümüzde endüstriyel anlamda h-BN toz üretmek için genelde üç ana yöntem kullanılmaktadır. Borik asidin amonyak ile reaksiyonu ve karbotermik yöntemi literatürde en çok bahsedilen yöntemlerdir. Bir diğer yöntem ise O'conner yöntemidir. Bu yöntemde bor nitrür, bor içeren bir birleşik ile üre malzemesinin yüksek sıcaklıkta azot ortamında sentezlenmesinden oluşmaktadır (O'Connor, 1962).

Üretilmiş h-BN'nin tanecik yapıları X ışını kırınımı testi uygulayarak belirlenmektedir. Debye-Scherer, Williamson-Hall ve Warren-Averbach yöntemleri uygulanarak değerlendirme yapılmaktadır.

Bu yöntemlerden en kısa ve kolay olan yöntem Debye-Scherer yöntemidir. Debye-Scherer yönteminde tane büyüklüğü X ışını kırınımı testi sonuçlarında ana pikin değerlerine göre hesaplanılmaktadır. Bu sonuçlar ortalama bir değeri ifade eder ve kesin bir ölçek olarak kullanılmamaktadır (Öz, 2016).

## 4.2. Kullanım Alanları

Üretim yöntemine bağlı olarak h-BN'nin özellikleri değişkenlik gösterir. Genelde beyaz, yumuşak ve inert bir yapıya sahip olan h-BN, toz, fiber, kaplama vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Hekzagonal bor nitrür, yüksek ısılara karşı dirençli ve oksijene karşı kararlı bir yapıya sahiptir. h-BN tozları yağlayıcı özelliği sebebiyle seramik malzemelerde parça üretiminde ve kaplama alanlarında kullanılır (Haubner vd, 2002). h-BN tozları üretim parametrelerinin değişimiyle birlikte çok spesifik ve ilginç uygulamalarda kullanılabilir.

Yüzey alanını düşük ve iri taneli bir yapıya sahip olan h-BN tozlarının termal iletkenlik ve yağlayıcılık özelliklerinin iyi olmasına rağmen sinterleşme işleminin yapılması zor olmaktadır.

Dengesiz tane şekline ve yüksek yoğunlukta dislokasyon içeren h-BN parçacıkları değişik parametreler altında üretilebilmektedir. Bu şekilde dislokasyon yoğunluğunun fazla olması sebebiyle sinterlenebilme için kullanışlı hale gelmektedir (Töre, 2006; Doğrul, 2018).

Yüzey kaplama işlemlerinde inert bir yapıya sahip olan h-BN, oksitlenmeye karşı dirençli olması sebebiyle kullanışlı bir malzemedir.

Döküm sektöründe kullanılan kalıpların yüzeyleri h-BN tozu ile kaplatıldığında yapışma oranı azalır malzeme ve kalıp arasındaki reaksiyon gerçekleşmesi engellenmiş olur. Bu şekilde oluşturulan kalıp içerisinden rahat bir şekilde ayrılır. Bu yöntemle kullanılan kalıp uzun ömürlü ve uygulanan işlemlerin zamanı kısılır. Genelde kaplamalar kauçuk, plastik, cam, metal sektöründe kullanılmaktadır.

BN tozları kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılabilmektedir. Bu şekilde üretilen kompozitler de yüksek termal şok direnci ve iyi korozyon direncine sahip olurlar (Doğrul, 2018). Karbon nanotüplere benzer olan bor nitrür nanotüplerin gelişmesiyle birlikte termal iletkenlik, elektrik yalıtımı, gerektiren sektörlerde de kullanımı artmıştır.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Amaç

Bu çalışmada farklı oranlarda (ağırlıkça; %0, %0,1, %0,3 ve %0,5) h-BN kullanarak cam elyaf takviyeli epoksi matrisli termoset kompozit malzemelerde elyaf-matris arayüzeyinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşaması olarak h-BN tozlarının cam elyaf üzerine püskürtülmesidir. Farklı oranlarda h-BN püskürtülen cam elyaflara vakum infüzyon yöntemi kullanılarak epoksi reçinesi transferi yaparak kompozit malzemeler üretilecektir. Üretilen kompozit malzemelere mekanik testler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. h-BN katkısının üretilen kompozit malzemelerdeki etkisi incelenecektir.

### 5.2. Kullanılan Malzemeler

#### 5.2.1. Cam elyaf

Çalışmada 0° ve 90° yönelimlerine sahip E-camı elyafları takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Elyaflar Metyx Composites Corporation, İstanbul / TÜRKİYE şirketi tarafından temin edilmiştir. Çizelge 5.1'de kullanılan cam elyafın özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kullanılan E-cam elyafın özellikleri

E-Cam Elyafı	0° Çözümlü ipliği, tex	90° Atkı ipliği, tex	0° çözümlü ipliği alan ağırlığı, gr/m <sup>2</sup>	90° çözümlü ipliği alan ağırlığı, gr/m <sup>2</sup>	Kumaş alan ağırlığı (çözümlü, atkı ve örgü ipliği) gr/m <sup>2</sup>
LT1200E 05B 0/90 G5	2400	1200	566	614	1187

### 5.2.2. Epoksi

Epoksi olarak Duratek firmasının Duratek 1200 epoksisi kullanıldı. Sertleştirici olarak aynı firmanın DTS 1151 ürünü kullanılmıştır. Epoksi ve sertleştirici karışımı 21/79 oranında kullanıldı. Her 79 gr epoksi için 21gr sertleştirici ilave edildi Elde edilen bu karışım düşük viskoziteli çok açık sarı renkte,  $350 \pm 50$  mPa s viskozite değerinde,  $1,10 - 1,15 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğundadır. Karışımın kap ömrü ( $23^\circ\text{C}$ 'de,100ml) de 170 -185dk arasındadır.



Şekil 5.1. DTE 1200 epoksi ve DTS 1151 sertleştirici

### 5.2.3. Hegzagonal bor nitrür

Çalışmada kullanıla başka takviye elemanı ise 300-400 nm nano boyutta h-BN tozu, Ankara'da yer alan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) tarafından temin edilmiştir. h-BN tozu etanol yardımıyla solüsyon haline getirilip cam elyaf üzerine püskürtülerek takviyesi yapılmıştır. Şekil 6.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Hegzagonal bor nitrür

### 5.3. Yöntem

#### 5.3.1. Cam elyafların h-BN ile kaplanması

Çalışmada kullanılan E-Cam elyafları kumaş topundan 25cmx25cm boyutlarında üretilecek her bir plaka için dörder adet kesildi. Kesim işlemi yapılırken elyaf üzerinde herhangi bir yabancı madde ve boşluk olmaması gerekir. Kesim işlemi yapıldıktan sonra hava yardımıyla elyaflar temizlenir. Çalışmada farklı oranda ağırlıkça (%0, %0,1 %0,3 ve %0,5) hBN kullanıldı. Bu oranlar literatürdeki araştırmalardan baz alındı.



Şekil 5.3. Püskürtme işlemi için solüsyon hazırlanma aşamaları

Şekil 5.3’de gösterildiği gibi püskürtme işleminin yapılabilmesi için 200 ml etanole hesaplanan h-BN miktarları (her bir plaka için) katılarak hazırlandı. Hazırlanan solüsyon manyetik karıştırıcıda ortalama 7dk karıştırıldı. Sonra solüsyon sonikasyon cihazında 15 dk bekletildi. Sonikasyon cihazında bekletilmesinin sebebi etanol içerisine katılan h-BN tozlarının homojen bir şekilde dağılmasıdır. Bu şekilde h-BN tozlarının çökmesi engellenmiş oldu.15 dk bekletildikten sonra karışım eşit miktarlara bölünerek püskürtme işlemine geçilmiştir.

Püskürtme işlemi, hazırlanmış elyafların her iki yüzeyine homojen bir şekilde dağıtılmasıdır. Toplamda üretilen her plaka için 8 yüzeye püskürtme işlemi yapılmıştır. Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 de püskürtme işleminde kullanılmış ethanol ve h-BN miktarları verilmiştir.



Şekil 5.4. Püskürtme işlemi ile elyaf yüzeylerin h-BN ile kaplanması

Püskürtme cihazına, toplamda kullanılan 200ml (her kompozit için) toplamda 8 yüzeye eşit miktarda püskürtülecek şekilde bölünmüştür. Bölünen solüsyon, el ile sürekli aynı yönde ve aynı basınçta homojen bir şekilde püskürtme işlemi tamamlandı. Püskürtme işleminden sonra elyaflar 24 saat kurumaya bırakılarak elyaf üzerindeki etanol uzaklaşmış oldu. Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 de gösterildiği gibi 4 katlı elyaf katmanlarının tüm yüzeyleri h-BN ve etanol içeren solüsyon ile kaplanmıştır. Ortalama olarak her bir yüzey 50ml solüsyon içermektedir.

