

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAFİF SİLAHLAR İÇİN POLİMER KOMPOZİT MALZEME SEÇİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Mahmutcan KARSLI**

**ARALIK 2016**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAFİF SİLAHLAR İÇİN POLİMER KOMPOZİT MALZEME SEÇİMİ**

**Makina Mühendisi Mahmutcan KARSLI**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 / 11 / 2016**

**Tezin Savunma Tarihi : 16 / 12 / 2016**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU**

**Trabzon 2016**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Anabilim Dalında**

**Mahmutcan KARSLI tarafından hazırlanan**

**HAFİF SİLAHLAR İÇİN POLİMER KOMPOZİT MALZEME SEÇİMİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 13/12/2016 tarih ve 1680 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Doç. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU**



**Üye : Doç. Dr. Murat AYDIN**



**Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Paşa HEKİMOĞLU**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Savunma sanayinin diğler alanlarında olduğu gibi dünya hafif silah endüstrisinde de son yıllarda hafiflik, yüksek mukavemet, düşük üretim maliyeti, kolay ve hızlı üretilebilirlik gibi başlıca avantajları nedeni ile kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmış ve bu alanda çalışmalar devam etmektedir. Son yıllarda polimer esaslı kompozit malzemeler üzerindeki çalışmalar büyük hız ve yoğunluk kazanarak önemli bir konuma gelmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmada, silah parçalarında kullanılmak üzere, polimer esaslı kompozit malzemelerin tribolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenerek silah sanayisine en uygun malzeme seçimi ile ülkemiz savunma sanayisine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Tez çalışmamın, planlanmasından sonuçlanmasına kadar ki tüm sürecinde değerli bilgilerini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Makina Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman manevi desteklerini ve güvenlerini hissettirerek bana güç veren ailem ve eşime sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Mahmutcan KARSLI

Trabzon 2016

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hafif Silahlar İçin Polimer Kompozit Malzeme Seçimi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16/12/2016

Mahmutcan KARSLI

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Hafif Silahlar .....	1
1.1.1. Tüfek .....	4
1.1.2. Tabanca .....	5
1.2. Kompozit Malzemeler.....	7
1.3. Kompozit Malzeme Yapısı ve Sınıflandırılması.....	9
1.3.1. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	11
1.3.2. Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	12
1.3.2.1. Matris ve Liflerin Fonksiyonu .....	14
1.3.2.2. Takviye Elemanları .....	14
1.3.2.2.1 Cam Elyaf.....	14
1.3.2.2.2. Karbon Elyaf .....	15
1.3.2.2.3. Aramid Elyaf .....	16
1.3.2.2.4. Bor Elyaf .....	16
1.3.2.2.5. Silisyum Karbür Elyaf.....	16
1.3.2.2.6. Alümina Elyaf .....	17
1.3.2.3. Matris Malzemeleri .....	17
1.3.2.3.1. Metal Matrisler.....	17
1.3.2.3.2. Seramik Matrisler.....	18
1.3.2.3.3. Polimer Matrisler .....	18

1.3.2.3.3.1.	Termosetler .....	19
1.3.2.3.3.2.	Termoplastikler .....	19
1.4.	Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	23
1.4.1.	Elyaf Yatırma Yöntemi .....	23
1.4.2.	Püskürtme Yöntemi.....	23
1.4.3.	Basma Transfer Kalıplama Yöntemi.....	24
1.4.4.	Soğuk Presleme Yöntemi .....	24
1.4.5.	Helisel Sarma Yöntemi .....	25
1.4.6.	Tabakalı Birleştirme Yöntemi.....	25
1.4.7.	Ekstrüzyon Yöntemi.....	26
1.4.8.	Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi .....	27
1.5.	Literatür Özetleri .....	31
1.6.	Çalışmanın Amacı .....	33
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	34
2.1.	Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	37
2.2.	Yoğunlukların Belirlenmesi .....	37
2.3.	Sertlik Ölçümü .....	37
2.4.	Çekme Deneyi.....	39
2.5.	Darbe Deneyi .....	40
2.6.	Korozyon Deneyi .....	41
2.7.	Su Absorpsiyon Deneyi.....	42
2.8.	Aşınma Deneyi.....	43
3.	BULGULAR VE İRDELEME .....	45
3.1.	Mikroyapı Bulguları.....	45
3.2.	Numunelerin Yoğunluk Değerleri.....	49
3.3.	Sertlik Ölçüm Sonuçları .....	50
3.4.	Fiziksel ve Mekanik Özellikler .....	53
3.5.	Korozyon Deneyi Bulguları .....	56
3.6.	Su Absorpsiyon Deneyi Bulguları .....	56
3.7.	Kırık Yüzeylerin Mikroyapı Bulguları.....	57
3.8.	Aşınma Deneyi Bulguları.....	63
4.	SONUÇLAR .....	75

5.	ÖNERİLER .....	76
6.	KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ		





Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

## HAFİF SİLAHLAR İÇİN POLİMER KOMPOZİT MALZEME SEÇİMİ

Mahmutcan KARSLI

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU

2016, 79 Sayfa

Sanayinin diğer alanlarında olduğu gibi savunma sanayisinde de son yıllarda hafiflik, yüksek mukavemet, düşük üretim maliyeti, kolay ve hızlı üretilebilirlik gibi başlıca avantajları nedeni ile kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, hafif silahlar için kompozit malzeme seçimi yapılarak ülkemiz savunma sanayisine katkı sağlanması ve bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutulması amaçlanmıştır. Hafif silahlar için uygun malzemenin seçilebilmesi için enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş, %15-40 aralığında cam elyaf ve karbon elyaf kullanarak takviye edilmiş PA66 (poliamid66) ve PC (polikarbonat) kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan mekanik deneylerde kompozit malzemelerin mukavemet değerlerinin ve sertliklerinin elyaf takviyesinin artışıyla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. En yüksek mukavemet ve sertlik değerleri karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerden elde edilmiş olup yine bu malzemelerin sertlik değerleri sıcaklıktan ihmal edilebilir derecede az etkilenmiştir. Yapılan korozyon deneylerinde polimer kompozit malzemelerin korozyon dayanımlarının yüksek olduğu görülmüş olup su absorpsiyon deneyi sonuçlarında ise su emme dayanımı en yüksek malzemenin PC matrisli kompozitler olduğu belirlenmiştir. Aşınma deneylerinde PA66 kompozit malzemelerin aşınma dirençlerinin yüksek olduğu belirlenmiş olup tüm bu sonuçlar ışığında hafif silahlarda gövde malzemesi olarak kullanılabilir en uygun malzeme %40 oranında karbon elyaf içeren PA66'dır. Düşük gerilme değeri altında çalışan ve yüksek boyutsal kararlılık beklenmeyen parçaların imalatı için %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme kullanımı uygundur.

**Anahtar Kelimeler:** Hafif silahlar, Enjeksiyon kalıplama, Polimer kompozit malzemeler.

Master Thesis

SUMMARY

SELECTION OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL FOR LIGHT WEAPONS

Mahmutcan KARSLI

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Tevfik KUCUKOMEROGLU  
2016, 79 Pages

As in other areas of the industry, the world has started using composite materials in defence industry in the recent years due to the main advantages like lightness, high endurance, low production cost, easy and fast manufacturing and there are ongoing studies in this area. In this study, it is aimed to contribute to the defense industry of our country by making composite materials selection for light weapons and to shed light on the work to be done in this issue. Physical, mechanical and tribological properties of PA66 and PC composites reinforced with glass fiber and carbon fiber by using injection method between 15% and 40% have been investigated in order to select proper material for light weapons. It has been determined that the strength values and hardness of composite materials increase in direct proportion with the increase of fiber reinforcement in mechanical tests. The highest strength and hardness values were obtained with carbon fiber reinforced PA66 composite materials, and the hardness values of these materials have affected negligibly against the temperature. Corrosion resistances of polymer composite materials were found in high value at the corrosion tests and Water absorption test results showed that PC composites were the material with the highest water absorption resistance. In the abrasion tests, it was determined that the wear resistance of PA66 composite material were high. The most proper material is PA66 which contains 40% carbon fiber for frame of the light weapons. In order to produce the gun parts which will be worked under low tension and low dimensional stability, the best material is 30% enforcement glass fiber PA66.

**Key Words:** Light weapons, Injection molding, Polymer composite materials.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Yerli üretim yivsiz setsiz av tüfeği şematik resmi.....4
Şekil 2.	Piyade tüfeği şematik resmi.....5
Şekil 3.	Polimer kompozit esaslı özgün tabanca şematik resmi .....6
Şekil 4.	Kompozit malzemenin kesit görünüşü.....10
Şekil 5.	Kompozitlerin sınıflandırılması.....11
Şekil 6.	Parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı .....12
Şekil 7.	Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine.....12
Şekil 8.	Sürekli fiber ve kısa fiber kompozitler.....13
Şekil 9.	Sanayide geleneksel olarak kullanılan PA66 matrisli kompozit malzemelerin karşılaştırılmaları .....22
Şekil 10.	Elyaf yatırma yöntemi.....23
Şekil 11.	Püskürtme yöntemi.....24
Şekil 12.	Basma transfer kalıplama yöntemi.....24
Şekil 13.	Helisel sarma yöntemi.....25
Şekil 14.	Ekstrüzyon yöntemi.....26
Şekil 15.	Enjeksiyon kalıplama yönteminin aşamaları.....28
Şekil 16.	Plastik enjeksiyon makinesi.....28
Şekil 17.	Helezonik vidanın şematik görünümü.....29
Şekil 18.	Enjeksiyon Kalıp Tipleri (a) 2 plakalı kalıp, (b) 3 plakalı kalıp, (c) ters kalıp, (d) arayüzlü kalıp .....30
Şekil 19.	Enjeksiyon makinesine ait mengene grubu.....30
Şekil 20.	Arburg 370S 800-150 enjeksiyon makinesi.....34
Şekil 21.	Arburg 370S 800-150 enjeksiyon makinesi.....35
Şekil 22.	Sertlik ölçüm cihazı.....38
Şekil 23.	Sıcak ve soğuk ortam sağlayıcı.....38
Şekil 24.	Çekme deney makinesi.....39
Şekil 25.	Çekme deney numunesi.....40
Şekil 26.	Darbe deney cihazı.....41
Şekil 27.	Charpy darbe deney düzeneği ve numune boyutları.....41

Şekil 28.	Korozyon deneyi düzeneği.....	42
Şekil 29.	Su absorpsiyon deney düzeneği.....	43
Şekil 30.	Aşınma deney düzeneği.....	44
Şekil 31.	%15 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme.....	45
Şekil 32.	%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme.....	46
Şekil 33.	%40 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme.....	46
Şekil 34.	%30 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme.....	47
Şekil 35.	%40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme.....	47
Şekil 36.	%15 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzeme.....	48
Şekil 37.	%25 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzeme.....	48
Şekil 38.	%30 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzeme.....	49
Şekil 39.	Numunelerin sertlik değerleri.....	50
Şekil 40.	Cam elyaf takviyeli Poliamid (PA) numunelerinin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	51
Şekil 41.	Karbon elyaf takviyeli Poliamid (PA) numunelerinin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	52
Şekil 42.	Cam elyaf takviyeli PC numunelerinin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	52
Şekil 43.	Numunelerin akma sınırı değerleri.....	54
Şekil 44.	Numunelerin çekme mukavemeti değerleri.....	54
Şekil 45.	Numunelerin kopma uzaması değerleri.....	55
Şekil 46.	Numunelerin darbe dayanımı değerleri.....	55
Şekil 47.	%15 cam elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	58
Şekil 48.	%30 cam elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	58
Şekil 49.	%40 cam elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	59
Şekil 50.	%30 karbon elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	60
Şekil 51.	%40 karbon elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	60
Şekil 52.	%15 cam elyaf takviyeli PC numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	61
Şekil 53.	%25 cam elyaf takviyeli PC numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü.....	62

Şekil 54.	%30 cam elyaf takviyeli PC numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü .....	62
Şekil 55.	%15 cam elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	65
Şekil 56.	%30 cam elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	66
Şekil 57.	%40 cam elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	67
Şekil 58.	%30 karbon elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	68
Şekil 59.	%40 karbon elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	69
Şekil 60.	%15 cam elyaf takviyeli PC aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	70
Şekil 61.	%25 cam elyaf takviyeli PC aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	71
Şekil 62.	%30 cam elyaf takviyeli PC aşınma numunesindeki aşınma yolunun; a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü .....	72

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Malzeme Özelliği Önem Sırası .....	3
Tablo 2. Cam Elyaf Türleri ve Kimyasal Bileşimleri .....	15
Tablo 3. Takviye Elemanlarının Özellikleri .....	16
Tablo 4. Sık Kullanılan Termoplastiklerin Özellikleri .....	20
Tablo 5. Arburg Marka 370S Model Enjeksiyon Makinesinin Teknik Özellikleri .....	35
Tablo 6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numune Çiftleri .....	36
Tablo 7. Çekme Deney Numunesinin Boyutları .....	40
Tablo 8. Aşınma Deney Şartları .....	44
Tablo 9. DeneYlerde Kullanılan Numunelerin Gerçek ve Teorik Yoğunlukları .....	49
Tablo 10. Numunelerin Farklı Sıcaklıklarda Sertlik Değerleri .....	51
Tablo 11. Numunelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	53
Tablo 12. Numunelerin Su Absorpsiyon Değerleri .....	56
Tablo 13. Numunelerin Aşınma Miktarları .....	63
Tablo 14. Hafif Silah Malzemelerinden Beklenen Özelliklerin Değerlendirilmesi .....	73

## SEMBOLLER DİZİNİ

ABS	: Akronitril butadien strien
AISI	: American Iron and Steel Institute
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum oksit
ASTM	: American Society for Testing and Materials
HRE	: Rockwell E sertlik skalası
MMK	: Metal matrisli kompozit
PA	: Poliamid, naylon
PA66	: Poliamid 66
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PET	: Polyester
PMMA	: Polimetil meta arkilik
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloretilen
PVC	: Polivinil klorür
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SiC	: Silisyum karbür
YY	: Yüzyıl
$\rho$	: Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>
$\rho_m$	: Matris malzemesinin yoğunluğu
$\rho_t$	: Takviye elemanının yoğunluğu
m	: Kütle, gr
V	: Hacim, cm <sup>3</sup>
% <sub>m</sub>	: Matris malzemesinin hacimsel % oranı
% <sub>t</sub>	: Takviye elemanının hacimsel % oranı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Hafif Silahlar

Silah, insanların diğer canlı varlıklara karşı kendilerini savunma veya diğer canlı varlıklara saldırı amacıyla kullandığı araçlardır. Silahlar, bıçak, mızrak ve kılıç gibi kesici araçlardan top ve tüfek gibi patlayıcı araçlara kadar çok geniş bir yelpazeyi kapsarlar [1].

Silahlar, ateşsiz ve ateşli silahlar olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Ateşsiz silahların en önemlileri mızrak, bıçak, kılıç, hançer, kalkan, zırh ve ok olarak söylenebilir. Ateşsiz silahlardan ateşli silahlara geçişte en önemli olay barutun keşfidir. Barutun keşfi ve itici gücünün anlaşılması silahlarda kullanılabilmesini sağlamış ve ateşli silahları ortaya çıkarmıştır. Barutun keşfinin ardından bulunan barutun Ortadoğu ve Avrupa'ya geçmesiyle ateşli silahlarda önemli gelişmeler oldu. Ateşli silahlar ilk kez M.S. 1250 yıllarında Çin'de kullanılmıştır. Ateşli silahların ilk ortaya çıkışından bu yana hemen her dönemde mermi atan toplardan, cep tabancalarına kadar çeşitli silahlar yapıldı. Ateşli silahlar hafif ve ağır silahlar olmak üzere 2 grupta sınıflandırılırlar. Hafif silahlar tabanca ve tüfek gibi taşınabilen ve en yaygın kullanılan silah grubunu oluştururken ağır silahlar ise roket, füze ve top gibi taşınması zor ağır silahlar grubunu oluşturmaktadırlar [1, 2].

Hafif silahlar içerisinde tüfekler ve av tüfekleri omuza dayanarak, tabancalar ise elde tutularak ateşlenirler. Tüfeğe benzer ilk ateşli silah 1400'lerde yapılan ve arkebüz olarak adlandırılan küçük bir top iken 1500'lerde daha gelişmiş tüfekler yapıldı. Bunlar ağızdan doldurulup, fitilli ya da çakmaklı bir ateşleme sistemiyle ateşlenirdi. 1807'de çarpmalı ateşleme sistemi geliştirildi. Bu sistemde, çarpmayla alev alan bir kapsül haznedeki barutu ateşlerdi. 1840'larda çakmaklı ve fitilli tüfeklerin yerini çarpmalı ateşleme sistemiyle donatılmış silahlar aldı. Tabancalar, tek elle kullanılmak üzere tasarlanmış silahlardır. İlk tabancaların 1550'lerde süvari silahı olarak geliştirildiği bilinmektedir. 1831-1835 yılları arasında ABD'li Samuel Colt, revolver de denilen toplu tabancayı geliştirdi ve bu gelişmeyle tabancalarda büyük bir devrim yapıldı [1, 2].

Hafif silah sanayisinde son yıllarda; hafiflik, düşük maliyet, yüksek spesifik dayanım ve korozyon direnci gibi özellikleri sayesinde polimer kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmıştır. Tabanca ve tüfeklerin ahşap parçalarının yerine polimer malzemelerin kullanılmasıyla başlayan silah endüstrisinde polimer kompozit malzeme kullanımı



günümüzde daha da yaygınlaşarak metal parçaların yerlerini de polimerlere bırakmasına ortam sağlamıştır. Ana gövde parçaları da dahil olmak üzere tabanca ve tüfeklerin metal birçok parçalarının yerlerini artık polimer kompozit malzemeler almaya başlamıştır. Bu gelişmeler paralelinde silah yapımında kullanılacak malzemelerden beklenen genel özellikler aşağıda verilmiştir [2-4].

Silah parçaları yüksek gerilmeli yüklere maruz kaldıkları için parçaların imalatlarında kullanılacak malzemelerin mukavemet değerlerinin yüksek olması gerekli olup, malzemenin mukavemet ve elastik şekil değiştirmeye direncinin (yüksek elastisite modülü) yüksek olması, imal edilecek silahın, kullanım sırasında kalıcı deformasyona uğramadan ve maruz kalacağı gerilme etkisinde oluşacak elastik şekil değişiminin düşük olması, uzun kullanım süresince şekilsel değişimin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması, kullanım ömrünün artmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, seçilecek olan malzeme yüksek mukavemete ve elastisite modülüne sahip olmalıdır.

Silahlar yüksek şiddetli ve tekrarlı darbe yükleri altında çalışmaktadırlar. Kullanılan silahın uzun ömürlü olması ve kullanıcıya uzun süre hizmet verebilmesi amacıyla silahların parçalarının darbe dayanımlarının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle, seçilecek olan malzeme yüksek darbe dayanımına sahip olmalıdır.

Silah parçalarında zamanla ortaya çıkan aşınma nedeniyle oluşacak şekilsel değişimler silahın hedef hassasiyetinin olumsuz yönde değişmesine, dolayısıyla hedefi vuramama sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlar, kullanılan malzemelerin aşınma dayanımları ile direkt ilişkilidir. Bu nedenle, seçilecek olan malzeme yüksek aşınma dayanımına sahip olmalıdır.

Farklı iklim koşullarında kullanılan silahların aşırı sıcak ve soğuk ortamlarda sorunsuz ve en yüksek kararlılıkla çalışması istenir. Bu nedenle, seçilecek olan malzeme aşırı sıcaklık farklılıklarında boyutsal ve mukavemet açısından yüksek kararlılığa sahip olmalıdır.

Silahlar, kullanım ihtiyaçlarının gerektirdiği aşırı ortam koşullarında da sorunsuz (istikrarlı) şekilde çalışabilir durumda olmalıdırlar. Bu koşullardan biri aşırı nemli ortamlar olup, bu ortamda malzemenin su absorbe etme yeteneği silah parçalarını boyutsal değişime uğratarak çalışma performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, seçilecek olan malzemenin su absorpsiyon kabiliyetinin düşük (su emme direnci yüksek) olması istenir.

Korozyon, metalik gövdeleri silahlarda karşılaşılan en yaygın sorunlardan biridir. İnsan teri gibi birçok korozif sıvıyla etkileşimde kalan metalik gövdeli silahların

yüzeylerinde zamanla korozyon hasarları oluşarak, yüzeylerin aşınmasına yol açmaktadır. Bu durum, silahların öncelikli olarak estetik görünümünü etkileyerek ekonomik değerlerinin kayba uğramasına neden olmaktadır. Bu nedenle, seçilecek olan malzemeden yüksek korozyon direncine sahip olması istenir.

Silahların ergonomik açıdan kullanımının kolaylığı ve taşınabilirliği, kullanıcısının hareket kabiliyetini önemli oranda etkilemektedir. Bu nedenlerle, seçilecek olan malzemeden yüksek şekillendirilebilirlik ve düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları istenir.

Silah üreticilerinin en üstün performansa sahip silahı imal edebilmeleri için bu parametreleri en uygun oranda sağlayacak olan malzemeyi kullanmaları gereklidir. Aranılan bu parametrelerin öncelikleri belirlenerek, kullanılacak malzeme bu önceliklere göre tespit edilmelidir. Bu önceliklerin belirlenmesi ile ilgili oluşturulan Malzeme Özelliği Önem Sırası tablosu aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme Özelliği Önem Sırası

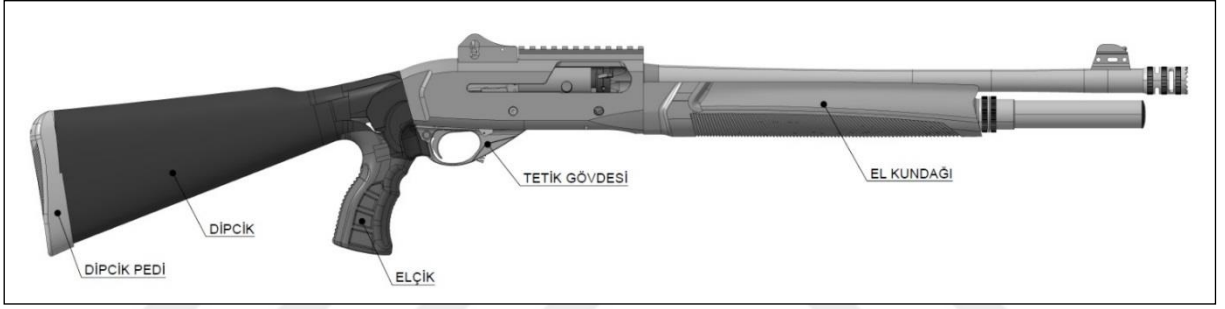
	MUKAVEMET	ELASTİSİTE MODÜLÜ	DARBE DAYANIMI	MALİYET	AŞINMA DİRENCİ	SERTLİK	SICAKLIKTA KARARLILIK	SU EMME DİRENCİ	KOROZYON DİRENCİ	YOĞUNLUK
MUKAVEMET		+	-	-	-	-	-	-	-	-
ELASTİSİTE MODÜLÜ	-		-	-	-	-	-	-	-	-
DARBE DAYANIMI	+	+		-	-	-	-	-	-	-
MALİYET	+++	+++	+++		+++	++	+++	++	++	+
AŞINMA DİRENCİ	+	+	+	-		-	-	-	-	-
SERTLİK	++	++	++	-	++		++	-	-	-
SICAKLIKTA KARARLILIK	++	++	+	-	+	-		-	-	-
SU EMME DİRENCİ	++	++	+++	-	+	+	+		-	-
KOROZYON DİRENCİ	+++	+++	++	-	+	+	++	+		-
YOĞUNLUK	+++	+++	++	-	++	++	++	+	+	
TOPLAM	17 +	18 +	14 +	0	11 +	6 +	10 +	4 +	3 +	1 +

Silah parçası yapımı için kullanılacak polimer matrisli kompozit malzemeden istenilen özelliklerin karşılaştırmalı matris yöntemiyle belirlenen önem sıralaması; 1- elastisite modülü, 2- mukavemet, 3- darbe dayanımı, 4- aşınma direnci, 5- sıcaklıkta

kararlılık, 6- sertlik, 7- su emme direnci, 8- korozyon direnci, 9- yoğunluk ve 10- maliyet şeklinde elde edilmiştir.

### 1.1.1. Tüfek

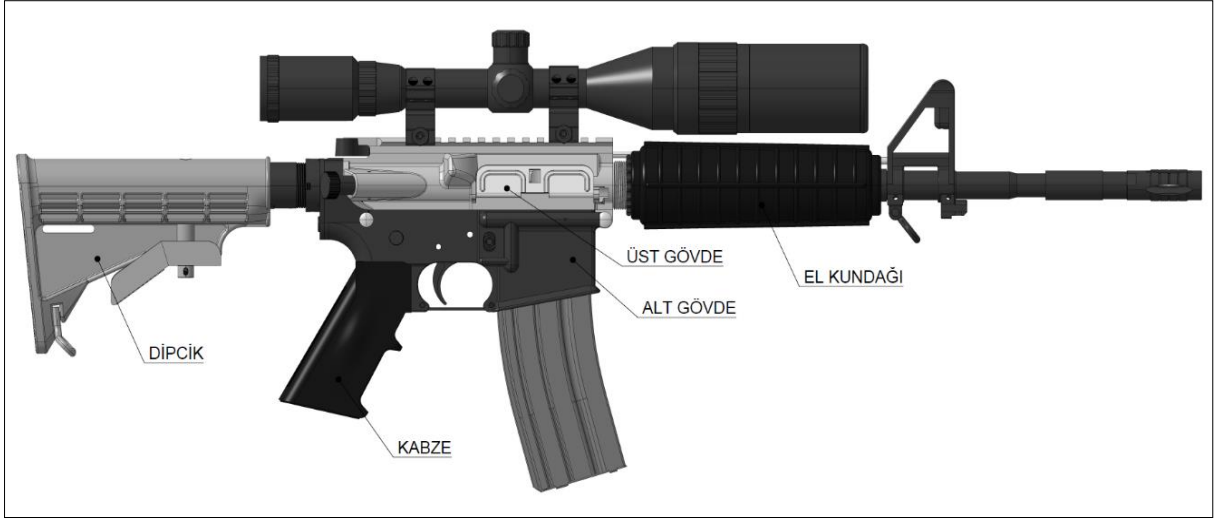
Tüfekler, namlularına göre yivsiz tüfekler ve yivli tüfekler olarak 2'ye ayrılırlar. Yivsiz tüfekler av ve spor amaçlı kullanılmakta olup, yivli tüfekler ise güvenlik güçleri tarafından kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan av tüfeklerine en yakın tasarımda av tüfeği 1875 yılında İngilizler tarafından bulunmuştur. Şekil 1'de birçok parçası kompozit malzemeden oluşan yerli üretim av tüfeğinin şematik resmi gösterilmektedir.



Şekil 1. Yerli Üretim Yivsiz Setsiz Av Tüfeği Şematik Resmi [2]

Şekil 1'de gösterilen yerli üretim tüfeğin dipçik pedi ve elçik parçaları kauçuk malzemeden üretilmiştir. Bunların yanında dipçik, tetik gövdesi, el kundağı gibi ana parçalarının yanında dipçik ayar pulu, limiter (kısıtlayıcı), el kundak somunu ayar parçası gibi birçok yardımcı parçaları da %15-30 oranlarında cam elyaf takviyelendirilmiş PA66 (Poliamid 66) malzemeden üretilmiştir. Tüfeğin ana gövde parçası 7075-T6 alüminyum alaşımından üretilmekte olup bu ana gövdenin de polimer kompozit olması da mümkündür.

Günümüzde üretilen piyade tüfeklerinde üst gövde ve alt gövde parçalarında 7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmaktadır. Son yıllarda bu ana gövde parçalarının polimer kompozit olması ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Şekil 2' de şematik resmi verilen piyade tüfeklerinin dipçik, el kundağı ve kabze parçaları cam elyaf takviyeli PA66 malzemeden üretilmektedir. Bu parçaların yanında birçok yardımcı parçalar da polimer kompozit malzemelerden üretilmiştir.



Şekil 2. Piyade tüfeği şematik resmi [2]

### 1.1.2. Tabanca

Tabancalar tek elle kullanılmak üzere tasarlanmış silahlardır. Tabancalar tüfeklere göre daha az parçadan oluşurlar ve taşınmaları daha kolaydır. Tabancalar çelik esaslı olarak üretilmekte iken kompozit malzemelerin yaygınlaşması ile birlikte birçok parçaları alüminyum ve alaşımlarından üretilmeye başlanmıştır. Son yıllarda ise malzeme teknolojisinin ilerlemesi ve polimer esaslı kompozit malzemelerin yaygınlaşmasıyla polimer esaslı tabancalar üretilmeye başlanmış olup kullanıcılara; hafiflik, kullanım ve taşıma kolaylığı, uzun atım ömrü ve korozyon dayanımı gibi avantajlar sağlamışlardır. Şekil 3’de polimer kompozit esaslı bir tabancanın şematik resmini görmekteyiz [1, 2].



Şekil 3. Polimer kompozit esaslı özgün tabanca şematik resmi [2]

Şekilde bulunan polimer kompozit esaslı yerli üretim tabancanın ana gövdesi, kabza parçası, şarjör altlığı, şarjör gerdeli, gez, arpacık, tetik, kapak tahdit parçası, iğne tahdit parçası, iğne yay koruyucu ve iğne başlığı gibi parçaları polimer esaslı kompozit malzemeden üretilmiştir.

Polimer kompozit esaslı tabancalarda kompozit malzeme olarak cam elyaf takviyelendirilmiş PA66 malzeme kullanılmaktadır. Tabanca da kritik öneme sahip olan ve tabancanın çalışma sistemine bağlı olarak yüksek şiddette tekrarlı darbelere maruz kalan ana gövde parçasında cam elyaf takviye oranı %25-30 mertebelerine çıkarılırken, diğer parçalarda ise %15-25 aralığında cam elyaf takviyesi yapılmaktadır.

Klasik tabancalara ana gövde ağırlıkları olarak bakıldığında; çelik tabanca gövdeleri ortalama 400 gr, alüminyum alaşımlı tabanca gövdeleri ortalama 200 gr, Şekil 1’de görülen %30 cam elyaf takviyeli PA66 gövde ise yaklaşık 120 gr ağırlığındadır. Buna bağlı olarak çelik gövdeli tabancalar ortalama 1200 gr, alüminyum alaşımlı tabancalar ortalama 1000 gr iken şekil 1’de görülen polimer kompozit esaslı tabanca yaklaşık 750 gr’dır. Polimer kompozit tabancaların sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir [2, 4].

Kullanım ömürlerinin uzun olması: Darbe, aşınma ve korozyon dayanımları yüksek olan polimer kompozitlerin silah sanayinde kullanılması, silahların ömrünü arttırarak daha yüksek atım sayılarına daha yüksek hedef hassasiyetiyle çıkılmasını sağlamıştır.

Hafiflik ve yüksek hareket kabiliyeti: Polimer kompozit esaslı tabancalar, klasik tabancalara göre hafiflik ve buna bağlı olarak kullanım ve taşıma kolaylığı sağlarlar.

Düşük maliyet: Günümüz piyasa koşullarında rekabet edebilmenin en önemli unsurlarından birisi maliyettir. Polimer kompozit malzemelerin hafif silahlarda kullanılmasıyla talaşlı imalatta uzun işlemler gerektiren operasyonların kalkarak sadece hammadde işçiliğiyle daha düşük maliyetli silahların elde edilmesine olanak sağlanmaktadır.

Ergonomik tasarım: Polimer kompozitlerin kolay şekillendirilebilir olmaları, imal edilecek silahların kullanıcılar için ergonomik tasarlanmalarına imkân sağlamaktadır. Talaşlı imalatta ortaya çıkarılmayan birçok ergonomik tasarım polimer kompozitlerin üretim yöntemleriyle kolayca oluşturulabilmektedir.

## **1.2. Kompozit Malzemeler**

Malzemeler genellikle, metaller, seramikler ve organik malzemeler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu üç ana malzemenin yanında, aynı ya da farklı gruplardan iki veya daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelere kompozit malzemeler denir [7].

Kompozit malzemelerin oluşumuna doğa ve insanın yapısı örnek olmuştur. İnsan vücudundaki dokular yüksek eğilme kabiliyeti gösteren, zorlanma ve yüklenmelere karşı koyabilecek liflerden meydana gelmiştir. Bu lifler düzene konmuş ve birbirlerinin üzerinde kayarak dokuların dayanıklı olmasını sağlayacak şekildedirler. Doğada bulunan kompozit yapıya en uygun örnek ise çam ağacıdır. Çam ağacının gövdesi bir kompozit yapı örneği göstermektedir. Gövde içindeki, yaz ve kış mevsimlerinde meydana gelen yaş halkaları içiçe bir görünümde ve kış halkaları sert ve kırılğan, yaz halkaları ise daha yumuşak ve esnektir. Bu kompozit yapısı çam ağacını daha yüksek mukavemete sahip kılmaktadır [5-7].

Günümüzde yaygın kullanım alanına sahip kompozit malzemelerin ilk örnekleri çok eski tarihlere dayanmaktadır. İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılğanlığın giderilmesi için çalışmışlardır. Bu uygulamanın en iyi örneklerinden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içerisine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretim gerekse kullanım sırasındaki dayanımını arttırmaktadır [3, 6, 7].

Kompozit malzemeler uzun süre teknolojik problemleri çözmek amacıyla kullanılırken 20. YY' ın 2. yarısında, polimerik esaslı kompozit malzemelerin tanınmasıyla, kompozit malzemeler endüstrinin dikkatini çekmeye başlamış ve sonrasında, sık kullanılan mühendislik malzemeleri haline gelmiştir. Kompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşması, yüksek mukavemet/yoğunluk oranlarından kaynaklanmaktadır. Kompozit malzemeler, çok sık kullanılan ve gelenekselleşmiş olan çelik ve alüminyum gibi malzemelerin yerini alma potansiyeline sahip olmakla birlikte, çoğu uygulamada bu gelenekselleşen malzemelerden daha iyi performans göstermektedirler [8].

Kompozit malzemelerin avantajları bileşenlerinin üstün özelliklerinin bir arada toplanmasıdır. Kompozit malzemelerin üretimiyle geliştirilmesi amaçlanan özelliklerin başında dayanım gelmektedir. Darbe, yorulma, aşınma ve korozyon dayanımlarının artırılması malzemelere çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle de silah sanayinde silahın çalışma prensibi göz önüne alınırsa darbe, aşınma ve korozyon dayanımları silahın en önemli unsurlarındandır. Darbe ve aşınma dayanımlarının yüksek olması silahın ömrünü uzatacak ve daha yüksek atım sayılarına ulaşılmasını sağlayacaktır. Silahın korozyon direncinin yüksek olması da silahın ömrünü arttıran önemli özelliklerdendir. Bunun sebebi silahların farklı çalışma ortamlarında sürekli olarak korozif etkiler ile karşı karşıya kalmalarındandır. Kompozit malzemelerin üretimiyle geliştirilmesi amaçlanan diğer özellikler; hafiflik, düşük maliyet, rijitlik, estetik görünüm, yüksek sıcaklık özellikleri ve iletkenlikleri (ısı iletkenlik, elektrik iletkenliği ve akustik iletkenlik) olarak sayılabilir. Kompozit malzemelerin üretimiyle birlikte geliştirilmesi planlanan özelliklerin tamamı diğer malzemelerde olduğu gibi silah malzemelerinde de büyük önem arz etmektedir. Yüksek şiddette tekrarlı yükler altında çalışan silahlarda kırılma tokluğunun yüksek olması zaten olmazsa olmaz özelliklerdendir. Hafiflik, silah kullanıcılarına kullanım kolaylığı sağlaması açısından, düşük maliyet ise günümüz rekabet şartları içerisinde birçok sektör açısından çok önem arz etmektedir. Silahların yüksek atım

sayılarında ısınmaları göz önüne alınır ise yüksek sıcaklık özellikleri de büyük önem arz etmektedir [7, 8].

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanları çok genişlemiştir. Savunma sanayi, uzay ve havacılık Sanayi, otomotiv sanayi, şehircilik, elektrik ve elektronik sanayi, iş makinaları, inşaat sektörü, tarım sektörü gibi farklı uygulama alanlarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır [3].

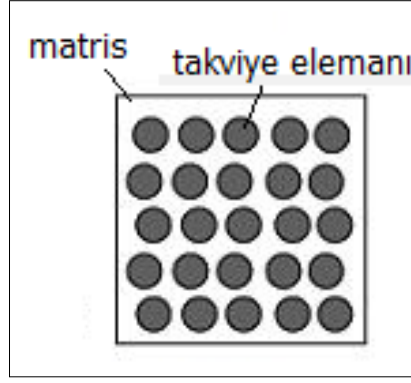
Kompozit malzemeler, düşük özgül ağırlıkları ile taşınması gereken zırh, silah gibi askeri ekipmanlarda taşıma kolaylığı ve buna bağlı olarak hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Uçak, helikopter gibi askeri hava taşıtlarında, tank, panzer gibi zırhlı araçlarda, askeri taşımacılıkta kullanılan ağır vasıtalarda, kurşungeçirmez yeleklerde, silah gövdelerinde, gün geçtikçe daha fazla ve daha farklı uygulama biçimleriyle kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte ileri kompozitlerin savunma sanayindeki yeri ve uygulama alanları hızla artmaktadır. İleri kompozitlerin zırhlarda, insansız hava araçlarında, tank ve hava araçları zırhlarında, hava araçlarının kanat ve kuyruk elemanlarında ve iniş-kalkış pistlerinde kullanılması, savunma sanayinin gelişmesine önemli katkılar sağlamaktadır [4].

Savunma sanayinde kullanılmak amacıyla üretilen kompozit malzemelerden beklenen özellikler, yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, kolay şekillendirilebilme, elektriksel özellikler, korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet, renklendirilebilme ve titreşim sönümlendirirmediir. Uçak, helikopter gibi askeri hava taşıtlarının kanat ve kuyruk elemanlarında ve iniş-kalkış pistlerinde, tank, panzer ve hava taşıtlarının zırhlarında, askeri taşımacılıkta kullanılan ağır vasıtalarda, vücut koruyucu hafif zırhlarda, kurşungeçirmez yeleklerde, silah gövdelerinde, sıvı zırhlarda, insansız hava araçlarında, otobüs, kamyon ve diğer askeri araç koltuklarında ve yanmaz askeri çadırlarda kompozit malzemeler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [4].

### **1.3. Kompozit Malzeme Yapısı ve Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler, Şekil 4'de görüldüğü gibi matris ve takviye malzemesinden oluşurlar.