Çizelge 5.2. %0,5 h-BN içeren solüsyonun elyaf yüzeylerine dağılmış miktarları

	Etanol(g)	h-BN(g)	Toplam(g)
1.Kat	24,715	0,28127	49,99
	24,715	0,28123	
2.Kat	24,713	0,28124	50,00
	24,725	0,28126	
3.Kat	24,712	0,28122	49,99
	24,718	0,28125	
4.Kat	24,725	0,28121	49,94
	24,723	0,28128	

Çizelge 5.3. %0,3 h-BN içeren solüsyonun elyaf yüzeylerine dağılmış miktarları

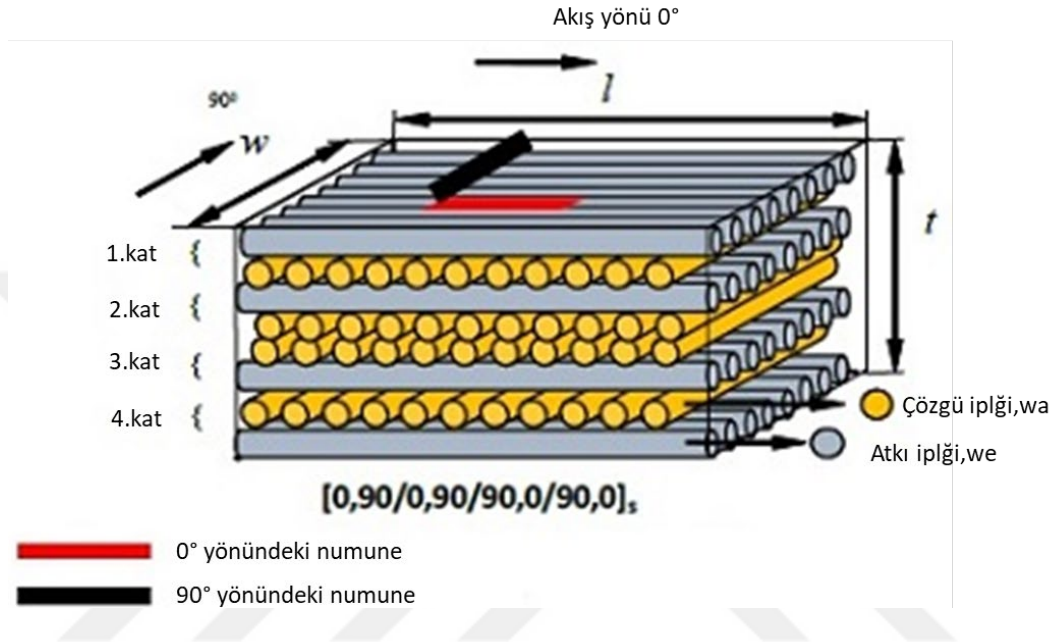
	Etanol(g)	h-BN(g)	Toplam(g)
1.Kat	24,831	0,16875	49,99
	24,828	0,16873	
2.Kat	24,825	0,16869	50,00
	24,841	0,16872	
3.Kat	24,819	0,16877	49,98
	24,828	0,16871	
4.Kat	24,818	0,16881	49,98
	24,833	0,16872	

Çizelge 5.4. %0,1 h-BN içeren solüsyonun elyaf yüzeylerine dağılmış miktarları

	Etanol(g)	h-BN(g)	Toplam(g)
1.Kat	24,938	0,05621	49,99
	24,943	0,05628	
2.Kat	24,939	0,05627	49,99
	24,942	0,05625	
3.Kat	24,929	0,05628	49,98
	24,946	0,05627	
4.Kat	24,937	0,05623	50,00
	24,951	0,05629	

### 5.3.2. Kompozit plakaların üretimi

Püskürtme işleminden sonra kumaşlar kurutulmuştur. Kuruyan kumaşları şekildeki gibi simetrik bir şekilde dizdikten sonra kompozit üretimine geçilmiştir. Çalışmada vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Vakum ortamında reçinenin ilerlemesi ve fiber malzemeyi ıslatması prensibiyle çalışan bir yöntemdir. Çalışma prensibi RTM yöntemi ile benzerdir.



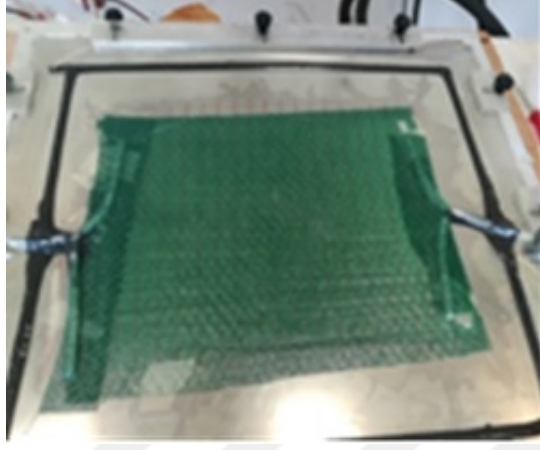
Şekil 5.5. Elyaf katmanların simetrik dizilimi (Çolak, 2018)

Elyafların bu şekilde dizilmesiyle üretilecek kompozitlerin simetrik yapıda olması sağlanır. Simetrik yapıda olan kompozitlerde, kompozitlere uygulanan yüke veya etkiye dayanıklılık gösterebilecektir. Böylece cam elyafının her iki yönde ( $0^\circ$  ve  $90^\circ$ ) bulunması sebebiyle kompozitlerin yük taşıma oranı artması beklenmektedir. Üretilecek kompozitler için gerekli reçine miktarı Çizelge 5.5 Verilmiştir. Ortalama olarak 450-480 g arasında epoksi kullanılmıştır. Gerekli karışım için 100 g için 79/21 oranı kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. Kompozit plakaların üretiminde kullanılan epoksi ve sertleştirici miktarları

Plaka	İçerik	Epoksi(g)	Sertleştirici(g)
1	%0 h-BN	355	95
2	%0,1 h-BN	357	93
3	%0,3 h-BN	363	86
4	%0,5 h-BN	379	70

Çalışmamızda vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Vakum infüzyon yöntemi kullanılarak kompozit içerisindeki hava kabarcıklarını büyük oranda azaltmamızı sağlayan bir yöntemdir.



Şekil 5.6. Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit üretimi

Kompozit malzemeleri üretirken yapılan işlemler şu şekildedir; kalıp üzerinde üretimin yapılacağı alan öncelikle aseton ile temizlendi. Temizlenmiş alana kalıp ayırıcı olarak release 1080 sürüldü ve katılaşması için 5-6 dk beklendi. Bu işlem iki kere tekrarlandı. Sonuçta iki kat kalıp ayırıcı sürülmüş oldu. Sürülen kalıp ayırıcı malzemesi katılaştıktan sonra 25 cm\*25cm boyutlarında kesilmiş cam elyaflar kalıp üzerine yerleştirildi. Cam elyaflar üzerine akış filesi ve soyma kumaşı serildi. Soyma kumaşları ve akış fileleri elyafları tamamen kapatacak şekilde serilmesi önemlidir. Reçinenin sisteme giriş yapılacağı ve vakum yapılacağı çıkış elemanları elyaf uzunluğunun kesildi ve yerleştirildi. Gerekli bağlantı noktaları macun ile kapatıldı. Bu sayede kaçak olması engellendi. En son vakum torbası kesilerek sistem kapatıldı. Sistem vakum altına alındı.

Epoksi karışımları 79/21 oranında hazırlandı. Ortalama 2dk karıştırıldı. Vakum altında bulunan sisteme reçine ilavesi yapıldı. Cam elyaflar tamamen ıslandıktan sonra reçine akışı kesildi. Sistem kurlaşmaya bırakıldı. Yaklaşık 24 saat 80°C de kürlendi. En sonunda ürün kalıptan ayrıldı.



Şekil 5.7. Üretilmiş kompozit

Vakum infüzyon yöntemi ile dört farklı tipte kompozit üretilmiştir. Bu kompozitlerde ilk tipte üretilen kompozit malzemeler sadece cam fiber ve epoksi içeren kompozit malzemelerdir. Bunlar %0 h-BN olarak adlandırılmıştır. Bor takviyesi püskürtme metodu ile gerçekleştirilmiştir. Burada ise numuneler yüzde ağırlıkça oranına göre isimlendirilmiştir.

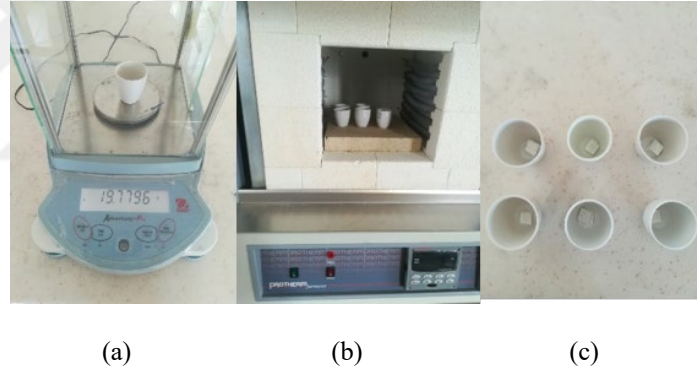
Bu kompozitler, %0,1 h-BN, %0,3 h-BN, %0,5 h-BN şeklinde isimlendirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere yakma, çekme, eğme, charpy darbe testi uygulanmıştır. Karakterizasyon işlemleri FTIR testi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler tartışılmıştır.

## 6. DENEYSEL İŞLEMLER

Çalışmada üretilen kompozit malzemelere uygulanılacak testler; çekme, eğme ve charpy darbe testi. Ayrıca elyaf hacim oranını belirlemek için yakma testi gerçekleştirilmiştir. Deneysel işlemlere ilk olarak yakma testi ile başlanmıştır.

### 6.1.Yakma Testi

Yakma testinin amacı üretilmiş kompozitlerde bulunan elyafın hacim oranını öğrenmektir. Üretilen kompozitlerin elyaf hacim oranları ASTM D3171-99 standardına uygun olarak yakma testi gerçekleştirilmiştir. Yakma testinde önce her kompozit plakada en az 10mmx10mmxkalınlık mm boyutlarında üçer tane numune alındı.



Şekil 6.1.Yakma testi aşamaları a) yakma öncesi numune tartımı b) yakma işlemi 620 °C'de c) yakma sonrası numuneler

Şekil 6.1'de yakma testi aşamaları gösterilmiştir. Bu numunelerin gerekli kalınlık, en ve boy hesabı yapıldıktan sonra boş krozelere konuldu. Numuneler fırına konulmadan önce boş kroze tartıldı. Sonra numune ile birlikte kroze tartıldı. Her numune için bu işlem yapıldıktan sonra numuneler fırına konuldu. Fırına konulan numuneler 10 °C/dak artışla 620°C'ye kadar ısıtıldı ve 620°C'de 4 saat bekletildi 10 °C/dak azalışla numuneler soğutulduktan sonra fırından alındı ve tartıldı. Bu işlem sayesinde kompozit numune içerisindeki polimer uzaklaştırılmış oldu. Geriye elyaf yığını kalmıştır. Gerekli hesaplamalar yapılarak kompozit içerisindeki elyaf hacim oranı ve yüzde elyaf ağırlığı hesaplanabilmektedir. Çizelge 6.1'de yakma testinde kullanılan numunelerin uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri verilmiştir.