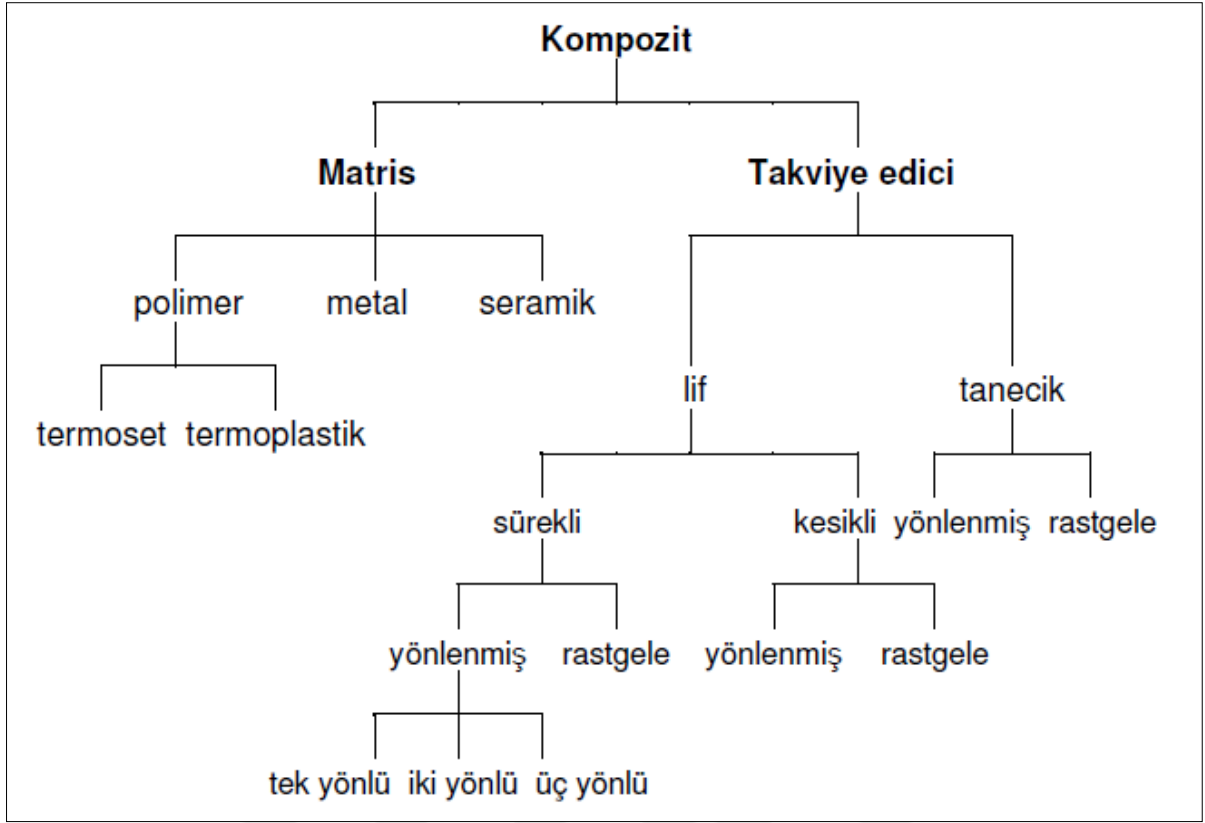




Şekil 4. Kompozit malzemenin kesit görünüşü [9]

Takviye elemanları kompozit malzemeyi güçlü, dayanıklı kılar. Buna karşılık matrisler kompozit malzemeye katılık verir ve malzemeyi çevresel etkilere karşı korur. Kompozit malzemelerin yapısı incelendiğinde, ortak bir dayanım mekanizması olduğu görülür. Dayanım mekanizması, takviyenin geometrisine çok sıkı şekilde bağlıdır. Bu nedenle kompozit malzemeleri, takviye malzemesinin geometrisi göz önüne alınarak sınıflandırmak uygundur. Matris malzeme ise genel olarak yapısına göre sınıflandırılmakla birlikte; polimer, metal ve seramik matrisli olabilirler. Bu şekilde yapılan sınıflandırma Şekil 5'te verilmiştir [9].

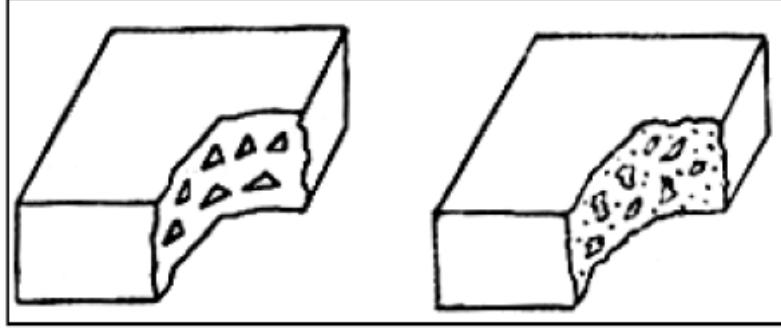
Takviye elemanının oryantasyonu sistemin izotropisini etkilemektedir. Takviye elemanı parçacık formunda olduğunda, malzeme özellikleri yönden bağımsız olarak izotropik bir malzeme gibi davranır ve her yönde yaklaşık olarak aynıdır. Kısa lif takviyeli kompozitler gibi, takviye parçacıklarının boyutları eşit olmadığında, rasgele yönlendirilmiş takviyeli kompozit malzemeler izotropik malzeme gibi davranabilirler. Diğer durumlarda ise (örn: Kısa lifli kompozit kalıplamada), üretim prosesi, takviyenin oryantasyonuna neden olabilir ve bu da bir miktar anizotropiye sebep olabilir. Sürekli lif takviyeli kompozit malzemelerde anizotropi arzu edilebilmektedir ki zaten, bu tür kompozitlerin başlıca avantajı anizotropinin tasarım ve üretim ile kontrol edilebilmesidir [7, 9].



Şekil 5. Kompozitlerin sınıflandırılması [9]

### 1.3.1. Tanecik (Parçacık) Takviyeli Kompozit Malzemeler

Tanecik (parçacık) takviyeli kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup, ortalama gömülen parçacık boyutu  $1\mu\text{m}$ 'den büyük ve elyaf hacim oranı % 25'den fazla kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiC}$ ' den oluşan seramiklerdir. Bu tür kompozit malzemelerde yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler izotropiktir. Tanecik takviyeli kompozit malzemeler yönlenmiş ve rastgele olmak üzere 2 farklı gruba ayrılırlar. Tanecik takviyeli kompozit malzemelerin dayanımları dispersiyonla artırılabilir. Şekil 6'da parçacık takviyeli ve dayanımı dispersiyonla artırılmış kompozit malzemelerin yapısı gösterilmektedir [9-11].

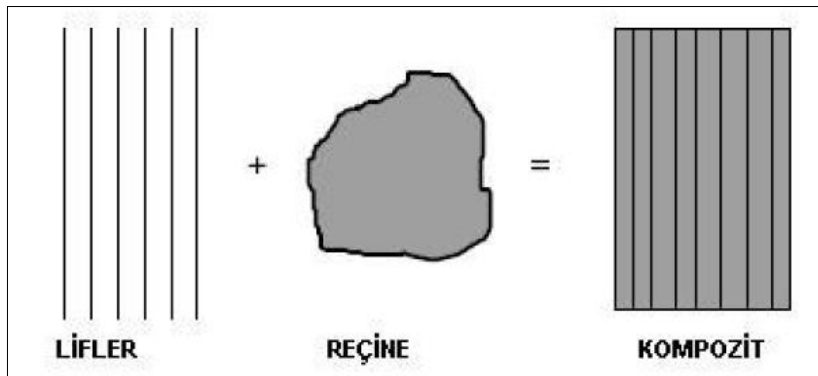


Şekil 6. Parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı [11]

### 1.3.2. Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler

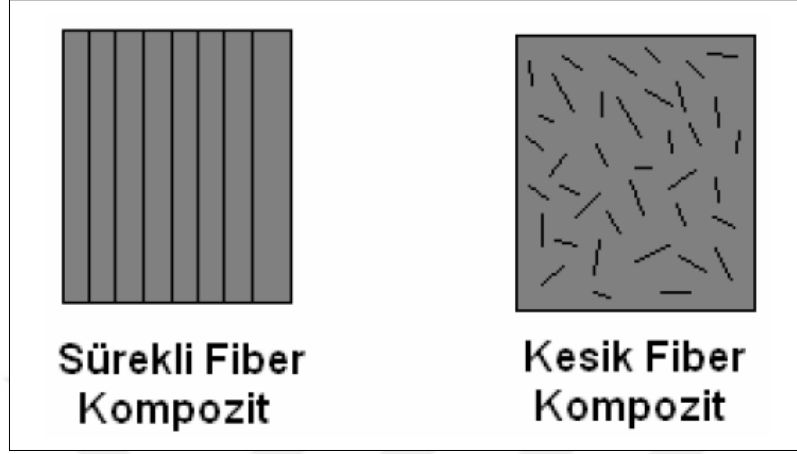
Kompozit malzemelerin en yaygın türü lif takviyeli kompozitlerdir. Lif takviyeli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır. Matris malzemesi olarak plastik reçineler en yoğun kullanılan tür olup bunlardan da polyester düşük maliyeti sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Epoksi reçine ise yüksek mukavemet ve kimyasal dayanım avantajlarıyla uzay ve havacılık sanayinden ev ve spor aletleri yapımına kadar çok geniş bir alanda kullanım alanı bulmuştur. Grafit ve kevlar takviyeli epoksi kompozitler ‘ileri kompozitler’ olarak uzay ve havacılık endüstrisinin temel malzemeleri olmuşlardır [12].

Şekil 7’ de lif ve reçineden oluşan kompozit malzemenin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 7. Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine [13]

Lif takviyeli kompozit malzemeler şekil 8’de görüleceği üzere sürekli lif takviyeli ve kesikli (kısa) lif takviyeli kompozitler olmak üzere 2 şekilde sınıflandırılmışlardır.



Şekil 8. Sürekli fiber ve kısa fiber kompozitler [13]

Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Kompozit malzemelerden ortaya çıkan özellikler, bileşen malzemelerin özelliklerinden daha iyidir [7].

Kompozit malzemeler hakkında bilinmesi gereken en önemli nokta; yükü lifler taşımaktadır ve kompozit malzemenin dayanımı lif eksenine doğrultusunda en büyük değeri görmektedir. Yük doğrultusunda yapılan sürekli lif takviyesi, matris malzemenin özelliklerini çok fazla arttırabilmektedir. Aynı lifler kısa lif haline getirildiğinde (kesildiğinde), sürekli liflere göre daha kötü özellikler gösterirler [7, 13].

Kompozit malzemelerde elyaf formu; uygulama alanına (yapısal veya yapısal olmayan) ve üretim metoduna göre seçilir. Yapısal uygulamalar için sürekli lifler veya uzun lifler önerilirken, yapısal olmayan uygulama alanlarında ise kısa lifler tavsiye edilir. Enjeksiyon ve baskı kalıplamada kesikli lifler kullanılırken; elyaf sarma, profil çekme, rulo sarımında sürekli lifler kullanılır [13].

### 1.3.2.1. Matris ve Liflerin Fonksiyonu

Kompozit malzemede liflerin temel fonksiyonları;

- Liflerin temel fonksiyonu yükü taşımaktır. Yapısal kompozitlerde yükün % 70-90'ı lifler tarafından taşınır.
- Kompozit malzemeye, sertlik, ısı kararlılık ve diğer yapısal özellikleri kazandırmak.
- Kullanılan lifin türüne bağlı olarak, kompozite elektriksel iletkenlik veya yalıtkanlık kazandırmaktır [13].

Matris malzemenin temel fonksiyonları;

- Matris, lifleri bağlar ve yükü liflere iletir. Yapıya, rijitlik ve şekil kazandırır.
- Matris, lifleri izole eder. Bu sayede lifler ayrı, bireysel olarak davranabilirler. Bu da, lif yapısındaki çatlakların büyümesini durdurur veya yavaşlatır.
- Matris, kompozitin yüzey kalitesini iyileştirir.
- Matris, takviye liflerinin, kimyasal ve mekanik etkilerden korunmasını sağlar.
- Seçilen matris malzemesine bağlı olarak, kompozit yapının esneklik, darbe dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler [13].

### 1.3.2.2. Takviye Elemanları

Takviye elemanları kullanım amacına ve takviye malzemesinin cinsine göre çeşitlilik göstermektedir. Kullanılan takviye türleri;

#### 1.3.2.2.1. Cam Elyaf

Polimer esaslı kompozit malzemelerde cam elyafı en yaygın kullanılan takviye türüdür. Esas olarak SiO<sub>2</sub> (silikon di oksit, silika) olan cam yapısında önemli miktarda diğer elementlerin oksitleri bulunur. Elektriksel iletkenlik, kimyasal direnç ve korozyon dayanımı gibi özellikleri sağlamak için, farklı kimyasal bileşimlerde camlar üretilir. Bu cam elyaflar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Cam elyafları arasında en yaygın olarak kullanılan türü E-camıdır. Genellikle kompozit malzemenin mukavemetini ve elektriksel direncini artırmak için kullanılır. E-camının mukavemeti, üretim aşamasında uygulanan işlemlere ve testin yapıldığı çevre koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bunların başında, ortamdaki nem ve asitler

gelmektedir. Nem ve asitler cam elyafı ile etkileşime girerek mukavemetinin düşmesine yol açmaktadır. Üretim sırasında cam elyaf liflerinin birbirlerine sürtünme etkisi elyafların mekanik olarak birbirlerini etkilemeleri nedeniyle dayanımlarını olumsuz olarak etkilemektedir. Elyaf içerisinde yok edilemeyen bazı süreksizliklerin oluşması da mukavemet değerlerinin her ölçümde aynı çıkmamasına neden olmaktadır [14].

Tablo 2. Cam Elyaf Türleri ve Kimyasal Bileşimleri [14]

Özellikler	Cam Tipi				
	E	S	R	C	D
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.49	2.49	2.49	2.16
Çekme dayanımı (20 °C) (GPa)	3.5	4.65	4.65	2.8	2.45
Elastik modülü (20 °C) (GPa)	73.5	86.5	86.5	70	52.5
Kopma uzaması (20 °C) (%)	4.5	5.3	5.3	4.0	4.5
<b>Katkı Malzemeleri (%)</b>					
SiO <sub>2</sub>	54	65	60	65	74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	25	25	4	
CaO	18		9	14	0.2
MgO	4	10	6	3	0.2
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8			5.5	23
F	0.3				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3				
TiO <sub>2</sub>					0.1
Na <sub>2</sub> O				8	1.2
K <sub>2</sub> O	0.4			0.5	1.3

### 1.3.2.2.2. Karbon Elyaf

Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra geliştirilen ve son zamanlarda giderek yaygın kullanılmaya başlanılan elyaf grubunu oluşturmaktadırlar. Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve yüksek sıcaklık dayanımları çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar [15, 16].

### 1.3.2.2.3. Aramid Elyaf

Aramid, ‘aromatik polyamid’ in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır [17].

En çok kullanılan aramid elyaf türü Kevlar’dır. Kevlar liflerinin mukavemet/ağırlık oranının çok yüksek değerde olması, kullanım alanlarını oldukça yaygınlaştırmaktadır. Kevlar, uzay ve havacılık sanayisinde, yüksek performanslı kayış ve halat yapımında, yüksek basınca dayanıklı boruların imalatında, yüksek performanslı radyal tekerleklerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [15, 17, 18]. Cam elyaf, karbon elyaf ve aramid takviye elemanlarının karakteristik özellikleri Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Takviye Elemanlarının Özellikleri [18]

MALZEME	ÖZGÜL AĞIRLIK (g/cm <sup>3</sup> )	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	ELASTİSİTE MODÜLÜ (MPa)
Cam Elyaf	2,54	2410	70 000
Karbon Elyaf	1,75	3100	220 000
Aramid	1,46	3600	124 000

### 1.3.2.2.4. Bor Elyaf

Bor elyaflar kendi içlerinde kompozit bir yapıya sahiptirler. Genellikle tungsten çekirdek üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Yeni uygulamalarda karbon çekirdek üzerine kaplanmış olarak kullanıldıkları da görülmektedir. Bor elyaflar kompozit malzemelerde kullanılan en kalın elyaf türü olup, karbon elyaftan yaklaşık 20 kat daha kalındır. Burkulma, çekme ve basma dayanımları yüksektir ve genellikle metal matrisli kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılırlar [7, 19]

### 1.3.2.2.5. Silisyum Karbür (SiC) Elyaf

Bor elyaf gibi, silisyum karbür elyaflar da tungsten çekirdek üzerine kaplanarak elde edilirler. SiC elyaflar genellikle titanyum matrisle kullanıldıklarından, yoğunlukları bor elyafa oranla daha yüksektir [20].

### **1.3.2.2.6. Alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Elyaf**

Elyaf formundaki alümina (alüminyum oksit) flamanın, silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) kaplanması ile elde edilir. Alumina elyaflar, yüksek sıcaklık dayanımları iyi olduğu için uçakların bazı parçalarının üretilmesinde kullanılmaktadırlar [21].

### **1.3.2.3. Matris Malzemeleri**

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi imalat aşamasının başında düşük viskoziteli bir yapıya sahip olup kolay şekillendirilebilirken, sonrasında elyafları sağlam ve uygun bir şekilde bir arada tutup çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilen bir yapıda olmalıdır [18]. Matrisler 3 grup altında toplanırlar;

#### **1.3.2.3.1. Metal Matrisler**

Metal matris kompozitleri (MMK) adından da anlaşılacağı gibi, metal esaslı bir matrise sahiptirler. Metal matrisler alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi metal ve alaşımlarından oluşabilirler. Metal matrisli kompozitte bulunan takviye elemanı ise karbon veya silikon karbürden oluşmaktadır. Metaller genelde kullanım alanına uygun olarak mekanik özelliklerini arttırmak veya azaltmak için fiberler ile takviyelendirilirler. Örneğin, silikon karbür fiberler kullanıldığında, kompozit malzemenin ısıl genleşme katsayısı, elektrik ve ısı iletkenliği azalırken, elastik modülü ve mukavemeti artar. En çok kullanılan metal matrisler alüminyum ve titanyumdur. Bu metallerin her ikisi de, düşük özgül ağırlığa sahip olmakla birlikte, çeşitli alaşımları da bulunmaktadır [22].

Alüminyum ve alaşımları metal matrisler arasında en dikkat çekenidir. Korozyon direnci iyi olduğu için saf alüminyum uygulamalarda çok yaygın olarak kullanılır. Bunun yanında 6061 ve 1100 gibi alüminyum alaşımları da yüksek çekme dayanımı/ağırlık oranlarından dolayı yaygın olarak kullanılan malzemelerdir [22].

MMK'in çeşitli üretim teknikleri vardır. Bu tekniklerin en çok kullanılanlarından biri difüzyon bağlama tekniğidir. Bu teknik boron/alüminyum kompozitin parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Boronun fiber tabakası 0.05 mm kalınlığındaki iki ince alüminyum tabaka arasına yerleştirilir. Polimer ya da akrilik yapıştırıcı ile fiberler orta



tabakada bir arada tutulur, ince metal tabakalar ise gereken açılara getirilir. Katmanlar önce bir vakum odasında ısıtılır. Daha sonra malzemeyi istenen ölçülere getirmek için 500°C sıcaklıkta ve 35 MPa basınçta sıcak preslenir. Metal matrisli kompozitler uzay ve havacılık, savunma sanayi, taşımacılık gibi farklı sektörlerde kendilerine kullanım alanı bulmuşlardır [22].

### 1.3.2.3.2. Seramik Matrisler

Seramikler, metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşikler olup doğada kayaların dış etkilere maruz kalarak parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil gibi maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Bunlar farklı şekilde silikatlar, alüminalar ile birlikte metal oksitlerden oluşurlar. İyonik ya da iyonik + kovalent bağ karışımına sahip oldukları için çok kararlıdırlar, bu nedenle çok sert ve gevrektiler ayrıca yüksek sıcaklığa dayanıklıdırlar. Seramik malzemeler genellikle yüksek termal ve aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Seramiklerin kimyasallara karşı dayanımları da iyidir. Seramiklerin üretimleri zordur ve genel metalürjik yöntemlerle işlenemezler. Yüksek sertliklerinden dolayı seramikleri işleyebilmek için karbür, elmas gibi maliyetleri yüksek kesme aletlerini kullanmak gereklidir [11, 13].

Yaygın olarak kullanılan seramik mühendislik malzemelerine örnek olarak silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) ve alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) gösterilebilir [11].

### 1.3.2.3.3. Polimer Matrisler

Polimer malzemeler son yıllarda önemli gelişme kaydederek günlük yaşantımızda ve endüstrinin hemen her dalında kullanılan malzemeler haline gelmişlerdir. Hafiflikleri, Mukavemet/yoğunluk oranlarının yüksek oluşu, hızlı ve ekonomik üretim tekniklerine sahip olmaları, korozyona karşı yüksek dirençleri, katkı maddeleriyle özelliklerinin geliştirilebilmeleri ve farklı renklerde üretilebilmeleri gibi özellikleri polimer matrisli malzemelerin sıkça tercih edilmelerini sağlamaktadır. Buna ek olarak, polimer kompozitler, yorulmaya, darbeye, iklimik etkilere ve termal zorlanmalara karşı gösterdikleri dayanımla pek çok alanda da avantajlar sağlamaktadırlar. Üretim yöntemleri açısından bakıldığında, polimer kompozit malzemelerin en önemli avantajlarından biri karmaşık parçaların yekpare olarak üretilebilmesidir. Bu sebeple polimer kompozitlerden

imal edilen ürünler daha az sayıda parçadan ve daha az sayıda birleştirme noktası kullanılarak üretilebilirler [23, 24].

Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları  $1.2 \text{ g/cm}^3$  iken seramiklerin yoğunlukları  $2.5 \text{ g/cm}^3$  ve metallerin yoğunlukları ise  $7 \text{ g/cm}^3$  civarındadır. Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler, kaba olarak metallerin yaklaşık 5 katı, seramiklerin ise yaklaşık 10 katıdır. Ergime sıcaklıkları düşük olup yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler. Termal iletkenlikleri metallerden yaklaşık 3 kat daha düşüktür ve özgül ısıları metallerden yaklaşık 2 kat, seramiklerden ise 4 kat daha yüksektir [5, 26, 27]. Polimer matrisler, termosetler ve termoplastikler olmak üzere 2 gruba ayrılırlar.

#### **1.3.2.3.3.1. Termosetler**

Termoset malzemeler bir defaya mahsus ısıtılıp biçim verilir, bundan sonra malzemeye tekrar ısı verilip şekil elde edilemezler. Geri dönüşümü olmayan prosese sahiptirler. Bunun nedeni, termoset malzemelerin uzun molekül zincirlerinin oluşumu sırasında oluşan çapraz bağlarla birbirlerine bağlanmalarından dolayı, ısıtıldıklarında da birbirlerinin üzerinde kayma yeteneklerini kaybetmeleridir. Termosetlerde polimerizasyon sırasında molekülün reaktif olan kısmı moleküller arasında zincir yapısını oluşturur. Isıtıldıklarında akıcı özellik göstermeleri için kısmen polimerleşmiş durumda kalıplanırlar. Kalıplama sırasında polimerleşme ilerleyerek, plastik malzemede geniş ölçüde çapraz bağlar oluşturarak, akıcılık özelliğini kaybeder [15, 25].

Kısmen polimerleşmiş durumdaki termoset polimerlere reçine adı verilir. Reçinenin son duruma getirme işlemine ise pişirme veya sertleştirme denir. Termoset malzemelerin çoğu ısı ve basınç etkisi ile pişirilmelerine rağmen soğuk durumda pişirilen termosetler de vardır. Bu malzemeler ekonomik olduklarından ve aranan özelliklere sahip olmalarından dolayı deniz araçlarının üretiminde, otomotiv sanayinde, inşaat sektöründe, depo, tank, boru ve mobilya üretiminde kullanılmaktadırlar. Termoset plastikler içerisinde en çok kullanılanlar polyeater, epoksi, alkilit, fenolik, poliüretan ve silikonlardır [15, 25, 26].

#### **1.3.2.3.3.2. Termoplastikler**

Termoplastikler oda sıcaklığında katı formdadırlar, ergitilip sıvılaştırıldıktan sonra herhangi bir şekilde katılaştırıldıklarında tekrar ergitilip kullanılabilme özelliklerine sahiptirler. Isıtıldıklarında akıcı hale gelir ve kullanılan kalıbın şeklini kolayca alabilirler.

Termoplastik molekülleri lineerdirler ve çapraz bağlanmazlar. Üç boyutlu zincir yapısı teşkil etmeyen moleküller, yan zincirler veya gruplar ihtiva ederler. Molekülleri arasında zayıf Wan Der Waals bağları vardır ve bu sebeple rijit yapıya sahip değildirler. Termoplastikler düşük rijitliğe sahiptirler, şekillendirilme kabiliyetleri yüksektir ve bu özelliklerinden dolayı kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır. Sünme eğilimleri yüksektir ve kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşabilir. Sık kullanılan bazı termoplastik polimerlerin özellikleri Tablo 4' te verilmiştir.

Tablo 4. Sık Kullanılan Termoplastiklerin Özellikleri [26]

ÖZELLİK	PA 66	POLİKARBONAT	POLİPROPİLEN
YOĞUNLUK (g/cm <sup>3</sup> )	1,14	1,06 - 1,20	0,9
ELASTİK MODÜLÜ (GN/m <sup>2</sup> )	1,4 - 2,8	2,2 - 2,4	1,0-1,4
ÇEKME DAYANIMI (MPa)	60 – 75	45 - 70	25 - 38
UZAMA MİKTARI (%)	40 – 80	50 - 100	> 300
SU EMME (%) 24s, 20°C	1,3	0,1	0,03
ERGİME DERECESESİ (°C)	264	--	175

Termoplastikler, üretilen bütün polimerlerin yaklaşık % 70'ini meydana getirir ve ticari olarak en önemlisidir. En yaygın olarak kullanılan termoplastikler Asetal, AcrylonitrileButadiene-Streyn (ABS), Selüloz, Poli-tetra-floretilene = Fluoropolymers (PTFE), Poliamid (PA), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Naylon 6.6, Polistreyn (PS) ve Polipropilen (PP)'dir. Ancak polimerler bazen birbiri içerisine girebilirler özellikte olup, termoplastik olan bazı polimerler termoset yapıya dönüşebilmektedir [5].

Termoplastikler;

Asetal: Formaldehitten hazırlanır. Ticari ismi polioksimetilen (POM)'dir. Asetal, yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında ergime noktası yüksek (180°C) olup, nem alma kapasitesi ise düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı çinko ve pirinç ile rekabet halindedir. Bazı otomotiv parçaları, kapı kolları, pompalar ve benzer parçaların yapımında kullanılır [5].

Akrilik: Poli metil meta akrilik (PMMA) ile sembolize edilir. Lineer polimer olduğu için şekilsizdir. Bu önemli özelliği saydam olarak optik uygulamalarda cam ile yarış

halinde olmasını sağlar. Otomotiv sanayinde sinyal lambaları, ev ve büro ışıklandırma aksesuarları, çeşitli süs eşyaları, kırtasiye malzemeleri ve dekorasyon malzemelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [5, 28].

**Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS):** ABS polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. Akrilonitril, bütadien ve stiren olmak üzere 3 farklı malzemenin farklı oranlarda birleşmesiyle oluşur. Stiren parlaklığı sağlar ve yüzey kalitesini iyileştirir, bütadien kauçuk özelliklerini ve düşük sıcaklıkta esnek olabilmeyi sağlar. ABS, -25 °C ve 60 °C arasında kullanılabilir. ABS Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Otomotiv parçaları, borular, koruyucu kasklar ve oyuncaklarda kullanılırlar [5, 15].

**Politetrafloroetilen (PTFE):** Ticari ismi teflondur. Teflon çevresel ve kimyasal etkilere karşı çok dirençlidir, sudan etkilenmez, elektrik ve ısı direnci iyidir ayrıca çok düşük sürtünme katsayısına sahiptir. PTFE malzemeler, yüksek ısıya dayanım istenen makine parçaları, kimyasal maddelere dayanıklı boru, filitre ve laboratuvar cihazları, elektrik gerilimlerine dayanıklı yalıtkan kablolar, sürtünmeye dayanıklı yağsız yataklar ve burçlar, köprü ve binalar için kayar yataklar ve ayrıca pnömatik ve hidrolik parçalar gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar [5, 15, 28].

**Polipropilen (PP):** Yoğunluğu düşük bir polimerdir. Çok iyi boyanma kabiliyetine sahiptir. Mukavemeti orta derecede olup ısı, kimyasal ve elektriksel özellikleri de sınırlıdır. Özelliklerinin iyileştirilebilmesi için cam elyaf ile takviyelendirilebilir. Yüksek ergime derecesine sahip olması, belli uygulama alanında kullanılmasına müsaade eder [29].

**Polivinil klorür (PVC):** PVC en yoğun olarak yapı sektöründe kullanılır çünkü maliyeti düşük ve kolay monte edilebilirdir. Diğer kullanım alanları ise elektrik kabloları, boru ve tesisat malzemeleri, hobi malzemeleri, oyuncaklar ve döşeme malzemeleridir [5, 15].

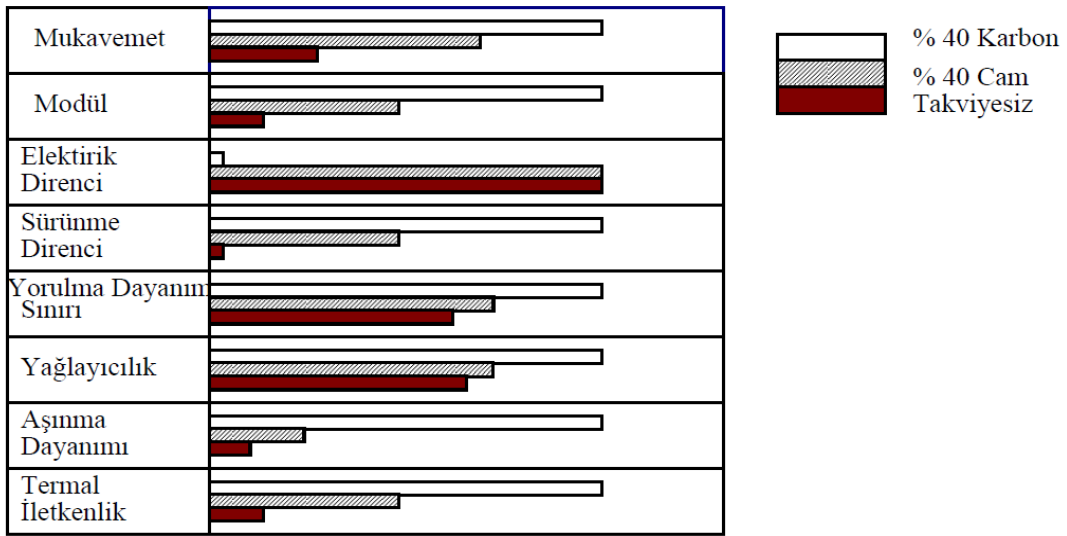
**Polyesterler (PET):** Polyesterler bağ yapılarına göre termoplastik ve termoset olabilirler. Yapıları şekilsiz ya da yaklaşık % 30 kristalleşmiş olabilir. Şişirme türü küçük kaplar, fotoğrafçılıkta kullanılan filmler, filtreler ve manyetik bantlar polyesterlerin kullanım alanlarıdır [5].

**Polietilen (PE):** Polietilen düşük nem emme kapasitesine sahiptir ve deformasyon direnci iyidir ayrıca bu özelliklerinin yanında düşük maliyeti, kimyasal kararlılığı ve kolay işlenebilirliği polietilenin tercih edilme sebepleridir. Plastik kutular, mutfak eşyaları, boru

ve tüp, oyuncak, kablolarda yalıtkan tabakalar, paketlenme ve ambalaj filmi gibi alanlarda kullanılmaktadır [5].

Polikarbonat (PC): Polikarbonat mekanik ve elektriksel özellikleri yüksek, saydam yapıya sahip ve kullanım alanı çok çeşitli olan bir termoplastik türüdür. Birçok özellikleri bakımından poliamid ve poliasetale benzerdir. Otomotiv sanayinde, havacılıkta uçuş takımları, makine parçaları ve dişli imali, radyoloji parçaları filtreler ve grafik sanatlarında kullanılmaktadır [28].

Poliamid (Naylon, PA): En önemli PA ailesi naylon olup naylon6, naylon6.6 gibi isimlendirilmeleri vardır. Poliamid, yüksek dayanımlı olup elastik modülü yüksek ve abrasiv aşınmaya karşı çok dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. 125°C civarında mekanik özelliklerini muhafaza eder. Mekanik özelliklerinin iyi olması sebebiyle poliamidler kam, dişli ve kaymalı yatak üretiminde başarıyla kullanılmakta olup, bu parçaların ayrıca yağlanmalarına da gerek duyulmaz. Otomotiv sanayinde karbüratör dahil birçok parça, valfler, gaz ve buhar contaları, pervaneler, yüksek dayanımlı sahra kabloları, çeşitli elektrik malzemeleri, mutfak aletleri ve çözücülere dayanıklı aletlerin yapımında poliamid malzemeler yoğun olarak kullanılmaktadır [5, 28, 30].



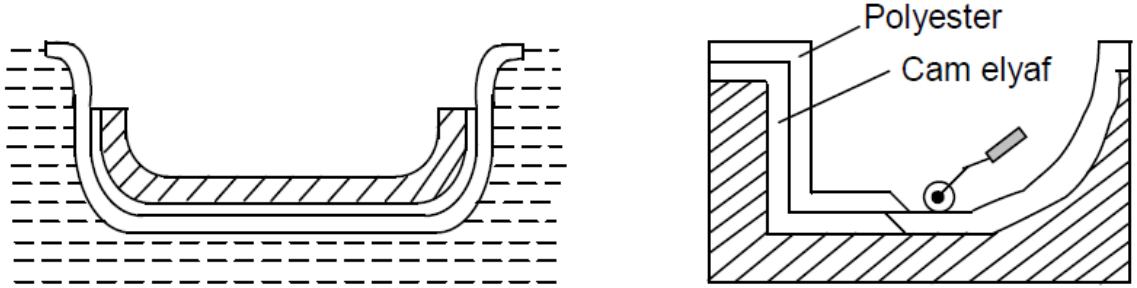
Şekil 9. Sanayide geleneksel olarak kullanılan PA66 matrisli kompozit malzemelerin (E-camı ve karbon elyaf takviyeli ile takviyesiz) karşılaştırılmaları [30]

## 1.4. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Her malzeme, kendine özgü fiziksel, mekanik ve işlenebilme özelliklerine sahiptir. Bu nedenle malzemeyi son şekline dönüştürmek için en uygun üretim tekniğinden yararlanılmalıdır. Herhangi bir üretim tekniği, bir malzeme için en iyi teknik olabilirken, bir başka malzeme için verimli olmayabilir. Bir üretim yönteminin başarılı olabilmesi için üretim kalitesinin standart olması ve maliyet açısından verimli olması gerekir [19].

### 1.4.1. Elyaf Yatırma Yöntemi

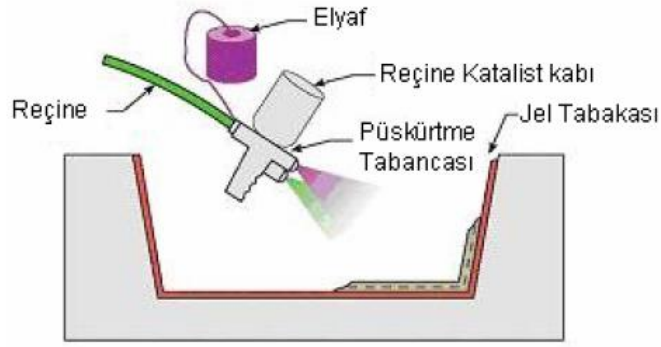
Elyaf yatırma yöntemi, takviyelendirilmiş polimerlerin üretiminde kullanılan en eski ve en basit tekniklerden biridir. Keçe, örgü veya kumaş formundaki takviyeleri açık bir kalıba yatırıp yüzeylerine reçine emdirilerek uygulanır. Şekil 10'da elyaf yatırma yönteminin nasıl yapıldığı şematik olarak gösterilmiştir [31].



Şekil 10. Elyaf yatırma yöntemi [23]

### 1.4.2. Püskürtme Yöntemi

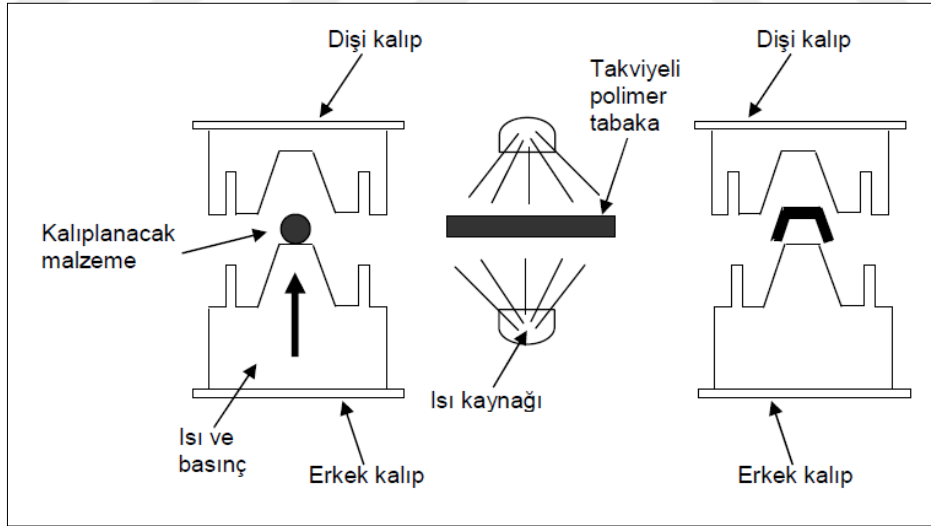
Püskürtme yöntemi, elle yatırma tekniğinin püskürtme tabancası ile yapılan şekli olarak kabul edilebilir. Elyaf püskürtme tekniğinde sürekli beslenen fitil kesici bıçaklardan geçerek kırıldıktan sonra katalize edilmiş, reçine ile beraber jelkot uygulanmış kalıp yüzeyine Şekil 11'de görüleceği üzere bir tabanca ile püskürtülür ve oda sıcaklığında sertleşmeye bırakılır [23, 31].



Şekil 11. Püskürtme yöntemi [23]

### 1.4.3. Basma Transfer Kalıplama Yöntemi

Karmaşık şekilli ve yüksek dayanımlı polimer malzemelerin yüksek basınç uygulanarak üretilmesidir. Polimerlerde kullanılan elyaf malzemesi genellikle cam, grafit ve asbesttir. Reçine olarak ise polyester, epoksi ve fenolikler kullanılır. Kalıplar erkek ve dişi olmak üzere 2 parça olup genellikle elektrikle ısıtılırlar. Şekil 12’de basma transfer kalıplama yönteminin şematik resmi görülmektedir [23].



Şekil 12. Basma transfer kalıplama yöntemi [23]

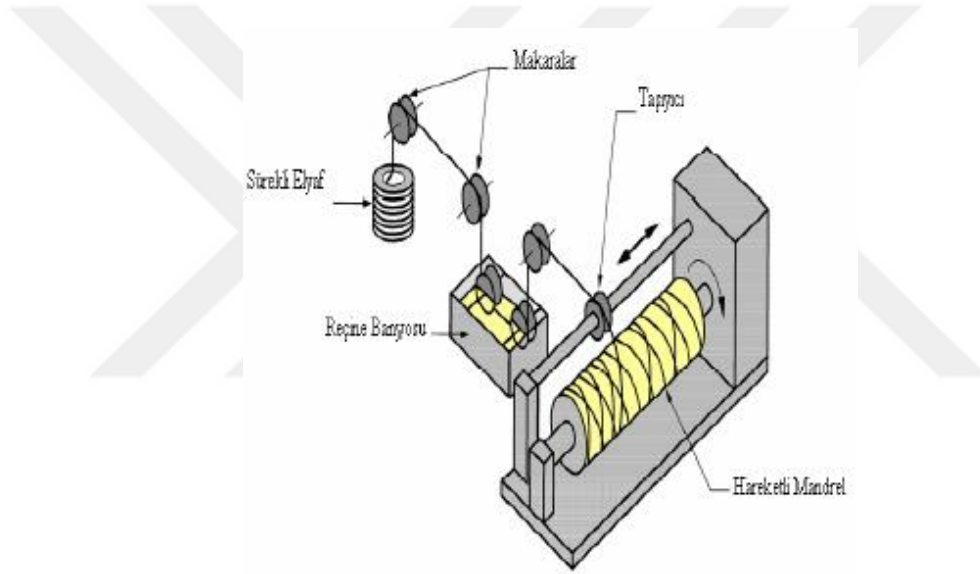
### 1.4.4. Soğuk Presleme Yöntemi

Bu yöntem, düşük basınçta, oda sıcaklığında ve düşük maliyetli kalıplar ile küçük parçaların üretilmesinde kullanılır. Cam elyaflar ve termoset reçine kalıp içerisine

yerleştirilir ve 130 - 340 kPa basınca maruz bırakılır. Kalıp malzemesi olarak metal, alçı ve cam elyaf takviyeli plastikler kullanılır [23, 31].