Fırından alınan numuneler tartılır ve denklem 6.1'deki formüle göre elyaf hacim oranı hesaplandı.

$$V_r = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \times \frac{p_c}{p_r} \quad 6.1$$

$V_r$ =Yüzde elyaf hacim oranı

$M_f$ = Yakma işleminden sonraki numune ağırlığı (g)

$M_i$ =İlk numune ağırlığı (g)

$p_c$ =Teorik yoğunluk

$p_r$ =Elyaf yoğunluğu 2,6 g/cm<sup>3</sup>

Denklem 6.2'deki formüle göre yüzde elyaf ağırlığı hesaplandı

$$W_r = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad 6.2$$

$W_r$ =Yüzde elyaf ağırlığı

$M_f$ = Yakma işleminden sonraki numune ağırlığı (g)

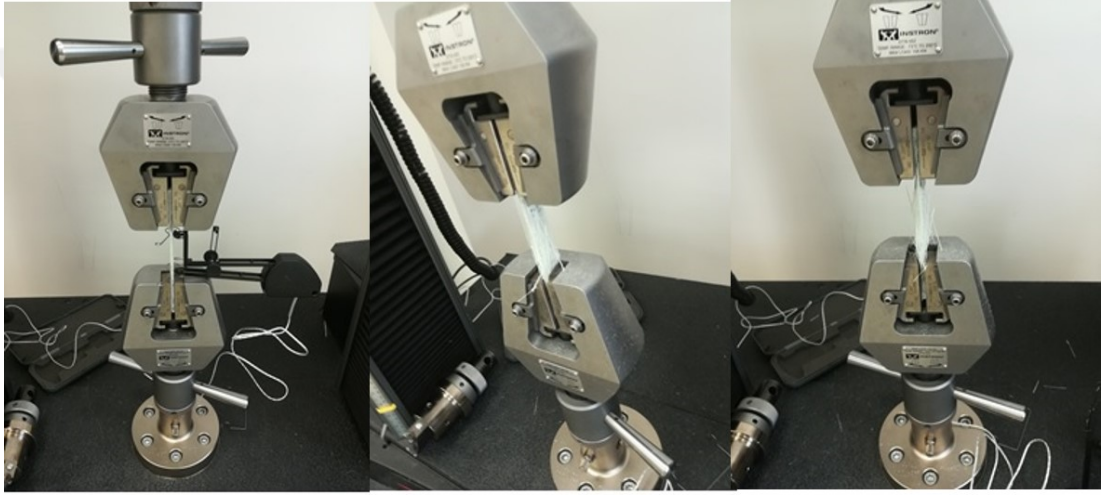
$M_i$ =İlk numune ağırlığı (g)

Çizelge 6.1. Yakma testi numunelerinin boyutları

	Numuneler	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Hacim (cm <sup>3</sup> )
%0 h-BN	1	3,40	12,1	10,7	0,440
	2	3,35	10,9	10,6	0,387
	3	3,32	10,9	10,7	0,387
%0,1 h-BN	1	3,22	11,37	11,18	0,409
	2	3,28	11,74	11,65	0,449
	3	3,29	11,26	11,28	0,418
%0,3 h-BN	1	3,49	11,16	11,6	0,452
	2	3,43	11,08	10,71	0,407
	3	3,33	10,81	10,55	0,380
%0,5 h-BN	1	3,48	10,07	10,33	0,362
	2	3,71	40,47	10,73	1,611
	3	3,38	11,57	11,45	0,448

## 6.2. Çekme Testi

Çekme testi, bir malzemeden alınan numunenin tek bir eksen boyunca belirli bir hızla koparılıncaya kadar çekilmesidir. Çekme deneyinde cihaz, birbirine göre hareket edebilen, deney numunesinin yerleştirildiği iki çene ve bu çenelere hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen birimlerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda çekilerek deney numunesine değişen miktarlar çekme kuvveti uygulanmakta ve bu kuvvete karşılık gelen uzama miktarı kaydedilmektedir. Çalışmamızda OMÜ KİTAM bünyesinde bulunmakta olan INSTRON 5982 100KN universal test cihazı ile çekme deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Çekme testi düzeneği

Çekme testi ile malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılmaktadır. Bu şekilde herhangi bir uygulama için malzeme seçiminde malzemenin diğer kuvvetler etkisinde ne şekilde davranacağını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Deney sonucunda malzemenin maksimum uzaması, kesit daralması, maksimum çekme dayanımı elde edilir

Çekme testi için ASTM-D3039/D3039M standarttı baz alınmıştır. Numune boyu 160 mm eni 20 mm'dir. Çekme testi numunelerinin her iki ucuna da deney sırasında çenelerin numuneyi tutabilmesi için Al plakalar yerleştirilmiştir. Çekme testi 5mm/dak hızında gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş kompozit plakalardan her birinden 0° ve 90° yönünde üçer adet numuneler alınıp çekme testi gerçekleştirilmiştir.

Çekme testi sonuçlarından maksimum gerilme, elastisite modülü ve gerinim değerlerini denklem 6.3, denklem 6.4 ve denklem 6.5’de verilen formüller kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad 6.3$$

$\sigma_{\zeta}$ =Çekme dayanımı (MPa)

$P_{max}$ =Uygulanan maksimum yük (N)

$A_0$ =Numunenin ilk kesit alanı ( $mm^2$ )

$$\epsilon = \frac{l - l_i}{l_i} \quad 6.4$$

$\epsilon$ =Gerinim değeri (mm)

$l_i$ =Numunenin ilk boyu (mm)

$l$ =Numunenin son boyu (mm)

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

6.5

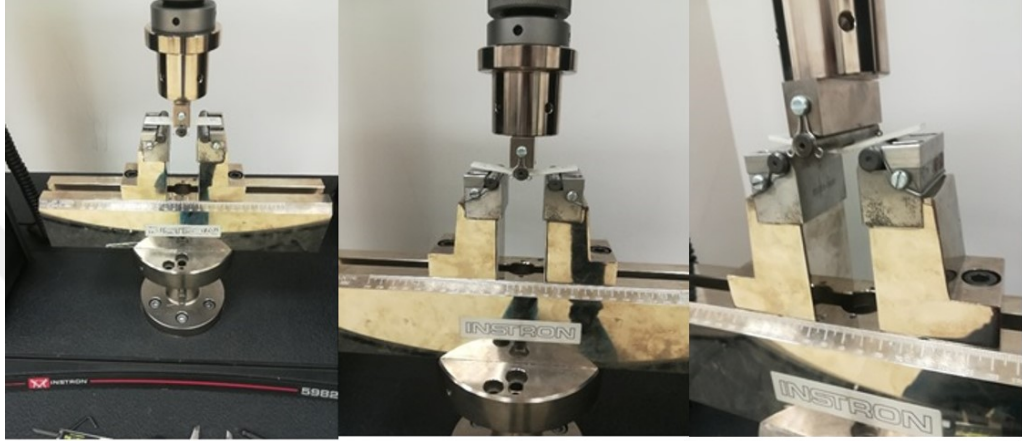
E=Elastisite modülü (GPa)

$\sigma$ =Normal gerilme ( $N/mm^2$ )

$\epsilon$ =Birim uzama (mm)

### 6.3. Üç Nokta Eğme Testi

Eğme deneyi, iki destek noktası üzerine yerleştirilmiş numunenin orta noktasına bir kuvvet uygulanarak gerçekleştirilir. Deney kuvvet sonucunda numunenin oluşmakta olan şekil değişimlerine karşı göstermiş olduğu direnci belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Eğme deneyi OMÜ KİTAM bünyesinde bulunmakta olan INSTRON 5982 100KN universal test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3. Eğme testi düzeneği

Çalışmada eğme testi için, üretilen plakaların (%0 ve %0,1, %0,3 ve %0,5 h-BN) 0° ve 90° yönlerinde üçer tane numune alınmıştır. Numunelerin boyutları ASTM-D790 standartlarına göre belirlendi. Numune ölçüleri, 80 mm uzunluğunda, 15 mm genişliğinde olacak şekilde hazırlandı.

Üç nokta eğme testi sonuçları denklem 6.6'da verilen formüle göre test cihazından alınan verilere göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_m = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad 6.6$$

$\sigma_m$  = Eğme dayanımı (MPa)

$P$  = Uygulanan kuvvet (N)

$L$  = Span uzunluğu (mm)

$b$  = Numune genişliği (mm)

$h$  = Numune kalınlığı (mm)

#### 6.4. Charpy Darbe Testi

Ani gelişen darbelere karşı dirençli bir malzeme seçmek için malzemenin kopmalara karşı direnci darbe testi ile öğrenilmektedir. Charpy darbe testi için numuneler çentikli veya çentiksiz olmaktadır. Çalışmamızda çentiksiz charpy darbe deneyi gerçekleştirilmiştir. Test belli bir yükseklikten bırakılan ağır bir sarkacın deney numunesini çarparak kırmasıyla gerçekleştirilir. Çalışmada charpy darbe testi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan ALSA ZBC 2000 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.4. Charpy darbe testi düzeneği

Test sırasında belirli bir ağırlığa (G) sahip sarkaç h yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi (G x h) mertebesinde iken sarkaç düşürüldüğünden numuneyi kırar ve yüksekli h'den düşük olan h1 yüksekliğine çıkar. Kırılmadan sonra sarkacın potansiyel enerjisi (G x h1) olur. Kırılma enerjisi bu iki potansiyel enerjinin farkı olur. Kırılma enerjisi denklem 6.7'de verilen formüle göre hesaplanır. Çalışmada elde edilen kırılma enerjileri cihazdan alınmıştır. Çalışmada darbe numuneleri 80 mmx10 mm boyutlarındadır.

$$\text{Kırılma Enerjisi} = G(h-h_1) = GxLx(\cos\beta - \cos\alpha) \quad 6.7$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg),

L = Sarkacın boyu (m),

h = Sarkacın ilk yüksekliği (m),

h1 = Sarkacın kırılmadan sonraki yüksekliği (m),

$\beta$  = Yükseliş açısı (derece)  $\alpha$  = Çıkış açısı (derece)

## 6.5. Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopi (FTIR) Analizi

FTIR spektroskopisi ile malzemelerin tanımlanması ve doğrulanması, kullanılmış katkı malzemelerin tanınması ve miktarların belirlenmesi, malzemelerin kalite kontrollerinin sağlanması vb. işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin temel prensibi, malzemelerin molekül içi bağlarının üzerlerine kızılötesi ışınları düşürülerek, bağların titreşim ve dönme hareketleri ile soğurulmasına dayanır. Polimerler, boyalar, kauçuklar, kaplamalar, reçineler ve yapışkanlar gibi bileşiklerin tespitinde de kullanılmaktadır. Çalışmada Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan PIKE MIRACLE markalı cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.5. FTIR test cihazı

Çalışmada üretilmiş kompozitlerden ve saf h-BN tozlarından numune alınmış ve FTIR testleri gerçekleştirilmiştir. Püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesi yapılmış ve üretilmiş kompozit malzemelerin tanımlanması yapılmıştır.