#### 1.4.5. Helisel Sarma Yöntemi

Helisel sarma yöntemi ile şaftlar, uzun pervaneler, basınçlı kaplar, roket gövdesi ve boru gibi silindirik şekilli parçalar üretilir. Sürekli elyafın bir bağlayıcı ortamından geçirildikten sonra, dönel mandrelle, önceden belirlenmiş sarım geometrisine uygun sarılması yöntemine helisel sarma yöntemi denir. Şekil 13'te helisel sarma yönteminin şematik resmi gösterilmektedir [23, 31].



Şekil 13. Helisel sarma yöntemi [31]

#### 1.4.6. Tabakalı Birleştirme (Torba Kalıplama) Yöntemi

Torba kalıplama tekniği, kalıp üzerine yerleştirilmiş termoset reçine ve elyaf esnek bir diyaframla (torba) kapatıldıktan sonra basınç ve sıcaklığın etkisiyle sistemin sertleşmesi sağlanır. Torba Kalıplama yöntemi 3 şekilde yapılabilir [23].

**Basınçlı Torba Kalıplama:** Ekonomik bir üretim tekniğidir. Tabakalama işlemi elle kalıplama tekniğine benzer şekilde yapılır. Tabakalama istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar devam ettirilir ve daha sonra üst tabaka yüzeyi selefona örtülüp kalıp kapağı kapatılır. Kapağa bağlı olan lastik torba hava veya buhar basıncı ile şişirilerek tabakalara basınç



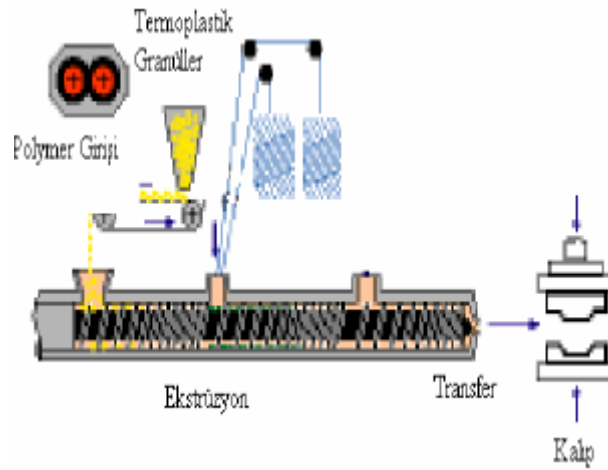
uygulanır, bu basıncın etkisiyle tabakalar arasına sıkışan hava ve fazla reçine dışarı atılır ve böylelikle tabakaların bir biri ile teması sağlanmış olur ve reçine sertleştirilmiş olur [23].

**Vakumlu Torba Kalıplama:** Elle kalıplama yönteminin gelişmiş şeklidir. Büyük ve karmaşık şekilli parçaların bu yöntemle üretilmesi mümkündür. Bu yöntemde kalıplanan parçalar ana vakum sistemine bağlandıktan sonra fırın sıcaklığı reçinenin sertleşme sıcaklığına ayarlanır ve belirli bir süre fırında tutulur. Uygulanan vakum, tabakalar üzerinde bir basınç etkisi oluşturur ve bu basınç etkisiyle tabakalar arasındaki hava ve fazla reçinenin dışarı çıkması sağlanır [23, 31].

**Otoklavda Torba Kalıplama:** Vakumlu torba kalıplamasından tek farkı sertleşme işleminin fırın yerine otoklavda yapılmasıdır. Bu yöntem diğerlerine göre daha uzun üretim zamanı ve daha yüksek maliyet içeren prosese sahiptir [23, 31].

#### 1.4.7. Ekstrüzyon Yöntemi

Ekstrüzyon yöntemi, plastik bir maddenin ısı ile akışkan hale getirilerek, basınç yardımıyla belirli bir şekilli kalıptan geçirilmesi ve biçimlendirilmesi yöntemidir. Bu biçimlendirme çubuk, boru, profil malzeme, film, levha ve herhangi bir başka malzeme üzerine kaplama şeklinde olabilir. Ekstrüzyon yöntemi termoplastik malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir [28, 31].



Şekil 14. Ekstrüzyon yöntemi [31]

#### 1.4.8. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama, termoplast bir plastiğin ısıtılmış bir cihaz silindirisinin lülesinden kapalı bir kalıba basınç uygulanarak enjekte edilmesi ile yapılan bir işlemdir. Enjeksiyon kalıplamada hidrolik sistem basıncı, uygulanan sıcaklık ve süre önemli ölçüde biçimlendirilen plastik türüne bağlıdır [28].

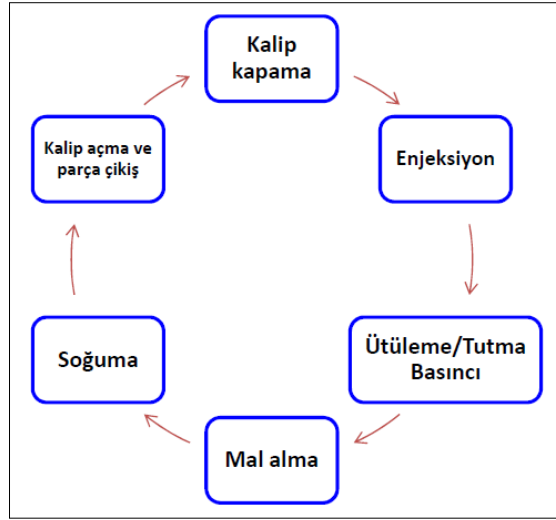
Termoplastik malzemelerin üretiminde en yaygın kullanılan yöntem olan enjeksiyon kalıplama, bu çalışmada kullanılan numunelerin üretiminde de seçilmiştir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi, plastik hammaddelerin tek bir işlemle istenilen şekilde kalıplanabilmesini sağlamak ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulaması gerektirmeyen seri imalat yöntemidir. Enjeksiyon kalıplama yönteminin birçok avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan en önemlileri [28, 32];

- Hızlı ve seri bir şekilde parça üretimi
- Düşük işçilik maliyeti
- Otomasyona uygunluk
- Malzeme kaybının minimum seviyelerde olması
- Aynı kalıp ve aynı enjeksiyon makinesinde farklı malzemelerin basılabilmesi
- Hassas toleranslarda çalışmaya uygunluk
- Yüzey hassasiyetinin yüksek olması
- Karmaşık şekilli parçaların tek bir işlemle üretimlerinin mümkün olması

Bu avantajlarının yanında enjeksiyon kalıplama yönteminin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar şu şekildedir [28, 32];

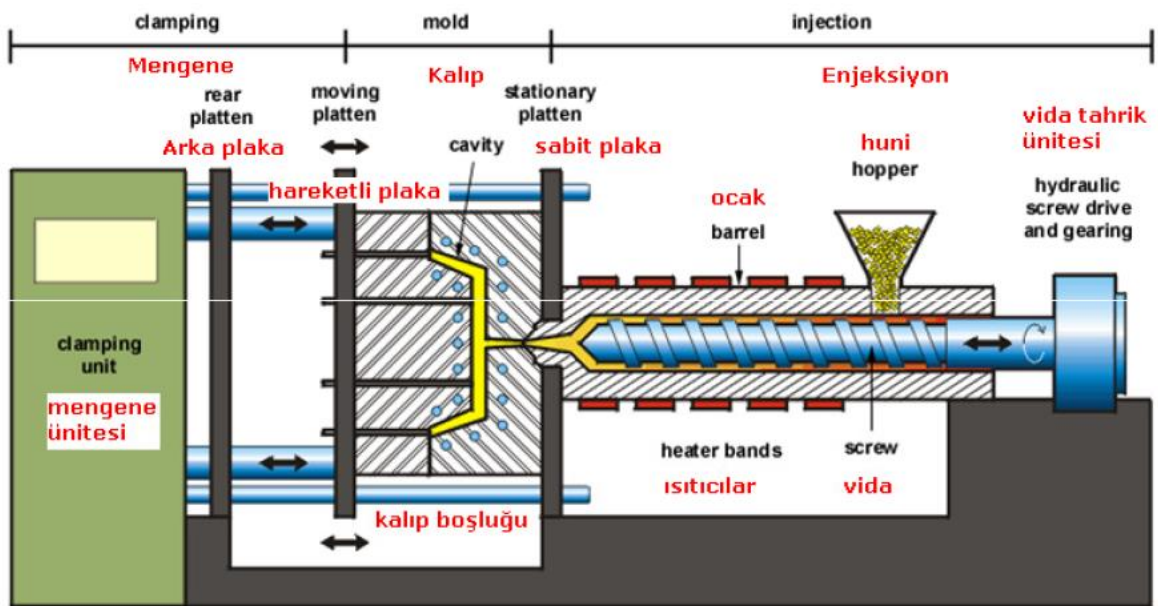
- Kalıp maliyetlerinin yüksek olması
- Enjeksiyon makinelerinin pahalı olması

Enjeksiyon kalıplama yönteminin aşamaları Şekil 15’de verilmiştir.



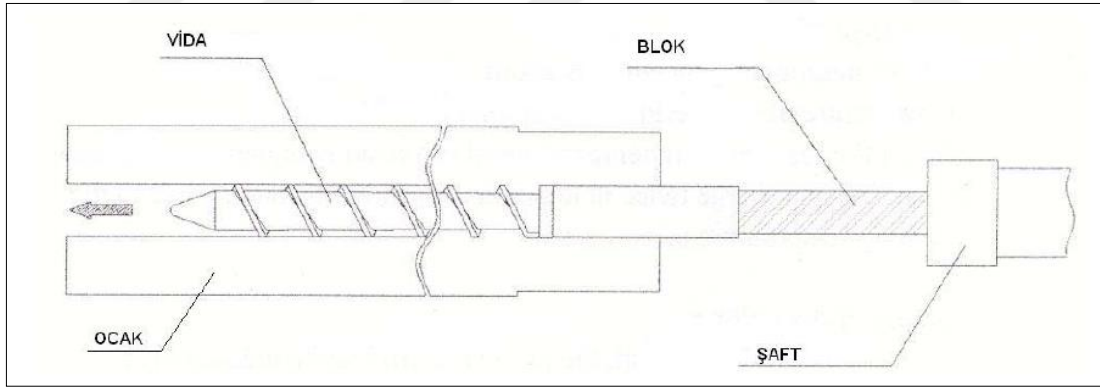
Şekil 15. Enjeksiyon kalıplama yönteminin aşamaları [32]

Enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılan enjeksiyon makineleri basit geometriye sahip küçük hacimli parçaların kalıplanmasında kullanılabildiği gibi daha büyük hacimlere sahip fazla sayıda parçaların kalıplanması içinde kullanılabilmektedir. 1,5 gr gibi küçük kütleli parçalardan 23 kg'lık büyük kütleli parçalara kadar biçimlendirebilecek kapasitede olanları bulunmaktadır. Enjeksiyon makineleri Şekil 16'da görüleceği üzere 3 ana gruptan oluşmaktadır. Bunlar; Enjeksiyon grubu, kalıp grubu ve kalıbın açılıp kapanmasına yarayan mengene grubudur [28, 32].



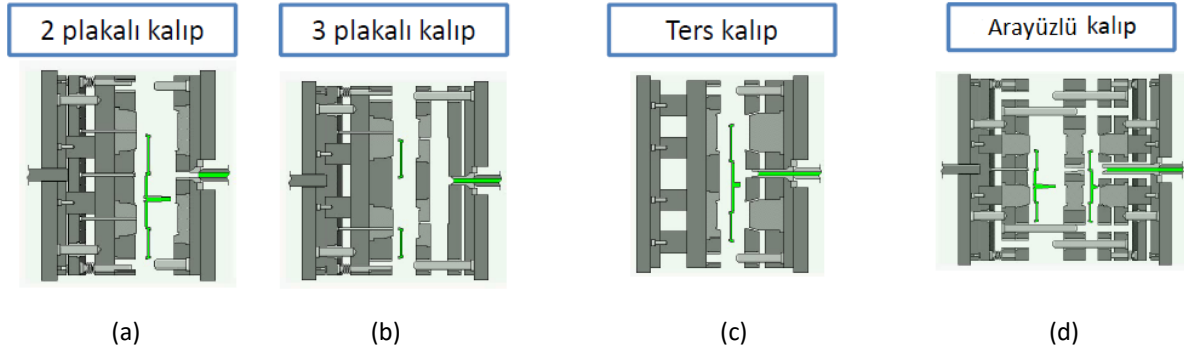
Şekil 16. Plastik enjeksiyon makinesi [32]

Enjeksiyon ile kalıplama yönteminde ilk önce kalıp, malzeme ve cihaz hazırlıkları yapılır. Plastik malzeme nemli ise kurutulur, renklendirme ve dolgu malzemeleri katılması gerekiyorsa katılır ve enjeksiyon işlemine geçilir. Granül şeklindeki plastik, besleme hunisinden cihaza verilir. Kontrollü bir ısıtma ile eriyen madde istenilen sıcaklığa gelince, gereken basınç ve hızda kalıba enjekte edilir. Erimiş plastik cihaz silindirinde fazla tutularak aşırı ısıtılmama yani yakılmamalıdır. Bunun aksine malzemenin proses sıcaklığına erişmesi sırasında geçen sürede karıştırma ve homojen hale getirme etkisinin azalmaması için kalıba soğuk halde de enjekte edilmemelidir. Şekil 17’de şematik görünümü verilen helezonik vidanın dönmesiyle ısıtma bölgesinde eriyen plastik ön taraftaki birikme bölgesine gelir, koşullar yeterli olduğunda kalıba enjeksiyon için bir hidrolik motor ve kavrama yardımıyla helezon, bir piston gibi ileri doğru çalışır. Bu sırada helezon ön tarafındaki sonsuz valf kapanarak erimiş malzemenin geri kaçmasını önler. Kalıba basılan malzemenin soğuyarak katılaşmasından sonra kalıp açma sırasında cihaz lülesinden kalıp yolluğuna doğru giden katılaşmış malzeme de otomatik kesme ile ayrılabilir [28].



Şekil 17. Helezonik vidanın şematik görünümü [33]

Enjeksiyon makinelerinde kullanılan kalıplarının tasarımları ve üretimleri çok fazla özen istemektedir. Kalıp üretiminde en önemli hususlar; yollukların boyutları ve sayıları, kalıbın bazı bölgelerine verilmesi gereken koniklikler, hafif olarak imal edilmeleri, iç yüzeylerinin parlatılması, alt ve üst parçaların birbirlerine çok iyi uyumlarıdır. Şekil 18’de plastik enjeksiyon kalıbı tipleri görülmektedir [28, 32].



Şekil 18. Enjeksiyon Kalıp Tipleri (a) 2 plakalı kalıp, (b) 3 plakalı kalıp, (c) ters kalıp, (d) arayüzlü kalıp [32]

Görevi kalıbı kapayıp açmak olan mengene grubunun şematik görünümü Şekil 19’da verilmiştir. Mengene grubunun bir diğer görevi ise, yüksek basınçta kalıbın kapalı kalmasını sağlayarak kalıp ayrılma hattında çapak oluşmasına izin vermemektir [28, 32].



Şekil 19. Enjeksiyon makinesine ait mengene grubu [32]

3 tip mengene ünitesi vardır. Kalıbın açılıp kapanması ve enjeksiyon basıncına karşı gerekli kuvvet hidrolik silindir ile sağlanıyorsa hidrolik kapama, mekanik mengene düzeneği küçük bir hidrolik silindir ile tahrik ediliyorsa mekanik kapama, kalıbın açılıp kapanması hızlı ve düşük kuvvet uygulayan hidrolik silindir aracılığıyla yapıyorsa hidromekanik kapama ünitesi denir. Hidromekanik kapama ünitesinde kapama işlemi tamamlanınca mekanik kitleme silindirleri devreye girer. Tutma ve ütüleme basınçlarını karşılayacak kapama kuvveti için ana hidrolik silindir kullanılır [28, 32].

### 1.5. Literatür Özetleri

Uçak, helikopter gibi askeri hava taşıtlarında, tank, panzer gibi zırhlı araçlarda, askeri taşımacılıkta kullanılan ağır vasıtalarda, kurşungeçirmez yeleklerde, silah gövdelerinde kompozit malzemeler, gün geçtikçe daha fazla ve daha farklı uygulama biçimleriyle savunma sanayimizde kullanım alanı bulmaktadır. İleri kompozitlerin sıvı zırhlarda, insansız hava araçlarında, tank ve hava araçları zırhlarında, hava araçlarının kanat ve kuyruk elemanlarında ve iniş-kalkış pistlerinde kullanılması, savunma sanayinin gelişmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Günümüzde uçak endüstrisinde, kompozit malzeme kullanım oranı %30'lara ulaşmıştır [4].

Bu çalışma kapsamında polimer kompozit malzemeler ile ilgili olarak yapılan çalışmaları özetleyecek olursak;

Yapılan bir çalışmada, %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kısa cam fiber takviyeli PA6 ve %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kısa cam fiber takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemeler enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş ve mekanik deneyleri yapılmıştır. Mekanik deneyler sonucunda fiber takviyesinin, matrisin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Yapılan mikroyapı incelemelerinde, fiberlerin enjeksiyon yönünde matris içinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca üretim yöntemi olarak kullanılan plastik enjeksiyon yönteminin daha seri ve daha düşük maliyetli üretim yapılabilmesine olanak sağladığı tespit edilmiştir [33].

Silahlar ile ilgili yapılan bir çalışmada, cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA66 kompozit malzemeye %30 hacim oranına kadar cam elyaf takviyesinin malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine olumlu katkı yaptığını fakat bu orandan daha yüksek elyaf katkısının malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda silah gövdesi olarak kullanılacak kompozit malzemenin en üstün mekanik özelliklere %30 oranında cam elyaf içermesi durumunda erişilebildiği belirlenmiştir [34].

Yapılan bir çalışmada, enjeksiyon ve ekstrüzyon olmak üzere 2 farklı üretim yöntemiyle üretilmiş, kauçukla güçlendirilmiş PA66 matris malzemelerine farklı oranlarda cam elyaf takviye edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kompozitlerin çekme dayanımının ve rijitliğinin artan takviye oranına bağlı olarak lineer bir artış sergilediğini belirlenmiştir. Ayrıca enjeksiyonla kalıplamada, çekme mukavemeti 85 MPa ve elastisite

modülü 7 GPa iken ekstrüzyon yönteminde çekme mukavemeti 70 MPa ve elastisite modülü 5 GPa olduğu belirlenmiştir [35].

Enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak cam elyaf takviyeli ve kauçukla güçlendirilmiş PA66/polipropilen karışımı ile ilgili yapılan bir çalışmada, artan PA66/PP oranıyla mukavemetin arttığı ve elastisite modülünün azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışma sonunda en yüksek darbe dayanımları 75/25 ve 50/50 PA66/PP oranlarında elde edilmiştir [36].

Uzun cam elyaf takviyelendirilmiş PA66 kompozit malzemeler ile ilgili çalışmada, numuneler enjeksiyon kalıplama tekniği ile hazırlanmış ve çapları ortalama 10, 14 ve 17 µm olan, ağırlıkça %10-50 oranlarında cam elyaf içeren kompozitlerin mukavemet ve uzama değerleri incelenmiştir. Kompozit dayanımının artan elyaf konsantrasyonu ile lineer olmayan biçimde arttığı ve artan elyaf çapı ile lineer olarak azaldığı bulunmuştur. Ağırlıkça % 35 elyaf oranına sahip malzemedeki uzamanın maksimum %27 olduğu kanıtlanmıştır, azalan elyaf çapı ile birlikte bu maksimum değer daha belirgin olarak ortaya çıktığı tespit edilmiştir [37].

Yapılan bir çalışmada, enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilmiş uzun cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemenin elyaf uzunluğu, çapı ve konsantrasyonunun elastisite modülü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kompozitlerin deney sonuçlarını ekstrüzyon tekniği ile üretilen standart kısa cam elyaf kompozitlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, elyaf uzunluğu ve çapının kompozit malzemenin elastisite modülü üzerinde aşırı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ancak elyaf hacim oranının elastisite modülünü lineer bir şekilde arttırdığı tespit edilmiştir [38].

Bir çalışmada, PP ve PA6 matrisli ağırlıkça % 15 ve % 30 oranlarında silan kaplı E-camı elyafı ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çekme mukavemetini ve kırılma enerjisini etkileyen en önemli parametrelerin elyaf uzunluğu ve elyaf/matris ağırlık oranı (%26) olduğunu belirtmişlerdir. Ağırlıkça % 15 ve % 30 elyaf takviye oranının PA6'nın çekme dayanımı % 74 ile 111 arasında arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca elyaf takviyesinin darbe dayanımı üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlıkça % 30 elyaf takviyesi PA6'nın kırılma enerjisini % 9 artırırken, % 15 elyaf takviyesi kırılma enerjisini % 21 azalttığı tespit edilmiştir [39].

E-camı takviye edilmiş PA6 kompozit malzemeler ile ilgili yapılmış bir çalışmada, ara yüzeydeki çatlak oluşumuna sıcaklık ve elyaf yüzeyinin etkileri incelenmiştir. Test sıcaklığı arttırıldıkça ara yüzey özelliklerinin ters yönde düşüş gösterdiği gözlenmiştir.

Artan sıcaklıkla birlikte matrisin kesme dayanımı ve elastisite modülündeki azalmayı ara yüzeydeki kesme kuvvetinin düşüşüyle açıklanmıştır [40].

Karbon ve cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin abrazyon aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmada, her iki kompozit malzeme için artan yük ve kayma mesafesiyle doğru orantılı olarak aşınma hacim kaybının arttığı saptanmıştır. Ayrıca karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin abrazyon aşınma dayanımının, cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemenin abrazyon aşınma dayanımından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [41].

### **1.6. Çalışmanın Amacı**

Ülkemizin bulunduğu konum itibari ile savunma sanayisine verdiği önem her geçen gün artmaktadır. Gerek iç güvenliğin sağlanmasında gerekse de dış güvenliğin sağlanmasında kullanılan yöntem ve silahların, gelişen teknolojiye bağlı olarak sürekli yenilenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmeler ışığında savunma sanayisinde kompozit malzemelerin uygulama alanları giderek artmaktadır.

Bu çalışmada, bir silahtan beklenen özellikleri en uygun şekilde karşılaması için seçilen polimer kompozit malzeme çiftlerinin uygunluk testleri yapılarak, silah parçası imal etmek için en uygun polimer matrisli kompozit malzemenin belirlenmesi sağlanacaktır. Hedeflenen bu amaç doğrultusunda, dünyada malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmelerin ülkemiz savunma sanayisine aktarılabilmesi için katkı sağlanacaktır. Ülkemiz silah sektörünün, hafif silahlar konusunda yetersiz olan bilimsel altyapısının geliştirilmesine ve bu alanda yetersiz sayıdaki bilimsel yayınların artırılmasına katkıda bulunulacaktır. Bu bağlamda savunma sanayisinde dış kaynaklara yapılan yatırımın azaltılabilmesi ve yurtiçi Ar-Ge yatırımlarının artırılmasına destek olunacaktır.



## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, hafif silahlarda kullanılmak üzere polimer esaslı kompozit malzeme seçiminin yapılabilmesi amacıyla gerçekleştirilen literatür araştırması, ön deneyler ve Ülkemiz piyasa koşulları dikkate alınarak matris türü olarak PA66 (poliamid 66) ve PC (polikarbonat), elyaf türü olarak cam ve karbon elyaf malzemeler seçilmiştir. Söz konusu matris malzemeleri farklı oranlarda elyaflar ile takviye edilerek üretilen kompozit malzeme örnekleri gerekli incelemelere tabi tutularak elde edilen bulgular irdelenmiş, silah yapımında kullanılacak malzemelerden beklenen özellikler dikkate alınarak amaca en uygun kompozit malzeme çifti belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler endüstriyel olarak üretilen parçaları tam anlamıyla temsil etmesi amacıyla enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Üretimde 800 kN mengene kapama gücüne sahip ARBURG marka 370S model enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Kullanılan enjeksiyon makinesinin fotoğrafları Şekil 20-21’de, teknik özellikleri Tablo 5’de verilmiştir.



Şekil 20. Arburg 370S 800-150 enjeksiyon makinesi



Şekil 21. Arburg 370S 800-150 enjeksiyon makinesi

Tablo 5. Arburg Marka 370S Model Enjeksiyon Makinesinin Teknik Özellikleri

<b>Makina Tipi: Arburg 370S 800-150</b>		
<b>Max. kapama kuvveti:</b>	800	kN
<b>Max. enjeksiyon basıncı:</b>	2000 bar	bar
<b>Kolon aralığı:</b>	370x370	mm
<b>Min. kalıp bağlama mesafesi:</b>	200	mm
<b>Max. kalıp bağlama mesafesi:</b>	400	mm
<b>Max. kalıp açılma mesafesi:</b>	600	mm
<b>Max. itici stroğu:</b>	125	mm
<b>Flanş çapı:</b>	125	mm
<b>Max. baskı gramajı ( PS ) :</b>	92	g
<b>Vida çapı :</b>	30	mm
<b>Max. kalıp şartlandırma sıcaklığı</b>	90	C°

Bu çalışma için hazırlanan numunelerin üretiminde kullanılan matris ve takviye malzemesi ile uygulanan takviye oranları Tablo 6' da verilmiştir. Numunelerin hazırlanmasında ASTM (American Society for Testing and Materials) standartları referans alınmıştır.

Tablo 6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numune Çiftleri

MATRİS MALZEMESİ	TAKVİYE MALZEMESİ	TAKVİYE ÖZELLİKLERİ	ELYAF HACİM ORANI	MALİYET (€/kg)
PA66	CAM ELYAF	Elyaf Çapı = 10 $\mu$ m Elyaf Boyu = 4,5 mm	15%	2,5
			30%	2,35
			40%	2,4
	KARBON ELYAF	Elyaf Çapı = 8 $\mu$ m Elyaf Boyu = 6 mm	30%	10
			40%	13,5
PC	CAM ELYAF	Elyaf Çapı = 10 $\mu$ m Elyaf Boyu = 4 mm	15%	2,45
			25%	2,35
			30%	2,3

Numunelerde kullanılan matris malzemeleri ve takviye elemanları ile ilgili bilgiler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Poliamid 66 (PA 66): Naylon 6.6 olarak da bilinirler. Sağlam ve dayanıklı olmalarının yanında iyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahiptirler. Korozyon dirençleri yüksektir. Makine sanayinde, dişli çarklarda, kaymalı yataklarda ve savunma sanayinde kullanılmaktadırlar. Silah gövdesi olarak en yoğun kullanılan matris malzemesidir [27, 28].

Polikarbonat (PC): Mekanik özelliklerinin iyi oluşu, kullanım alanlarının genişliği ve birçok özelliği bakımından poliamide benzemesi sebebiyle polikarbonat malzeme PA 66 matris malzemesine alternatif matris malzeme olarak seçilmiştir [28].

E-cam: Başlıca takviye malzemesi olarak e-camı kullanılmaktadır. E-camının alkali oranının düşük olması sebebiyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksek olmakla birlikte suya karşı direnci de çok yüksektir [14, 42].

Karbon Elyaf: Karbon elyaf, e-camına alternatif takviye elemanı olarak seçilmiştir. Karbon elyafın alternatif takviye elemanı olarak seçilmesinin başlıca sebebi, düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olmalarıdır. Ayrıca karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve yüksek sıcaklık dayanımları çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir [15, 16].

## 2.1. Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan numunelerin incelenmesi amacıyla optik mikroskopunda numunelerin 200 kat büyütme ile görüntüleri çekilmiştir.

## 2.2. Yoğunlukların Belirlenmesi

Yoğunlukların belirlenmesi amacıyla  $80 \times 10 \times 4 \text{ mm}^3$  ebatlarında numuneler kullanılmıştır. Numunelerin kütleleri 0,1 mg hassasiyete sahip dijital terazide tartılmıştır. Numunelerin boyutları ise 1  $\mu\text{m}$  hassasiyetli mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Daha sonra  $\rho = m/V$  eşitliğinden faydalanarak numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır.

Numunelerin gerçek yoğunluklarının belirlenmesinin ardından, belirlenen yoğunluklar polimer kompozit malzemelerin teorik yoğunluklarıyla karşılaştırılacaktır. Teorik yoğunluklar hesaplanırken Bölüm 1'deki Tablo 3 ve Tablo 4' te verilen yoğunluk değerleri ve Bölüm 2'deki Tablo 6' da verilen numunelerdeki takviye elemanlarının hacimsel katkı oranları dikkate alınmıştır. Teorik yoğunluk hesaplanmasında;

$$\rho = \frac{(\rho_m \cdot \%m) + (\rho_t \cdot \%t)}{100} \quad \text{eşitliğinden faydalanılmıştır.}$$

$\rho$  = Malzemenin teorik yoğunluğu

$\rho_m$  = Matris malzemesinin yoğunluğu

$\rho_t$  = Takviye elemanının yoğunluğu

$\%m$  = Matris malzemesinin hacimsel % oranı

$\%t$  = Takviye elemanının hacimsel % oranı

## 2.3. Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri ASTM D785-60T standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Boyutları  $40 \times 40 \times 7 \text{ mm}^3$  olan numunelere en az 5 adet sertlik ölçümü yapılmış olup bu ölçümlerin ortalamaları alınarak sertlik değerleri tespit edilmiştir. Sertlik ölçümleri  $-40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $+22^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  ve  $+60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  olmak üzere 3 farklı sıcaklık değerinde numuneler 6

saat süreye bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, numune sıcaklıklarının ölçüm esnasında 3 derecelik ısınma veya soğuma hatasıyla, HRE (Rockwell E) sertlik skalası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri için kullanılan AFFRI 206 EX model sertlik ölçüm cihazına ait görüntü Şekil 22’de verilmiştir. OVEN ST-055 model sıcak ve soğuk dolabının fotoğrafı Şekil 23’de verilmiştir.



Şekil 22. Sertlik ölçüm cihazı



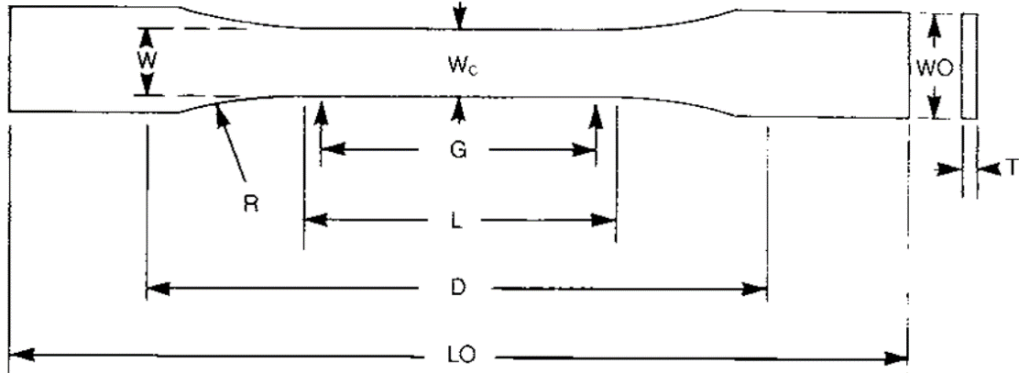
Şekil 23. Sıcak ve soğuk ortam sağlayıcı

## 2.4. Çekme Deneyi

Mekanik zelliklerin belirlenmesi için ASTM D 638 – 03 standardına uygun çekme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, 100 kN kapasiteli Instron marka DX serisi çekme deney makinesinde 5 mm/dk'lık sabit çekme hızı uygulanarak çekme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyleri sonucunda malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Her bir malzeme için en az 5 adet numune kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çekme deneylerinde kullanılan deney makinesine ait görüntü şekil 24'te, çekme deney numunelerine ait teknik resim şekil 25'te ve numune boyutları ise Tablo 7'de verilmiştir.



şekil 24. Çekme deney makinesi



Şekil 25. Çekme deney numunesi [43]

Tablo 7. Çekme Deney Numunesinin Boyutları [43]

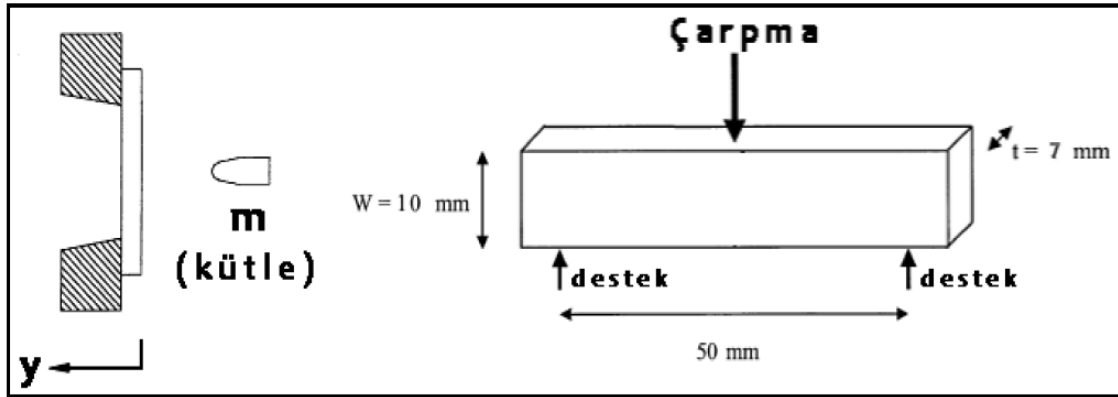
W ; dar kısmın genişliği, mm	13
L ; dar kısmın uzunluğu, mm	57
WO ; tüm genişlik, mm	20
LO ; tüm uzunluk, mm	170
G ; ölçüm uzunluğu, mm	50
D ; çeneler arası mesafe, mm	115
R ; eğrilik yarıçapı, mm	76
T ; kalınlık, mm	4,2

## 2.5. Darbe Deneyi

ASTM D 256 standartlarına uygun olan çentiksiz deney numunelerinin Charpy Darbe Deneyleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Darbe deneylerinde CEAST marka 9050 model darbe deney cihazı kullanılmıştır. Her bir malzeme için en az 5 adet numune kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Darbe deney cihazına ait görüntü Şekil 26'da, Charpy darbe deney düzeneği ve numune boyutları ise şematik olarak Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 26. Darbe deney cihazı



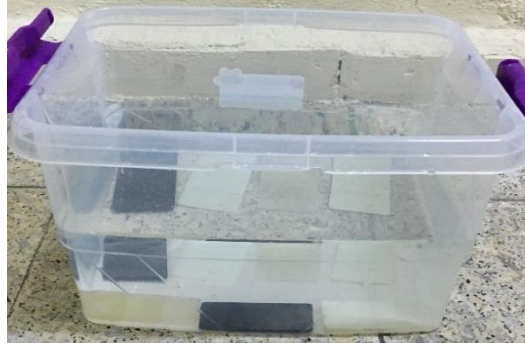
Şekil 27. Charpy darbe deney düzeneği ve numune boyutları [44]

## 2.6. Korozyon Deneyi

Silahların sürekli olarak korozyon ortamına maruz kalmaları korozyon deneyinin silahlar için önemini arttırmaktadır. Örneğin; insan teri, yağmur suyu silahların sürekli maruz kaldığı korozyon etkilerinin sadece birkaçıdır. Polimer kompozitlerin korozyona karşı tepkilerinin ölçülebilmesi amacıyla  $80 \times 10 \times 4 \text{ mm}^3$  ölçülerinde plakalar şeklinde hazırlanan korozyon test numuneleri Nato Test Regulations D14 standartlarına bağlı olarak ağırlıkça %5 sodyum klorür, %95 su içeren solüsyon içerisinde 24 saat süreyle bekletilir. 24 saatlik süre sonrasında solüsyon içerisinde çıkarılan numuneler, temiz bir pamuklu bezle



kurulanıp göz muayenesi yapılarak yüzeylerinde korozif aşınma meydana gelip gelmediği araştırılır [10].



Şekil 28. Korozyon deneyi düzeneği

## 2.7. Su Absorpsiyon Deneyi

Su absorpsiyon testi plastik malzemelerde ortam şartlarına bağlı olarak karşılaşılan boyutsal değişikliklerin tespit edilmesi için sıklıkla kullanılan bir muayene yöntemidir. Bu test, ASTM D 570-81 standartlarına uygun olarak hazırlanan numunelerin,  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki su içerisinde 24 saat bekletilerek uygulanır (Şekil 29). Suda bekletilen numuneler, numuneler temizlenip, kurularak hemen tartılır. Numunelerin ağırlıklarında tespit edilen değişimler yüksek hassasiyete sahip terazi yardımıyla belirlenerek, numunelerin su emme kabiliyetleri hesaplanmış olunur. Bu hesaplama yapılırken kullanılan denklem;

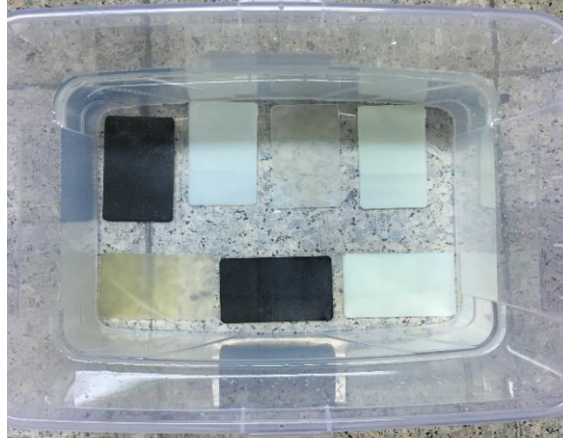
$$\frac{\text{Islak Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Kuru Ağırlık}} * 100 = \% \text{ Su Absorpsiyon}$$

Su emen malzemelerin hacimsel olarak şekil değiştirmeleri ile ilgili yorum yapılabilmesi amacıyla ağırlıkça su emme oranlarına bağlı olarak, hacimsel su emme değerleri de hesaplanmıştır. Hacimsel % su absorpsiyon hesaplanırken kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$\text{Hacimsel \% Su Absorpsiyon} = \frac{\text{Ağırlıkça \% su absorpsiyon}}{\rho_{su}} * \rho_{kom}$$

$\rho_{kom}$  = Kompozit malzemenin yoğunluğu

$\rho_{su}$  = Suyun yoğunluğu



Şekil 29. Su absorpsiyon deney düzeneği

## 2.8. Aşınma Deneyi

Silah parçaları arasında meydana gelen aşınma, silahın ömrünü ve kalitesini belirleyen önemli parametrelerdendir. Bu bağlamda numunelerin aşınma davranışlarının incelenmesi için ASTM G99 – 05 standartlarına uygun olarak aşınma deneyleri (aşınma deney şartları Tablo 8’de verilmiştir) yapılmıştır. Aşınma deneylerinde Şekil 30’ da fotoğrafı verilen atmosfer ve vakum ortamında çalışabilen ball-on-disk esaslı aşınma deney düzeneği (DUCOM Wear and Friction Test Machine) kullanılmıştır. Söz konusu düzenek; yükleme düzeneği, aşınma miktarı algılayıcısı, sürtünme kuvveti ve sıcaklık ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Bu düzenek, üzerinde iki adet gözlem penceresi bulunan, paslanmaz çelikten imal edilmiş fanus şeklindeki kapak ile örtülen bir ortama yerleştirilmiştir.