## 6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM; Scanning Electron Microscope), hızlandırılmış elektron demeti numune üzerine gönderilerek numune yüzeyinin taranması sonucu görüntü elde edilebilen mikroskop türüdür. Bu mikroskop sayesinde numune yüzeyindeki kompozisyon hakkında bilgiler elde edilmektedir. SEM analizleri KİTAM' da bulunan JEOL markası JSM-7001F model cihazda yapılmıştır.



Şekil 6.6. SEM cihazı

## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda üretilen kompozit plakalar yakma, çekme, eğme ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Bu çalışma kapsamında üretilmiş olduğumuz kompozitlerin mekanik dayanımına h-BN takviyesi incelenmiştir.

### 7.1. Yakma Testi Sonuçları

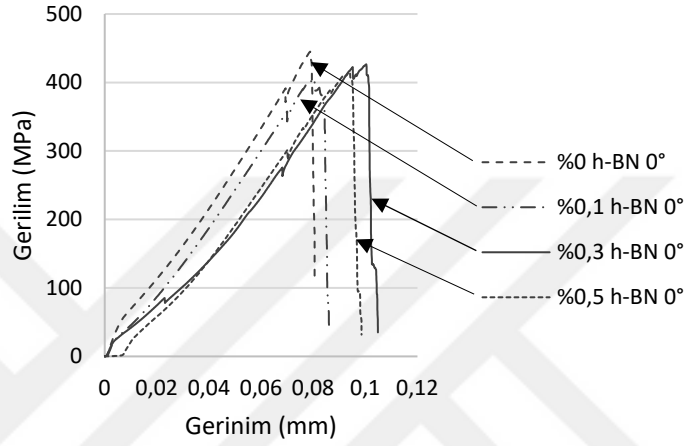
Yakma testi ile elde edilen elyaf hacim oranından, kompozit malzemelerde birim alana düşen elyaf miktarını hesaplanmaktadır. Elyaf hacim oranı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini yorumlamamıza yardımcı olmaktadır. Çizelge 7.1'de püskürtme yöntemi ile yapılan h-BN takviyesi yapılan kompozit plakalardan alınan numunelerin elyaf hacim oranları göstermektedir.

Çizelge 7.1. Yakma testi sonucunda hesaplanan elyaf-hacim oranı

Numune	Atkı İpliği (%)	Çözümlü İpliği (%)	Örgü İpliği (%)	Toplam (%)	Kalınlık (mm)
%0 h-BN	26,4	24,3	0,99	51,8	3,35
%0,1 h BN	26,3	24,3	0,99	51,6	3,25
%0,3 h-BN	26,8	24,8	1,01	52,7	3,41
%0,5 h-BN	28,4	26,2	1,07	55,7	3,52

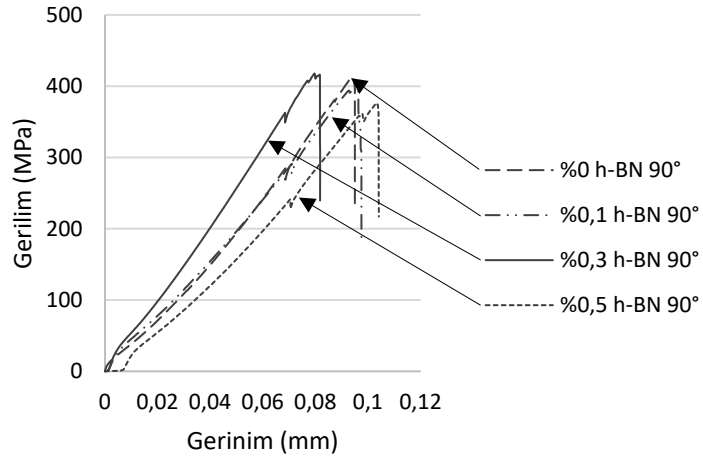
## 7.2. Çekme Testi Sonuçları

Üretilen %0 ve %0,1, %0,3 ve %0,5 ve %2 hBN oranına sahip plakalardan 0° ve 90° yönünde üçer tane numune alınmıştır. Toplam 30 numuneye çekme testi yapılmıştır. Testler OMÜ KİTAM bünyesinde bulunan INSTRON 5982 100KN universal test cihazı ile eğme testi uygulanmıştır. Çekme numuneleri 16cmx2cmxNumune kalınlığı (mm)boyutlarındadır. Çekme testi sonuçları püskürtme yöntemi ile üretilen plakalar ve ultrasonik homojenizatör yoluyla üretilen plakalar kendi aralarında tartışılmıştır.

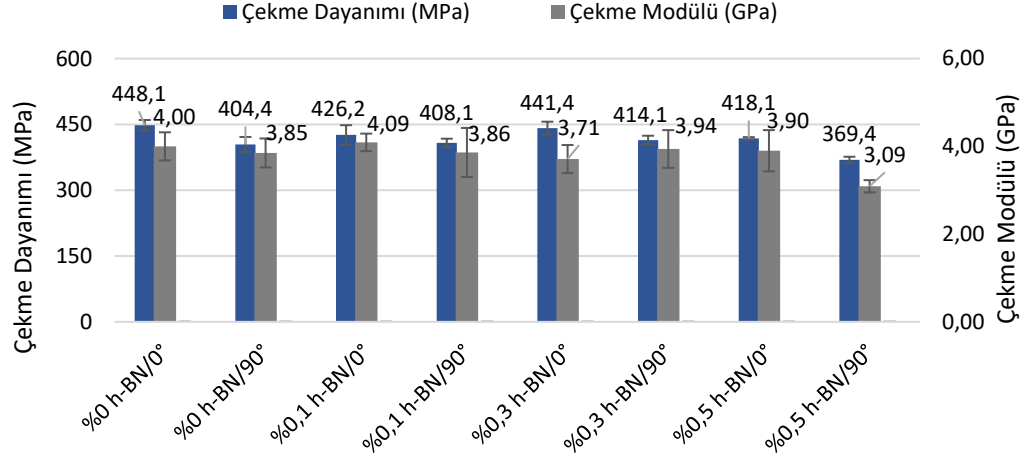


Şekil 7.1. 0° yönünde alınan numunelerin çekme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri

Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de 0° ve 90° doğrultularında ağırlıkça %0, %0,1, %0,3 ve %0,5 h-BN içeren kompozit plakalardan alınan numunelerin gerilim ve gerinim eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 7.2. 90° yönünde alınan numunelerin çekme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri



Şekil 7.3. 0° ve 90° yönünde alınan numunelerin çekme testi sonuçları

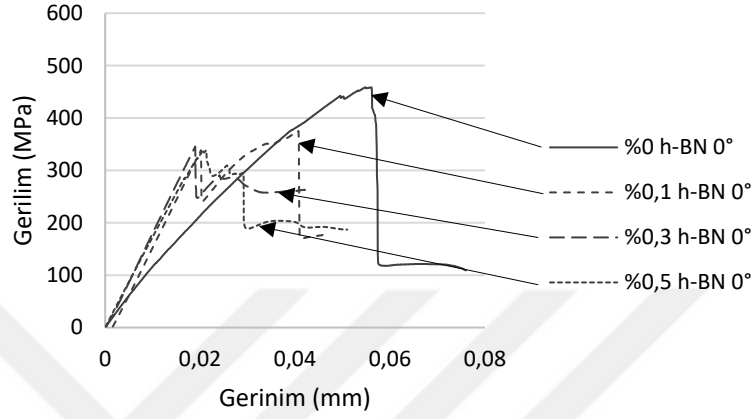
Genel olarak borun katılmasıyla numunelerin 0° yönünde dayanımlarında az miktarda düşüş ve 90° yönünde bazı numunelerde (%0,1 ve %0,3) az miktarda yükseliş ve bir numunede (%0,5) az bir miktarda düşüş yaşanmıştır. %0,3 hBN katılmasıyla bor katkılı numuneler arasında 0° yönünde en yüksek (441 MPa) dayanıma sahiptir. 90° yönünde ise %0,3 bor oranına sahip (414 MPa) kompozit yüksek dayanım göstermiştir. Elastite modüllerinde ise 0° ve 90° yönünde azalmalar görülmüştür. %0,3 bor katkılı kompozitler 0° yönünde  $\approx$ %7 oranında bir azalma göstermiştir. 90° yönünde ise %0,5 bor katkılı kompozitte ise  $\approx$ %20 oranında azalış göstermiştir. Çizelge 7.3’de çekme testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Çekme testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterimi

Numune	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (Gpa)
%0 h-BN 0°	448,1 ± 11,9	4,00 ± 0,32
%0 h-BN 90°	404,4 ± 16,9	3,85 ± 0,33
%0,1 h-BN 0°	426,2 ± 22,0	4,09 ± 0,20
%0,1 h-BN 90°	408,1 ± 9,35	3,86 ± 0,56
%0,3 h-BN 0°	441,4 ± 14,8	3,71 ± 0,32
%0,3 h-BN 90°	414,1 ± 10,1	3,94 ± 0,43
%0,5 h-BN 0°	418,1 ± 2,90	3,90 ± 0,47
%0,5 h-BN 90°	369,4 ± 6,89	3,09 ± 0,14

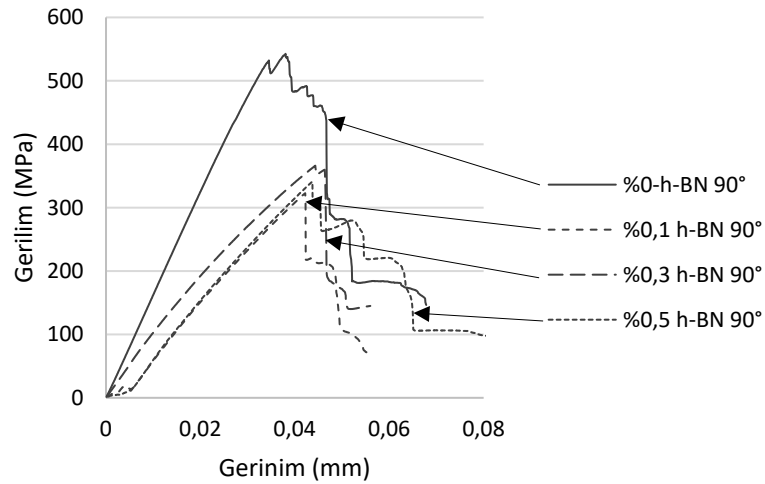
### 7.3. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Üretilen %0 ve %0,1, %0,3, %0,5 ve %2 hBN oranına sahip plakalardan 0° ve 90° yönünde üçer tane numune alınmıştır. Toplam 30 numuneye üç nokta eğme testi yapılmıştır. Testler OMÜ KİTAM bünyesinde bulunan INSTRON 5982 100KN universal test cihazı ile eğme testi uygulanmıştır. Eğme numuneleri 8cmx1,5 cmxNumune kalınlığı (mm)boyutlarındadır.

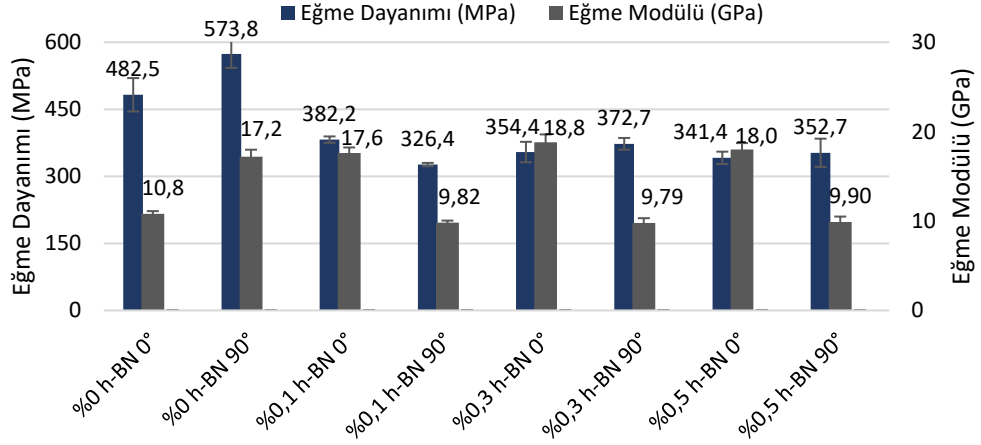


Şekil 7.4. 0° yönünde alınan numunelerin üç nokta eğme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da 0° ve 90° doğrultularında ağırlıkça %0, %0,1, %0,3 ve %0,5 h-BN içeren kompozit plakalardan alınan numunelerin gerilim-gerinim eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 7.5. 90° yönünde alınan numunelerin üç nokta eğme testi sonuçlarının gerilim-gerinim eğrileri



Şekil 7.6. 0° ve 90° yönünde alınan numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

Kompozite hBN katılması sonucunda dayanımlarda düşüklük görülmüştür. Eğme testi sonuçlarına göre 90° yönündeki dayanımlar %0,1 lik numune hariç 0° yönüne oranla yüksek çıkmıştır. %0,1 oranında hBN katılan kompozit diğer borlu kompozitler arasında dayanımı 0° yönünde (382,2 MPa) en yüksek çıkmıştır.

Eğme modüllerinde ise bor nitrürün eklenmesiyle 0° yönündeki numunelerde artış gözlenirken 90° yönünde azalma görülmüştür. %0,3 oranında hBN katılmasıyla eğme modülünde  $\approx$ %86 artış göstermiştir. En düşük eğme modülü %0,3 oranında hBN katılmasıyla  $\approx$ %43 oranında 90° yönünde azalma göstermiştir.

Çizelge 7.3. Eğme testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterimi

Numune	Eğme Dayanımı (MPa)	Eğme Modülü (GPa)
%0 h-BN 0°	482,5 ± 37,2	10,8 ± 0,31
%0 h-BN 90°	573,8 ± 31,2	17,2 ± 0,78
%0,1 h-BN 0°	382,2 ± 7,09	17,6 ± 0,63
%0,1 h-BN 90°	326,4 ± 3,67	9,82 ± 0,23
%0,3 h-BN 0°	354,4 ± 22,8	18,8 ± 0,89
%0,3 h-BN 90°	372,7 ± 13,1	9,79 ± 0,53
%0,5 h-BN 0°	342,5 ± 13,8	18,0 ± 0,72
%0,5 h-BN 90°	352,7 ± 31,5	9,90 ± 0,60

#### 7.4. Charpy Darbe Testi Sonuçları

Üretilen plakaların %0 ve %0,1, %0,3 ve %0,5 hBN oranına sahip plakalardan 0° ve 90° yönünde üçer tane numune alınmıştır. Toplam 24 numuneye charpy testi yapılmıştır. Testler OMÜ Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan ALSA ZBC 2000 Charpy test cihazı ile darbe testi uygulanmıştır. Eğme numuneleri 8cmx1cmxkalınlığı (cm) boyutlarındadır. Belirli bir ağırlığa sahip çekicinin salınmasıyla numunenin kırılması sağlanır. Elde edilen sonuç bize numunenin kırılma enerjisini verir.

Çizelge 7.4. Charpy darbe testi sonuçlarının standart sapmaları ile birlikte gösterimi

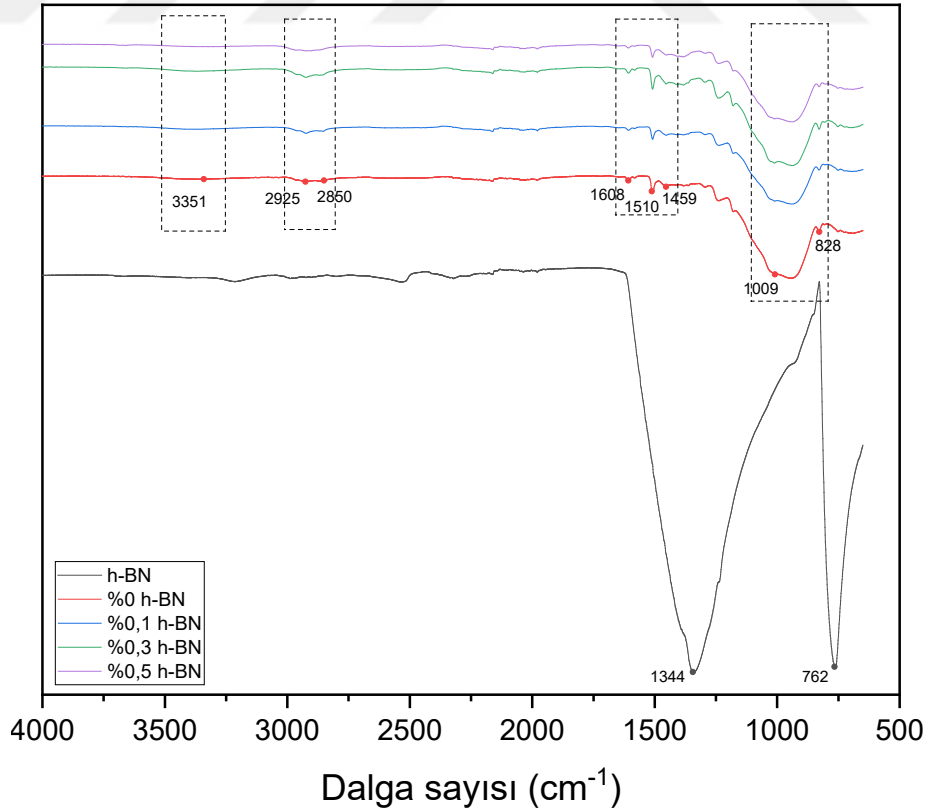
Numune	Kırılma Enerjisi (J)	Kalınlık (mm)
%0 h-BN 0°	8,58 ± 0,31	3,47
%0 h-BN 90°	7,45 ± 0,30	3,42
%0,1 h-BN 0°	7,27 ± 0,44	3,41
%0,1 h-BN 90°	9,55 ± 0,28	3,49
%0,3 h-BN 0°	7,69 ± 1,72	3,53
%0,3 h-BN 90°	7,18 ± 2,34	3,37
%0,5 h-BN 0°	13,2 ± 13,8	3,32
%0,5 h-BN 90°	11,2 ± 0,36	3,41

Charpy darbe testi sonuçlarında ise kırılma enerjilerinde 0° yönünde en yüksek değere %0,5 oranında hBN'ye sahip numuneler çıkmıştır. 90° yönünde ise yine %0,5 hBN'li numuneler en yüksek değere çıkmıştır.

## 7.5. FTIR Sonuçları

Çalışmada üretilen kompozit malzemelerden alınan numunelerin FTIR spektrumu Şekil 7.7 'da gösterilmiştir.

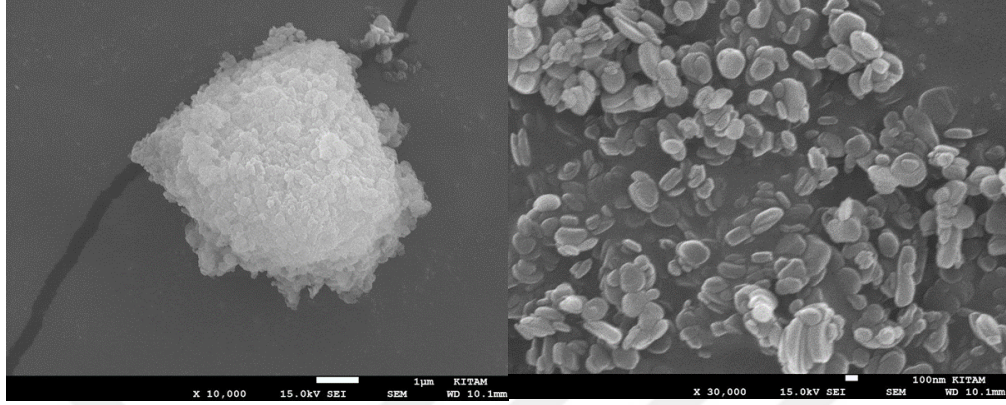
Şekil 7.7 'de ağırlıkça %0, %0,1, %0,3 ve %0,5 h-BN içeriğine sahip kompozit malzemelerin FTIR spektrumu gösterilmiştir. %0 h-BN içeriğine sahip kompozit malzemeye h-BN takviyesi yapıldığında çok fazla değişim göstermemiştir. Bütün kompozitlerin pik değerlerinin gerilimi hemen hemen aynıdır.  $3351\text{ cm}^{-1}$ deki geniş pik değeri OH gerilme titreşimlerini,  $2850\text{ cm}^{-1}$  ve  $2925\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler C-C bağlarını,  $1608\text{ cm}^{-1}$ ,  $1510\text{ cm}^{-1}$  ve  $1459\text{ cm}^{-1}$ 'daki pikler C-C bağlarını  $1009\text{ cm}^{-1}$ deki gerilmeler Si-O-Si,  $828\text{ cm}^{-1}$ 'deki Si-O eğilimi ni göstermektedir (Li vd, 2016; Ulus, 2014). Şekil 7.7'de h-BN tozuna ait FTIR spektrumu h-BN eğrisinde gösterilmektedir. Spektrum incelendiği zaman B-N gerilmesine karşılık gelen pik değeri  $1344\text{ cm}^{-1}$ 'de  $762\text{ cm}^{-1}$  pik değeri ise B-N-B bağıni belirtir. Literatür incelendiği zaman bu değerler farklılık gösterebilir. Düzlem içi bağı absorpsiyon pik değerleri  $1377\text{ cm}^{-1}$  ve  $1435\text{ cm}^{-1}$  olduğu FTIR spektrumu sonuçları da rapor edilmiştir (Hao vd, 2002; Dai vd, 2007).



Şekil 7.7. FTIR sonuçları

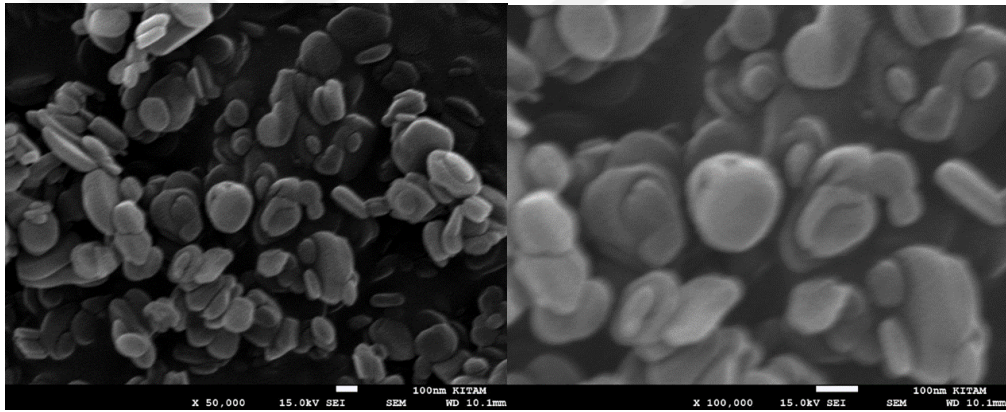
## 7.6. SEM Görüntüleri

SEM analizleri h-BN tozlarına yapılmıştır. Şekil 7.8’de h-BN ait SEM görüntüleri farklı büyütme oranlarında verilmiştir.



(a)

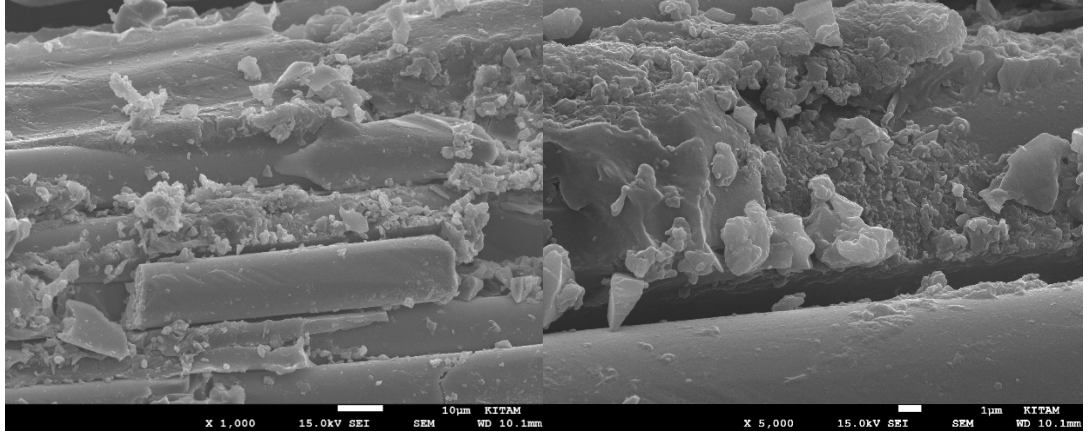
(b)



(c)

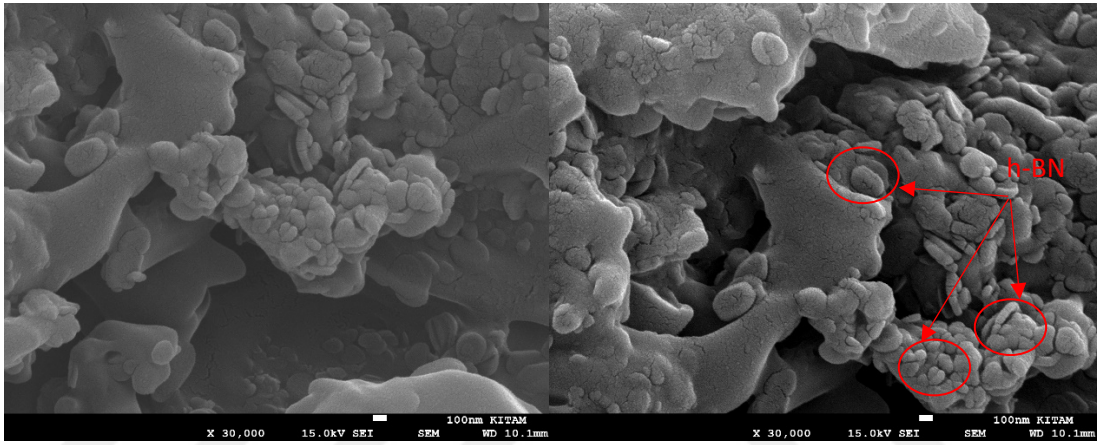
(d)

Şekil 7.8. h-BN ait SEM görüntüsü a) x10.000 b) x30.000 c) x50.000 d) x100.000 büyütme oranı



(a)

(b)