Deneyler 20N yük altında, oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı (karşı eleman) olarak ise 6 mm çapında 100Cr6 (AISI 52100) çelik bilye kullanılmıştır. Numuneler deneylerden önce ve sonra 0,1 mg okunabilirliğe sahip hassas terazi yardımıyla ağırlıkları ölçülerek aşınma miktarları hesaplanmıştır. Uygulanan aşınma deneyinden elde edilen aşınmış deney numunelerinin aşınma yolları, optik profilometre ve optik mikroskop yardımıyla incelenerek yüzey görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca, aşınma yollarının daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi amacıyla numunelerin aşınma yolları taramalı elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir.



Şekil 30. Aşınma DeneY Düzenegİ

Tablo 8. Aşınma DeneY Şartları

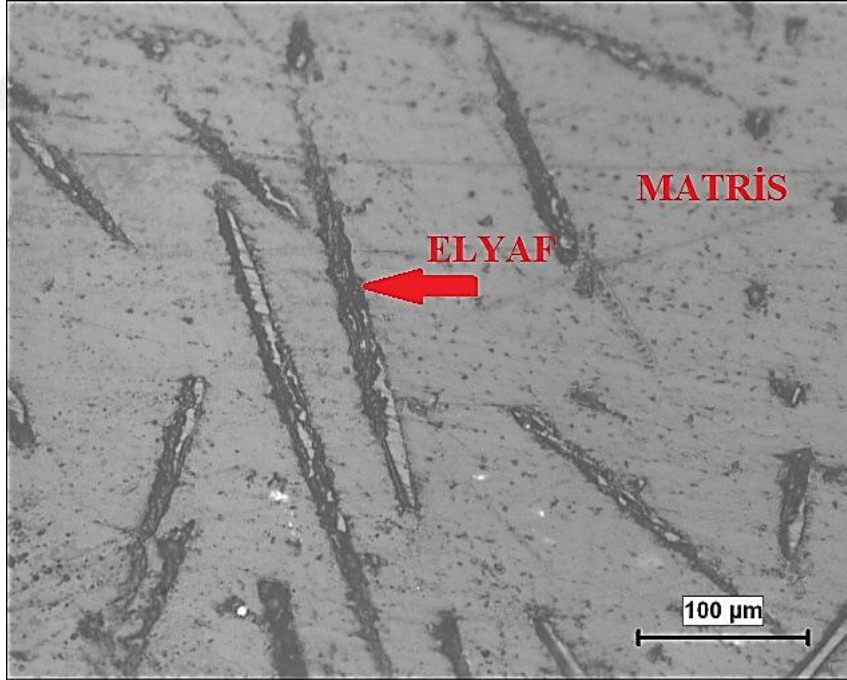
<b>AŞINMA DENEY ŞARTLARI</b>	
Aşındırıcı Bilye	100Cr6 Çelik bilye
Aşındırıcı Bilye Çapı	6 mm
Uygulanan Yük	20N
İz Çapı	25 mm
Dönme Hızı	300 d/dk
Çevresel Hız	0,39 m/s
Yük Tekrarı	2000 çevrim
Alınan Yol	157 m
Test Ortamı	1013 mbar (Hava)
Ortam Sıcaklığı	20-24 °C
Bağıl Nem	% 50-58

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

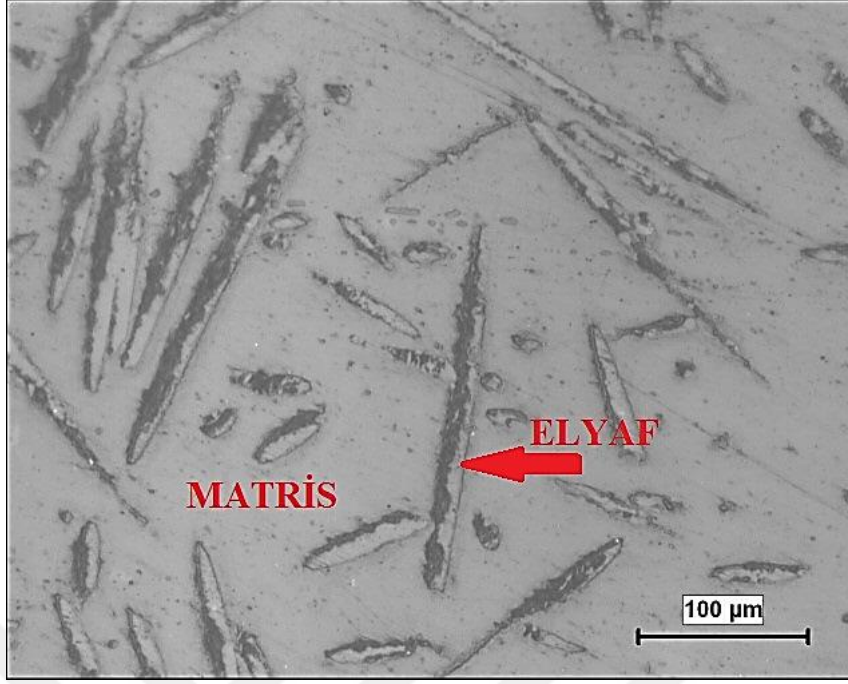
#### 3.1. Mikroyapı Bulguları

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin optik mikroskobu görüntüleri Şekil 31-38' de verilmiştir. Numunelerdeki ana yapıyı oluşturan matris malzemesi ve matrise takviye edilen elyaf lifleri her numune üzerinde gösterilmiştir.

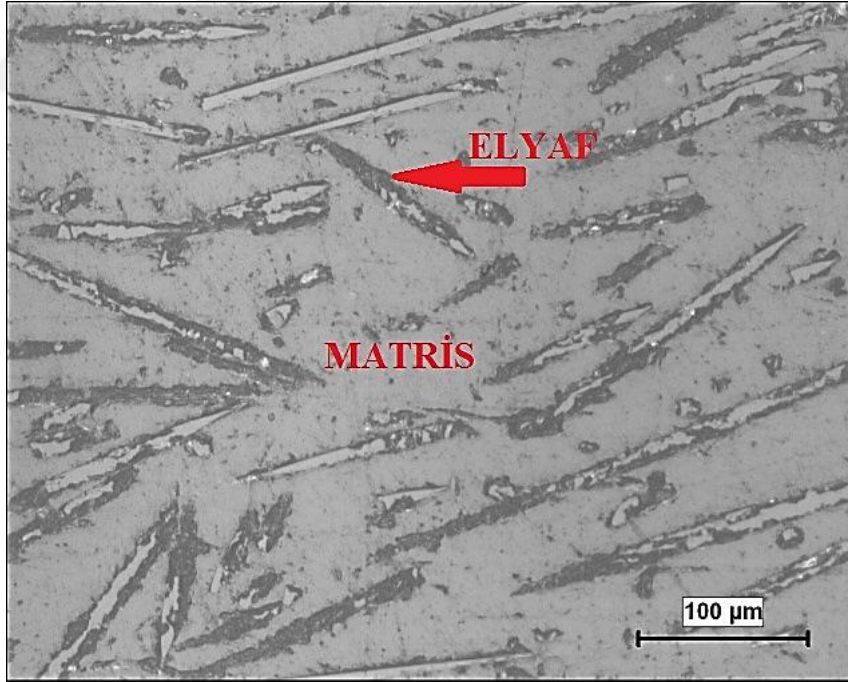
Optik mikroskobu görüntüleri incelendiğinde numunelerin uygun takviye oranlarında elyaflar ile takviye edilmiş oldukları ve malzemelerde üretim aşamasından kaynaklı tespit edilebilir derecede boşluk ve hatalar içermediği görülmektedir. Numunelerde gözlemlenen elyaf yoğunluğunun takviye oranlarını doğrular nitelikte olduğu kanısına varılmıştır. Elyafların dağılımları incelendiğinde matris malzemesi içerisinde gelişigüzel yönlenmiş oldukları ve farklı doğrultularda elyafların bulunduğu görülmektedir.



Şekil 31. %15 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme

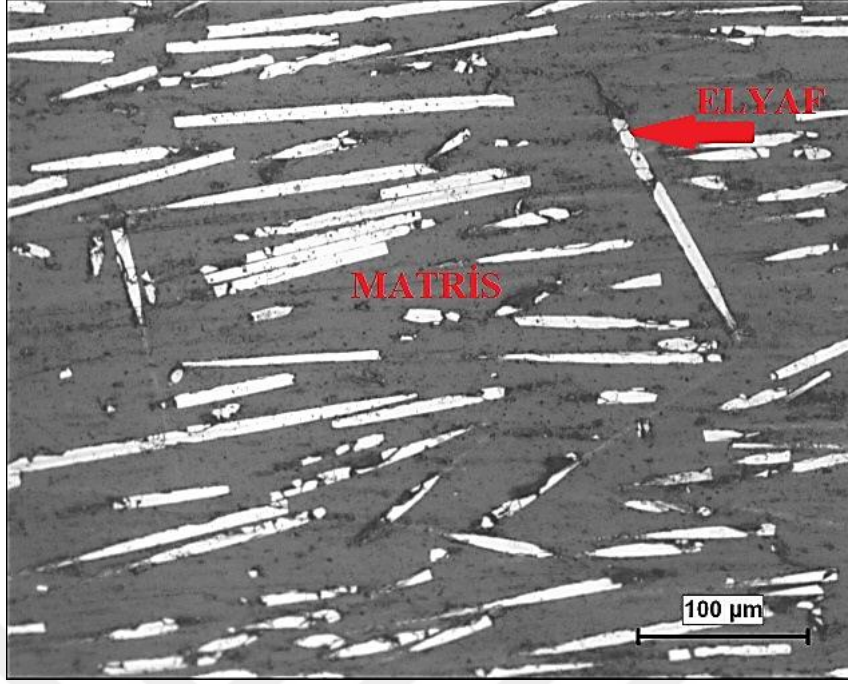


Şekil 32. %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme

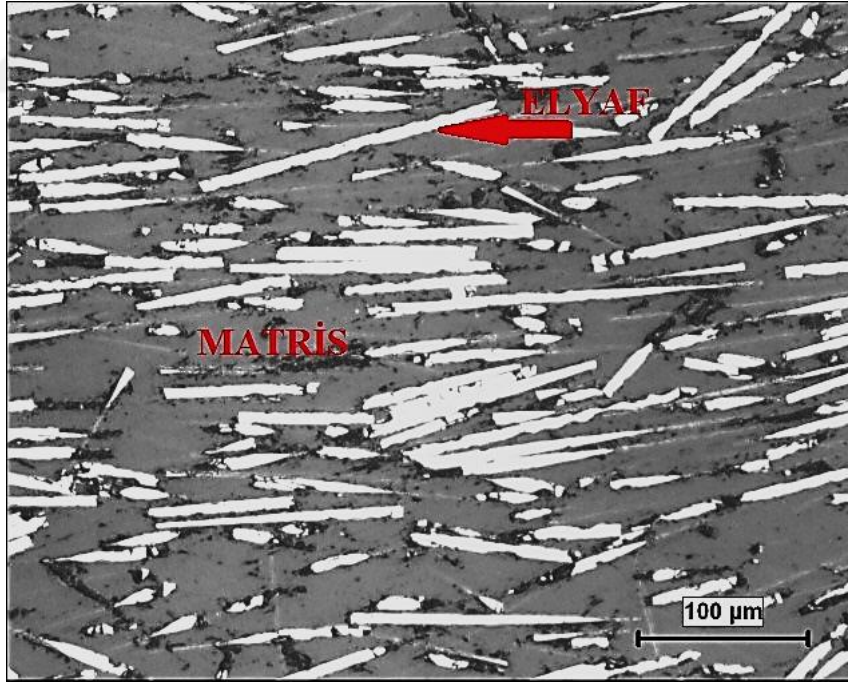


Şekil 33. %40 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme

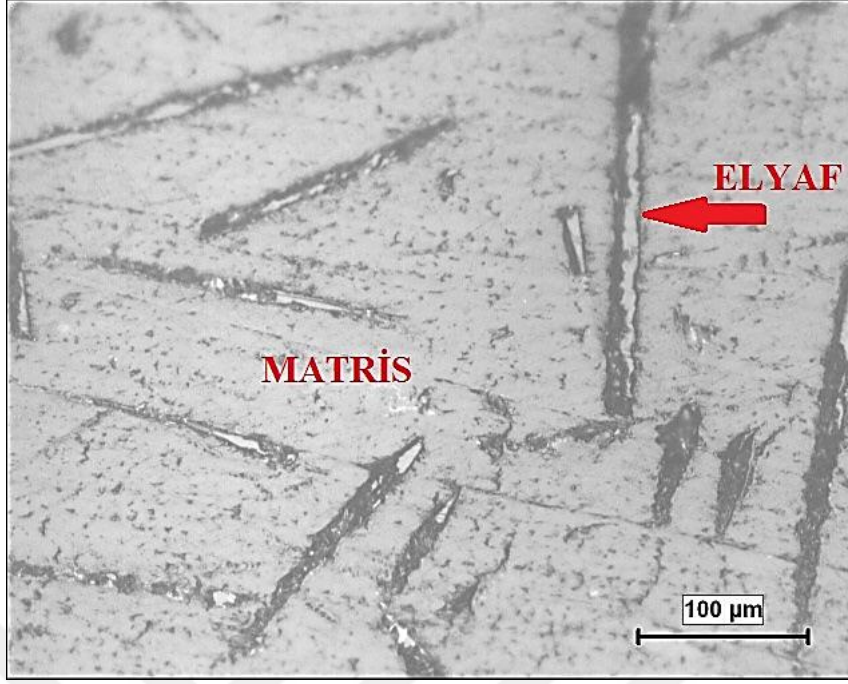




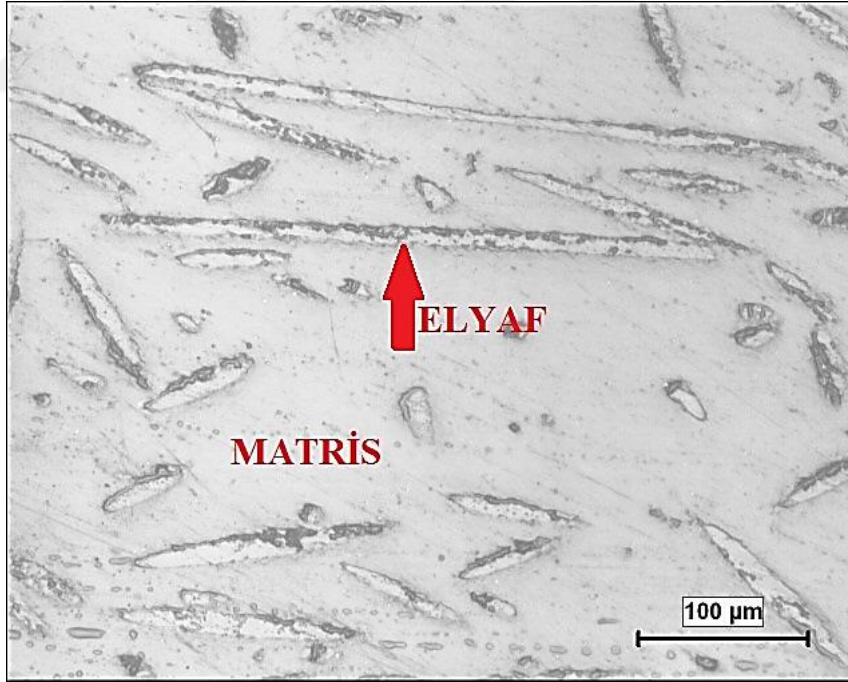
Şekil 34. %30 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme



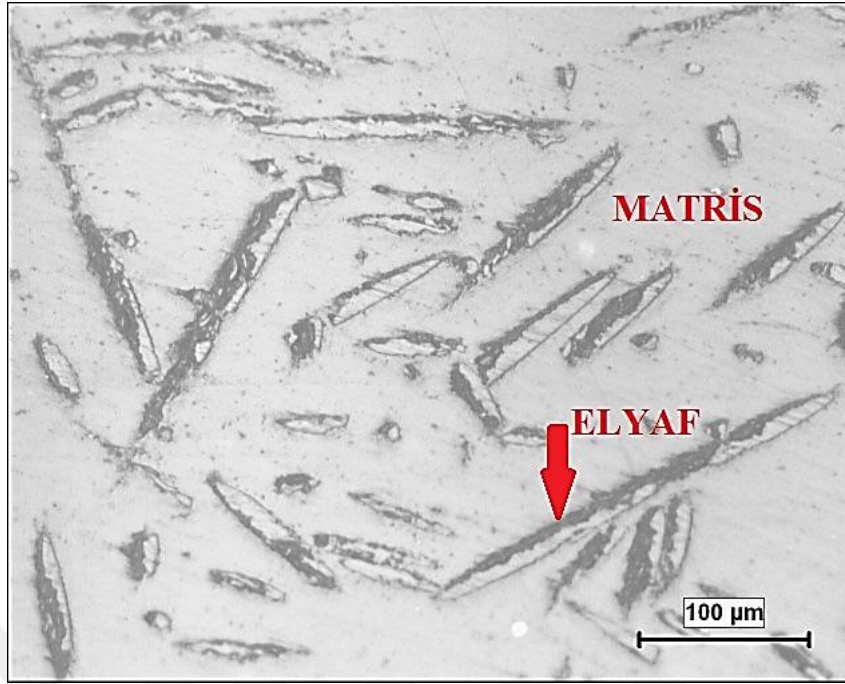
Şekil 35. %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme



Şekil 36. %15 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzeme



Şekil 37. %25 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzeme



Şekil 38. %30 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzeme

### 3.2. Numunelerin Yoğunluk Değerleri

Numunelerin, hesaplanan gerçek ve teorik yoğunluklarının karşılaştırmalı sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Gerçek ve Teorik Yoğunlukları

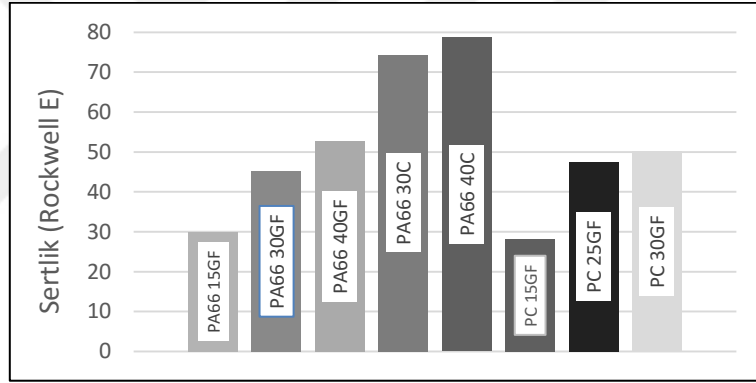
NUMUNE	NUMUNE YOĞUNLUĞU (g/cm <sup>3</sup> )	TEORİK YOĞUNLUK (g/cm <sup>3</sup> )	YOĞUNLUK FARKI (g/cm <sup>3</sup> ) (%)
PA66 15GF	1,25 ± 0,01	1,35	0,10 (%7)
PA66 30GF	1,37 ± 0,01	1,56	0,19 (%12)
PA66 40GF	1,51 ± 0,01	1,70	0,19 (%11)
PA66 30C	1,28 ± 0,01	1,32	0,04 (%3)
PA66 40C	1,33 ± 0,01	1,38	0,05 (%4)
PC 15GF	1,30 ± 0,01	1,40	0,10 (%7)
PC 25GF	1,37 ± 0,01	1,53	0,16 (%10)
PC 30GF	1,43 ± 0,01	1,60	0,17 (%11)



Numunelerin teorik ile gerçek yoğunlukları arasında belirlenen fark, numunelerin hazırlanması aşamalarında kullanılan elyaf oranlarının sağlanmasında oluşan yaklaşık  $\pm 1$  birimlik hata aralığı içerisinde kalmakta olduğu belirlenmiştir.