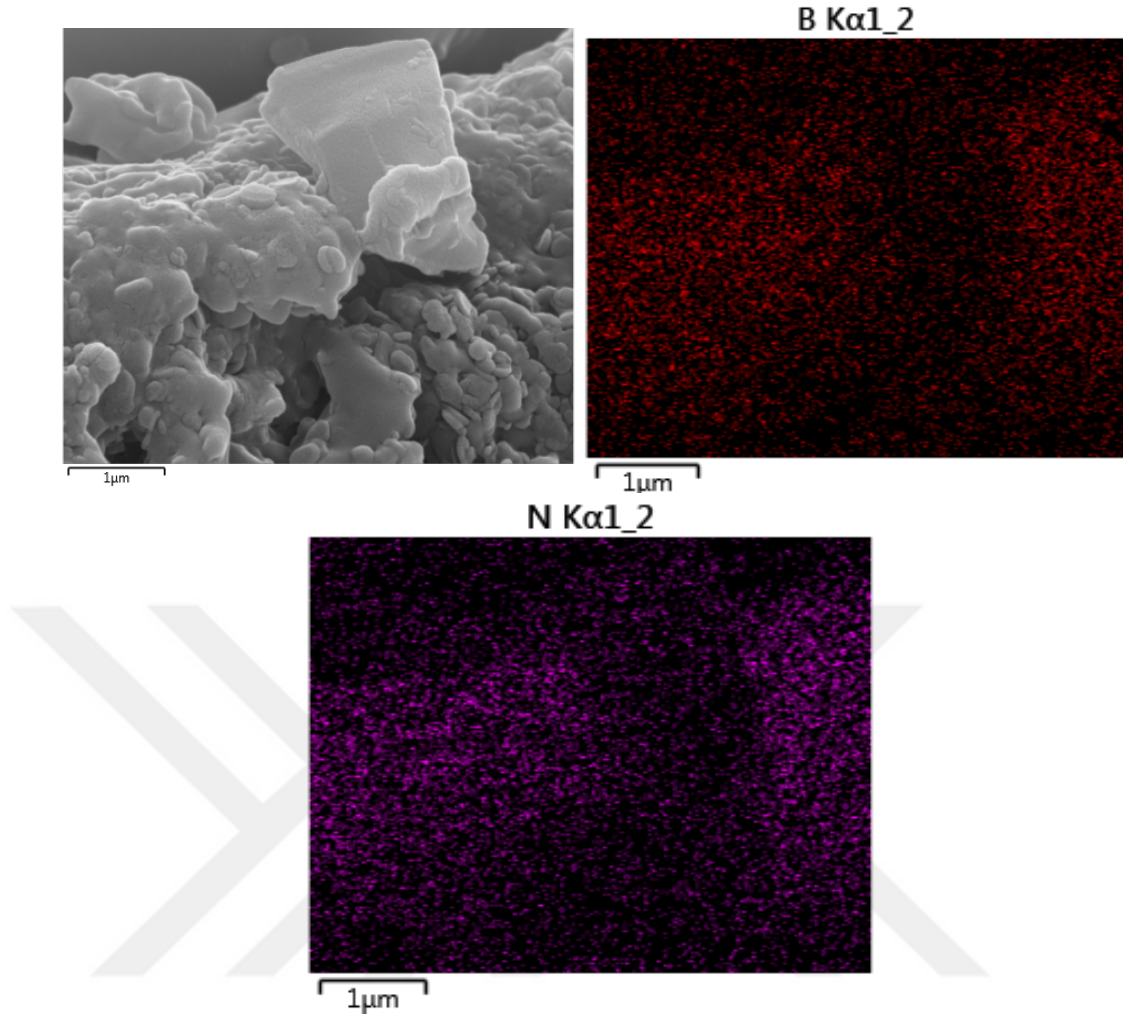


(c)

(d)

Şekil 7.9. Kompozit plakadan alınan numuneye ait SEM görüntüsü a)10µm b)1 µm c) ve d)100 nm

Şekil 7.9'da h-BN içeren kompozit numune kesitine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Farklı büyütme oranları ile alınan görüntüler incelendiği zaman h-BN'nin kompozit malzeme içerisinde varlığı gözükmemektedir. Numunelere EDS analizi yapılarak yapı içerisindeki bor elementine ait yerlerin haritası çıkartılmıştır.



Şekil 7.10. EDS element haritası

SEM analizinin yanı sıra numuneye EDS analizi yapılmıştır. Şekil 7.10'da görüldüğü gibi kırmızı ve mor noktaların yoğunluğu kompozit içerisindeki bor ve azot elementinin varlığını gösterir.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamız, epoksi matrisli cam fiber takviyeli termoset kompozit malzemelerde matris/fiber arayüzey etkilişimini geliştirmeyi amaçlamıştır. Matris fiber arayüzeyin geliştirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirilmesi düşünülmektedir. Bu amaçla epoksi matrisli cam fiber takviyeli kompozit malzemeye püskürtme yoluyla h-BN takviyesi yapılmıştır. Cam elyafların yüzeyleri farklı oranlarda (ağırlıkça %0, %0,1, %0,3 ve %0,5) kaplanarak vakum infüzyon yöntemi ile kompozitler oluşturulmuştur. Bu yöntem ile üretilen kompozit malzemelerin mekanik testleri yapılmıştır doğan sonuçlar tartışılmıştır. Üretilen kompozitlere FTIR testi uygulayarak kimyasal yapıları incelenmiştir. Uygulanan deneyler sonucunda kompozitlerin çekme, eğilme, darbe dayanımları, elastisite modülleri belirlenmiş ve bulunan sonuçlar h-BN'in cam elyaf yüzeyinde ve epoksi içerisindeki durumu ile ilişkilendirilmiştir. Uygulanan SEM ve EDS analizi kompozit içerisindeki h-BN varlığı görüntülenmiştir.

Püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesi yapılan kompozit malzemelere uygulanan testler sonucunda genel anlamda mekanik özelliklerinde düşüş gözlenmiştir. Kompozit malzemelere uygulanan yakma testi ile elyaf hacim oranları belirlenmiştir. Kompozit malzemelere h-BN takviyesi ile birlikte elyaf hacim oranlarında artış gözükmiştir. Çekme testi sonuçlarında h-BN içermeyen kompozit malzemelere oranla borlu kompozitlerin 0° yönünde çekme dayanımlarında az bir düşüş gerçekleşmiştir. 90° yönünde ise %0,1 ve %0,3 bor içeren kompozitlerde az bir yükseliş göstermiştir. Elastisite modüllerinde ise %0,5 bor içeren kompozit malzemelerde  $\approx$ %20'lik bir düşüş gözlenmiştir. Eğme testi sonuçlarında ise 0° ve 90° yönlerinde çekme dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. %0,1 ve %0,3 h-BN'li kompozit malzemeler %0,5'e oranla daha iyi performans göstermiştir. Eğme modüllerinde ise 0° yönünde artış varken 90° yönünde azalış göstermiştir. 0° yönünde  $\approx$ %86 lık artışla %0,3 h-BN'li kompozit en yüksek eğme modülüne sahip olmuştur. Charpy darbe testi sonuçlarına göre %0,5 h-BN'li kompozit malzemelerin 0° ve 90° yönünde kırılma enerjisi en yüksek çıkmıştır.

Kompozit malzemelere uygulanan FTIR testi ile h-BN'nin katılmasıyla kompozit malzemelerin kimyasal yapılarında bir değişiklik olmamıştır. Burada h-BN sadece takviye elemanı olarak yer almıştır.

Literatürdeki yöntemler incelendiğinde takviye elemanın hangi yöntemle yapıldığının önemi görülmüştür. Farklı yöntemlerin uygulanışı kompozit malzemelerin özelliklerinin değiştirdiği gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan h-BN tozu takviyesinin püskürtme yöntemi ile yapılmıştır. Literatürde ise h-BN takviyesi genelde epoksi içerisine dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Karşılaştırılma yapıldığında ise h-BN dolgu olarak kullanıldığı zaman malzemelerin mekanik özelliklerinde artış görülmüştür. Burada matris/fiber arayüzey bağlantısı h-BN takviyesi ile iyileştiği gözlenmiştir. Uygulanan püskürtme yönteminde ise h-BN takviyesi ile kompozit malzemelerin matris/fiber arayüzey bağlantısı kötü hale gelmiştir. Eğme testi sonuçlarındaki düşüş bunu göstermiştir.

Püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesi cam elyaf üzerinde hidrofob özelliği gösterildiği düşünülmektedir. Bu sebeple cam elyaf yüzeyde yeterince ıslanmadığı için mekanik özelliklerde istenilen performansa ulaşılmadı.

Vakum infüzyon yöntemi ile üretilecek kompozit malzemelerde kullanılacak fiber ve h-BN'ü fonksiyonelleştirerek daha iyi özellikler elde edileceği düşünülmektedir. Cam fiberin fonksiyonelleştirilmesi sağlanırsa matris/fiber arayüzey bağlantısı iyileştirildiği gözükümüştür. Bu şekilde kompozit malzemelerin eğilme ve ILSS dayanımlarında artış görülmüştür (Tang vd,2019). Fonksiyonelleştirilme sayesinde püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesinde oluşan cam fiberin hidrob olma durumu ortadan kalkabilir. Uygulanan yöntem sonunda mekanik özelliklerin değişime uğradığı görülmüştür. Üretilecek kompozit malzemelerin ısı özellikleri incelenerek püskürtme yöntemi ile h-BN takviyesinin nasıl bir etki oluşturduğu tartışılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Akay, A. 2012. Bor nitrürün nano tabakalarına ayrılmasının incelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanoteknoloji Anabilim Dalı, 71, İstanbul.
- Ashrafi, B., Jakubinek, M. B., Martinez-Rubi, Y., Rahmat, M., Djokic, D., Laqua, K., Park, D., Kim, K. S., Simard, B., and Yousefpour, A. 2017. Multifunctional fiber reinforced polymer composites using carbon and boron nitride nanotubes. *Acta Astronautica*, 141, 57–63. doi: 10.1016/j.actaastro.2017.09.023
- Anonim. 2013. <http://teknikbil.blogspot.com/2013/11/plastik-enjeksiyon-yontemi-ve-islemi.html>
- Aydın, H.2018. Nanoyapılı hegzagonal bor nitrür üretimi ve karakterizasyonu. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 30:2, 269-275.
- Brocks, T., Shiino, M., Cioffi, M., Voorwald, H., and Caporalli, F. 2013. Experimental RTM manufacturing analysis of carbon/epoxy composites for aerospace application. *Materials Research*, 16:5, 1175-1182.
- Callister, W. D. and Rethwisch, D. G. 2015. Material Science and Engineering (Cev. Genel, K. (8. Baskıdan 2011 ). Nobel. 16: 626-674. Ankara
- Cheewawuttipong, W., Fuoka, D., Tanoue, S., Uematsu, H., and Iemoto, Y. 2013. Thermal and mechanical properties of polypropylene/boron nitride composites. *Energy Procedia*, 34, 808–817. doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.817
- Çamurlu, H. E., Topkaya, Y., ve Sevinç, N.2009. Catalytic effect of alkaline earth oxides on carbothermic formation of hexagonal boron nitride. *Ceramics International*, 35:6,2271-2275. doi: 10.1016/j.ceramint.2008.12.005
- Çolak, P. 2018. Karbon nanotüp katkılı cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 50, Samsun.
- Dai, J., Xu, L., Fang, Z., Sheng, D., Guo, Q., Ren, Z., Qian, Y. 2007. A convenient catalytic approach to synthesize straight boron nitride nanotubes using synergic nitrogen source. *Chemical Physics Letters*, 440 ,253-258. doi:10.1016/j.cplett.2007.04.059
- Demircan,G. 2018. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanopartikül katkılı aramaid elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri.Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 73, Şanlıurfa.
- Demircan, Ö., Ashibe, S., Kosui, T., and Nakai, A.2015. Effect of various knitting techniques on mechanical properties of biaxial weft-knitted thermoplastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28:6,816-910. doi:10.1177/0892705713519121

- Doğrul, F. 2018. Dinamik/ Termokimyasal Yöntemle h-BN Seramik Toz Üretimi.Yüksek Lisans Tezi.Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 88, Sakarya.
- Durgun, İ. 2014. El Yatırma Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi. 7. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu ,283-287. Ankara: Çankaya Üniversitesi.
- Durgun, İ. 2014. Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi. 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi. Bursa.
- Eurasiacomp. 2020. Kompozit malzemeler. <https://eurasiacomp.com/kompozit-malzemeler>
- Genç, Ç., ve Arıcı, A. 2008. Yat imalatında kullanılan ctp malzeme ve imalat yöntemleri bölüm III: İnfüzyon Yöntemi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*,178, 28-31.
- Günaydın, E. 2018. Polimer matriksli karbon nanotüp-cam elyaf takviyeli kompozitlerde çarpma sonrası basma özelliklerinin incelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 75, Samsun.
- Hao, X., Cui, D., Xu, X., Yu, M., Bai, Y., Liu, Z., and Jiang, M. 2002. A novel synthetic route to prepare cubic BN nanorods. *Materials Research Bulletin* ,32, 2082-2091.
- Harrison, C., Weaver, S., Bertelsen, C., Burgett, E., Hertel, N., and Grulke, E. 2008. Polyethylene/Boron nitride composites for space radiation shielding. *Journal of Applied Polymer Science*,109, 2529–2538. doi:10.1002/app.27949
- Haubner, R., Wilhelm, M., Weissenbacher, R., and Lux, B. 2002. Boron nitrides - properties, synthesis and applications. High performance non-oxide ceramics II. Structure and bonding, 102, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Isarn, I., Ramis, X., Ferrando, F., and Serra, A. 2018. Thermoconductive thermosetting composites based on boron nitride fillers and thiol-epoxy matrices. *Polymers*, 10:3. doi: 10.3390/polym10030277
- Kadioğlu, K. 2018. LPET ve PP matriksli termoplastik kompozit malzemelerin üretimi için uygun proses şartlarının belirlenmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması.Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 83, Samsun.
- Khatab, A. 2005. Exploratory Development of VARIM Process for Manufacturing High Temperature Polymer Matrix Composites.Ph.D thesis. USA: University of Missouri.
- Koç, V., ve Demirel, M. 2019. Epoksi reçine-MgO polimer matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi ve pin on disk abrasiv aşınma özelliklerinin ncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1-10.
- Kompozit Sanayicileri Derneği.2016. Türk kompozit sektörü 2015 yılı değerlendirilmesi ve 2016 yılı beklentileri. *Composites Turkey*,12, 38-39.
- Li, S., Li, Y., Zhu, H., Lin, Q., Hou, H., Lv, T.and Cui, C. 2016. Evaluation of glass-fiber grafted by epoxide-terminated hyperbranched polymer on the effect of mechanical characterization of epoxy composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, 25:2,417-424. doi: 10.1515/secm-2016-0041

- Madakbaşı, S., Çakmakçı, E., and Kahraman, M. V. 2013. Preparation and thermal properties of polyacrylonitrile/hexagonal boron nitride composites. *Thermochimica Acta*, 552, 1–4. doi: 10.1016/j.tca.2012.11.011
- Mazumdar, S. K. 2002. Composites Manufacturing. USA: CRC Press.
- MEB. 2012. Kimya Teknolojisi. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
- Mindivan, H., ve Kayalı, E. 2007. SiC takviyeli 2618 Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı. *İtüdergisi/d*, 63-70.
- O'Connor, T. 1962. Synthesis of boron nitride. *Journal of American Chemical Society*, 84:9, 1753-1754.
- Olgun, Ö. H., ve Çavdar, U. 2018. Termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kaynaklanmasında induksiyonla ısıtmanın etkileri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20:2, 1–14. doi: 10.25092/baunfbed.480558
- Öz, M. 2016. Hegzagonal bor nitrürün açık atmosferde termal davranışları. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 1-2.
- Özdemir, D., Mecit, H., Seventekin, N., ve Öktem, T. 2006. Cam lifleri. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 281-287.
- Peters, S. 2008. Handbook of composites,(Second edition). London: Chapman & Hall.
- Poliya. 2020. Fitol Sarma. <https://www.poliya.com/tr/fitil-sarma>
- Rahmat, M., Ashrafi, B., Naftel, A., Djokic, D., Martinez-Rubi, Y., Jakubinek, M. B., and Simard, B. 2018. Enhanced shear performance of hybrid glass fiber-epoxy laminates modified with boron nitride nanotubes. *ACS Applied Nano Materials*, 1:6, 1–28. doi:10.1021/acsanm.8b00413
- Ratna, D. 2009. Handbook of thermoset resins. Shrewsbury: Smithers Rapra.
- Robert, M. 1999. Mechanics of composite materials,(Second edition). USA: Taylor and Francis.
- Saçak, M. 2012. Polimer teknolojisi. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Sezgin, A. 2020. Vakum infüzyon yöntemiyle alümina nanopartikül takviyeli hibrit kompozit malzemelerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 97, İstanbul.
- Solak, H. 2012. Lif ve mineral takviyeli melamin matrisli kompozit malzemelerin ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 79, Kahramanmaraş.
- Sönmez, M. 2009. Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, 203, İstanbul.
- Şahin, Y. 2006. Kompozit malzemelere giriş. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Şelte, A. 2011. Metal enjeksiyon kalıplama teknolojisi. *Metalurji*, 14-20.

- Tang, L., He, M., Na, X., Guan, X., Zhang, R., Zhang, J., and Gu, J. 2019. Functionalized glass fibers cloth/spherical BN fillers/epoxy laminated composites with excellent thermal conductivities and electrical insulation properties. *Composites Communications* , 16 , 5–10 doi: 10.1016/j.coco.2019.08.007.
- Töre, İ. 2006. Hegzagonal bor nitrür toz sentezi ve sinterleme davranışları. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, Eskişehir.
- Ulus, H. 2014. Ark Deşarj yöntemi ile bor nitrür nano levha üretimi karakterizasyonu ve karbon kumaş/epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerine Katkısının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 95, Konya.
- Ün, C. İ. 2015. Epoksi matris E-camı dokuma fiber takviyeli termoset kompozitlerde üçüncü bileşen kalsit dolgunun özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programı, 140, İstanbul.
- Yıldız, A., Ashibe, S., Tatsuya, K., and Demircan, Ö. 2018. Effect of integration of carbon nanotubes(CNTs) on flexural properties of thermoplastic composites, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18) ,22-24 March, Book of Abstract, 102-104, Karabük, Türkiye
- Yu, C., Zhang, J., Li, Z., Tian, W., Wang, L., Luo, J., Li, Q., Fan, X., and Yao, Y. 2017. Enhanced through-plane thermal conductivity of boron nitride/epoxy composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 98, 25–31. doi:10.1016/j.compositesa.2017.03.012
- Zhou, W., Zuo, J., Zhang, X., and Zhou, A. 2014. Thermal, electrical, and mechanical properties of hexagonal boron nitride-reinforced epoxy composites. *Journal of Composite Materials*, 48:20 ,2517–2526. doi: 10.1177/0021998313499953
- Zum, G. K. 1987. Microstructure and wear of materials. Elsevier, Amsterdam.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Abdurrahman YILDIZ

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise :Ladik Çok Programlı Lisesi (2012)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (2017)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı (9.2017 –.2020)

### Yayımlar

Yıldız, A., Ashibe, S., Tatsuya, K., and Demircan, Ö. 2018. Effect of integration of carbon nanotubes(CNTs) on flexural properties of thermoplastic composites, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18) ,22-24 March,Book of Full Text,102-104, Karabük,Türkiye

Demircan Ö. and Yıldız A.,2018. Flexural properties of glass fiber/LPET/AL2O3 thermoplastic composites, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech2018),22-23 November,Proceeding Book,2800-2803,Ankara,Türkiye

Demircan Ö. and Yıldız A.,2018. Flexural properties of glass fiber/polypropylene/MWCNT thermoplastic composites, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech2018),22-23 November,Proceeding Book,2804-2808,Ankara,Türkiye

Yıldız A. ve Demircan Ö.,2019. Al2O3 Katkılı LPET/Cam fiber termoplastik kompozit malzemelerin darbe ve çekme özelliklerinin incelenmesi, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi(IKSAD),27-29 Aralık,Tam Metin Bildiri Kitabı,655-660,Samsun,Türkiye

Yıldız A. ve Demircan Ö.,2019. MWCNT takviyeli çift eksenli atkılı örme kumaşların darbe özelliklerinin incelenmesi, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi(IKSAD),27-29 Aralık,Tam Metin Bildiri Kitabı,661-665,Samsun,Türkiye

Demircan Ö., Yıldız D., ve Yıldız A.,2019. Çekirdek malzemeli polimer matrisli cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde hegzagonal bor nitrür nano malzemelerin arayüzey özelliklerine etkisinin incelenmesi, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi(IKSAD),27-29 Aralık,Tam Metin Bildiri Kitabı,619-624,Samsun,Türkiye

Demircan Ö., Yıldız D., ve Yıldız A.,2019. Çekirdek malzemeli polimer matrisli cam elyaf takviyeli sandviç kompozitlerde hegzagonal bor nitrür nano malzemelerin darbe özelliklerine etkisinin incelenmesi, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi(IKSAD),27-29 Aralık,Tam Metin Bildiri Kitabı,625-631,Samsun,Türkiye

### **Projeler**

‘Fiber takviyeli termoset ve termoplastik polimerik kompozitlerde (FRPC) fiber/matriks arayüzey özelliklerinin iyileştirilmesi için bor nano ve mikro parçacık yapıların kullanılması’ Proje kodu:2019-30-06-30-003. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN). 2019-2020.