### 3.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Numunelerin oda sıcaklığında sertlikleri ölçülmüş olup bu sertlik değerlerinin grafikte gösterimi Şekil 39'da verilmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değerinin %40 oranında karbon elyaf takviyeli PA66 malzemede olduğu, en düşük sertlik değerinin ise %15 oranında cam elyaf takviyeli PC malzemede olduğu görülmektedir. Kompozit malzemeler kendi gurupları içerisinde değerlendirildiklerinde sertliklerinin takviye oranıyla doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür.



Şekil 39. Numunelerin sertlik değerleri

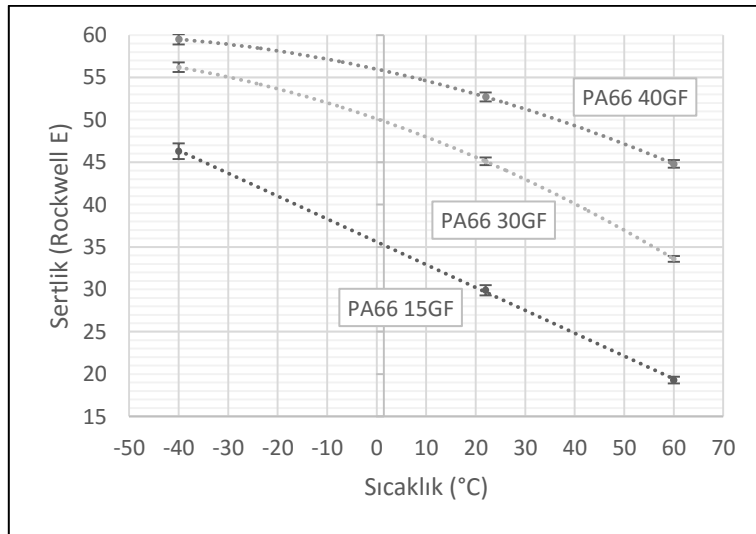
Malzemelerin oda sıcaklığında sertliklerinin ölçülmesinin ardından sıcaklık değişimlerine nasıl tepki verdiklerinin tespit edilmesi amacıyla numuneler,  $-40^{\circ}\text{C}$  ve  $+60^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda 6 saat süreyle bekletilerek bu sıcaklıklardaki sertlik değerleri belirlenmiştir.

Tablo 10'da belirlenen sıcaklık değerlerinde numunelerin ölçülen sertlik değerleri verilmiştir. Şekil 40-42'de numunelerin sertlik değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerinin grafikleri görülmektedir.

Tablo 10. Numunelerin Farklı Sıcaklıklarda Sertlik Değerleri

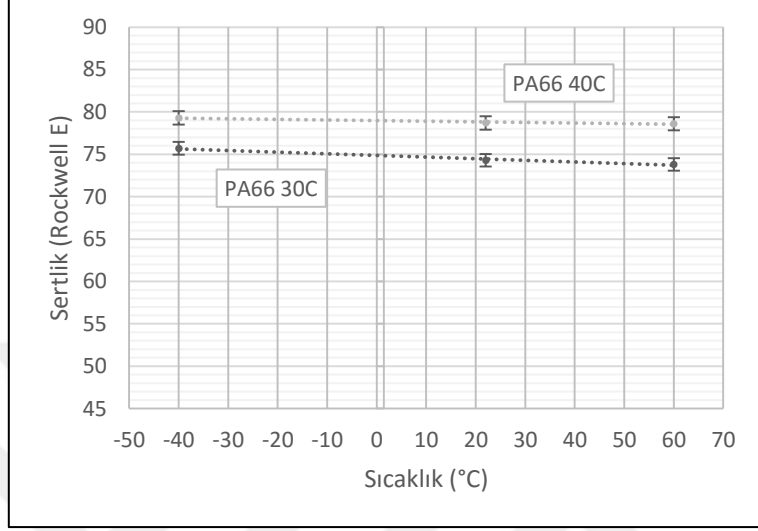
MALZEME	SERTLİK (-40 °C) (RSD-E)	SERTLİK (+22 °C) (RSD-E)	SERTLİK (+60 °C) (RSD-E)
PA66 15GF	46,43	29,92	19,3
PA66 30GF	56,22	45,14	33,62
PA66 40GF	59,5	52,71	44,87
PA66 30C	75,7	74,36	73,81
PA66 40C	79,31	78,73	78,62
PC 15GF	34,92	28,1	23,24
PC 25GF	48,78	47,6	36,91
PC 30GF	52,14	50,15	42,12

Şekil 40'da cam elyaf takviyeli PA66 malzemelerin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Sıcaklık arttıkça numunelerin sertliklerinin belirgin şekilde düştüğü ve en büyük sertlik değişiminin %15 cam elyaf takviyeli PA66 malzemede yaşandığı tespit edilmiştir.



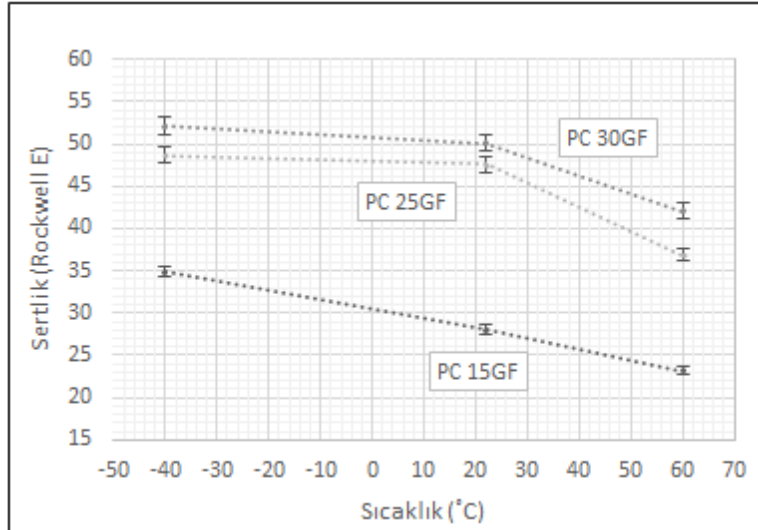
Şekil 40. Cam elyaf takviyeli PA66 numunelerinin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi

Şekil 41’de karbon elyaf takviyeli PA66 malzemelerin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin sertliklerinin sıcaklıktan ihmal edilebilir derecede az etkilendiği tespit edilmiştir.



Şekil 41. Karbon elyaf takviyeli PA66 numunelerinin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi

Şekil 42’de sıcaklıkla değişimi verilen cam elyaf takviyeli PC malzemelerin sertliklerinin, sıcaklık arttıkça düştüğü ve bu sertlik değişimlerinin 3 farklı takviye oranında da birbirlerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 42. Cam elyaf takviyeli PC numunelerinin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi

### 3.4. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

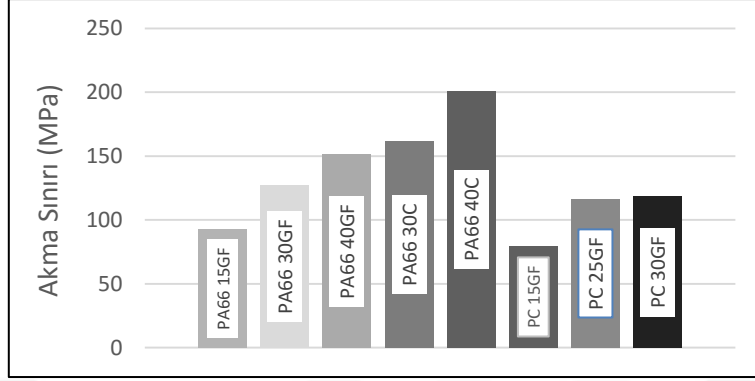
Çalışmada kullanılan numunelerin çekme deneyleri ve darbe deneyleri yapılarak mekanik ve fiziksel bazı özellikleri tespit edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen veriler Tablo 11’de verilmiştir. Söz konusu sonuçların çubuk diyagramlarda gösterimleri Şekil 43-46’da verilmiştir.

Tablo 11. Numunelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

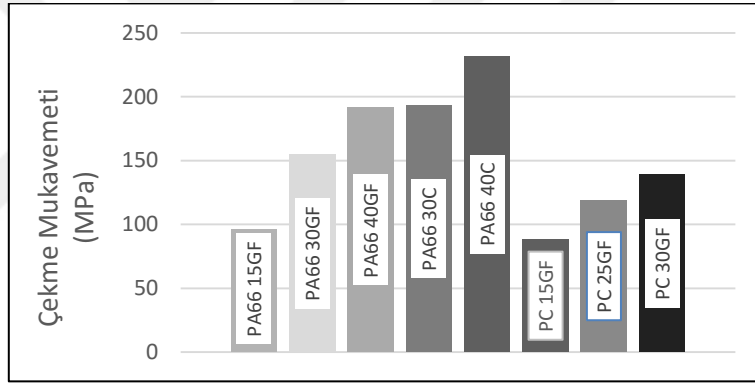
NUMUNE	ELASTİSİTE MODÜLÜ (GPa)	AKMA SINIRI (MPa)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	KOPMA UZAMASI (%)	TOKLUK > (J)	DARBE DAYANIMI (J)
PA66 15GF	7,21	93,1	95,7	2,09	4,04	1,02
PA66 30GF	11,27	127,2	155	2,74	10,01	2,31
PA66 40GF	14,56	151,2	191,4	2,91	15,04	2,71
PA66 30C	17,72	161,4	193,1	2,12	5,92	2,59
PA66 40C	24,63	201,1	231,3	1,34	6,8	2,91
PC 15GF	4,83	79,5	88,2	2,14	3,66	1,80
PC25GF	6,81	116,3	118,8	2,58	4,78	2,15
PC30GF	8,42	118,5	138,8	2,76	9,45	2,41

Şekil 43 ve 44’de polimer kompozit numunelerinin çekme deneyi sonucunda elde edilen mukavemet değerleri görülmektedir. Bu şekillerden, aynı türdeki % 15, %25 ve %30 cam elyaf takviyeli PC kompozit malzemelerin, %15, %30 ve %40 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin ve %30, %40 karbon takviyeli PA66 kompozit malzemelerin kendi içlerinde artan takviye oranına göre mukavemet değerlerinin de artmakta olduğu görülmüştür. Bu malzemelerin tümü içerisinde en yüksek akma sınırı (201 MPa) ve çekme mukavemetinin (231 MPa) %40 karbon elyaf takviye içeren PA66 kompozit malzeme elde edildiği tespit edilmiştir. Karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin eşdeğer cam elyaf takviyeli diğer kompozit malzemelerden daha yüksek

çekme ve akma mukavemetlerine sahip oldukları Şekil 43-44’de diyagramlarda görülmektedir.



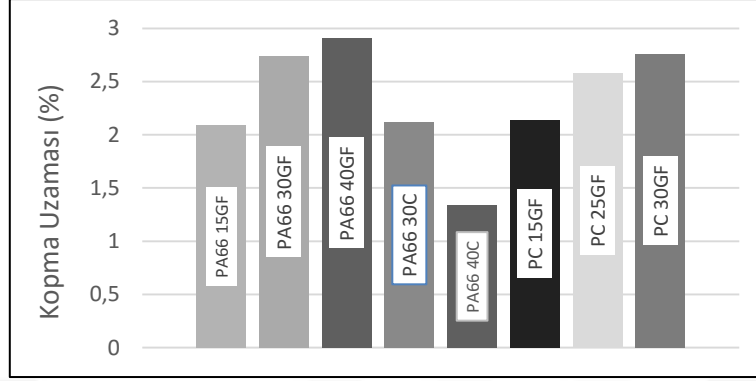
Şekil 43. Numunelerin akma sınırı değerleri



Şekil 44. Numunelerin çekme mukavemeti değerleri

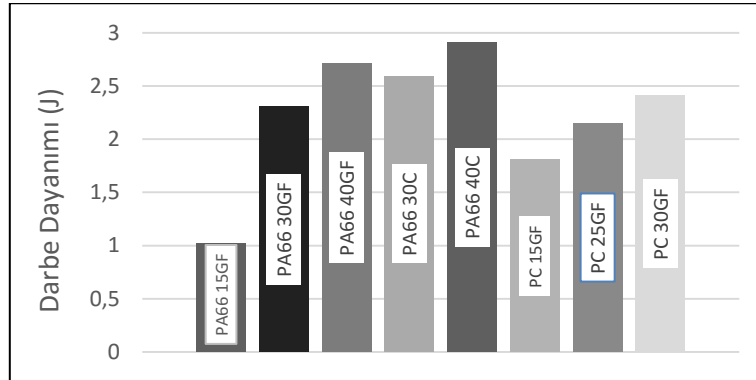
Şekil 45’de numunelerin kopma uzama değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde mukavemet değerleri yüksek olan karbon elyaf takviyeli numunelerin uzama değerlerinin oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir. En düşük kopma uzamasına sahip numune, en yüksek mukavemet değerine sahip olan %40 karbon elyaf takviyeli PA66 numunenin olduğu belirlenmiştir. Karbon elyaf takviyelendirilmiş PA66 kompozit malzemelerde artan elyaf oranına bağlı olarak numunelerin şekil değiştirme kabiliyeti azalırken, cam elyaf takviyelendirilmiş PA66 ve PC kompozit malzemelerde artan elyaf oranı ile birlikte numunelerin şekil değiştirme kabiliyetleri artmıştır. %30 oranında karbon elyaf ile takviye edilmiş olan PA66 malzemedeki uzama değerinin daha

düşük oranda (%15) cam elyaf ile takviye edilmiş olan PA66 ve PC malzemelere yakın şekil değiştirme kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 45. Numunelerin kopma uzaması değerleri

Şekil 46’da numunelerin darbe deneyinde elde edilen sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, takviye oranı arttıkça darbe dayanımlarının arttığı görülmektedir. En yüksek darbe dayanımına sahip kompozit malzemenin %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, en yüksek tokluk değerinin aynı zamanda en yüksek mukavemet değerine sahip olan %40 karbon elyaf takviyelendirilmiş PA66 malzemede olduğu belirlenmiştir.



Şekil 46. Numunelerin darbe dayanımı değerleri

### 3.5. Korozyon Deneyi Bulguları

Korozyon testleri sonucunda farklı elyaf türleriyle ve farklı oranlarda takviye edilmiş durumdaki polimer kompozit numunelerinin hiçbirinde gözlemlenebilen herhangi bir korozyon etkisine rastlanmamış olup, incelenen polimer kompozit malzemelerin korozyona karşı dayanımlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu değerlendirmeye, yapılan başka bir çalışmada da benzer şekilde, polimer kompozit malzemelerin korozyon dayanımlarının mükemmel yakın olduğu ve bunun yanı sıra yorulmaya, darbeye, iklimatik etkilere ve termal zorlanmalara karşı üstün değerlere sahip oldukları ifade edilmiştir [6].

### 3.6. Su Absorpsiyon Deneyi Bulguları

Su absorpsiyon deneyi sonucunda hesaplanan % su emme değerleri ağırlık ve hacim cinsinden Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Numunelerin Su Absorpsiyon Değerleri

NUMUNE	PA66 15GF	PA66 30GF	PA66 40GF	PA66 30C	PA66 40C	PC 15GF	PC 25GF	PC 30GF
SU EMME (24s, 20°C) % ağırlık	1,308	1,294	1,287	1,31	1,305	0,104	0,098	0,092
SU EMME (24s, 20°C) % hacim	1,635	1,773	1,943	1,677	1,736	0,135	0,134	0,132

Su absorpsiyon deneyi sonuçlarından görülmekte olduğu gibi PA66 matrisli kompozit malzemenin su emme oranları ağırlık ve hacimsel olarak PC matrisli kompozit malzemelere oranla oldukça yüksektir. Polikarbonat matrisli malzemelerin su emme oranlarının meydana getirdikleri hacimsel değişimlerin PA66 matrisli kompozit malzeme oranla oldukça düşük olması bu matris malzemesiyle üretilen kompozitlerin nemli ortamlardaki boyutsal kararlılıklarının daha yüksek olacağı anlamını taşımaktadır. Diğer taraftan, emilen su miktarına bağlı olarak kompozit malzemenin kalınlığında meydana gelecek hacimsel değişimin (%0,13-1,94), parça kalınlıklarının birkaç mm değerinde olduğu düşünüldüğünde, parçalarda oluşacak hacimsel değişimin maksimum 0,02 mertebesinde olacağı hesaplanmaktadır. Bu parçaların imalat işleminde kullanılan imalat

toleranslarının ( $\pm 0,05$ ) altında kalacak olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenlerle, oluşacak olan su emme etkisinin ihmal edilebilir mertebelerde olduğu görülmektedir.

Polimer kompozitlerin su absorpsiyon özellikleri ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, PA malzemenin en önemli probleminin su emme özelliğinin yüksek olması olduğu belirlenmiş olup PA66 malzemenin yüksek nem içeren ortamlardaki su emme oranının %2,5 değerine kadar erişebildiği ifade edilmiştir [45].

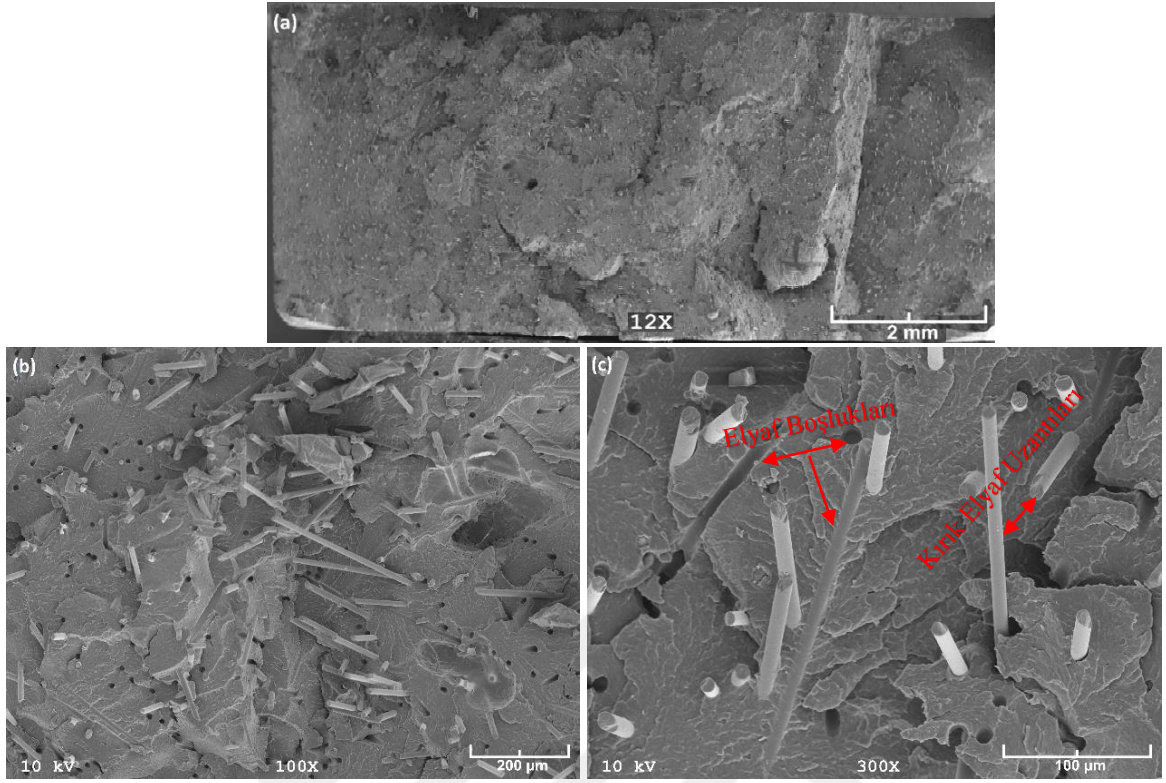
### **3.7. Kırık Yüzeylerin Mikroyapı Bulguları**

İncelenen kompozit malzemelerden standartlara uygun olarak hazırlanan numuneler darbe deneyine tabi tutularak kırılma enerjileri belirlenmiştir. Charpy darbe deneyine tabi tutulan numunelerin kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri farklı büyütme oranlarıyla (12 kat, 100 kat ve 300 kat büyütme ile) çekilerek Şekil 47-54'de verilmiştir.

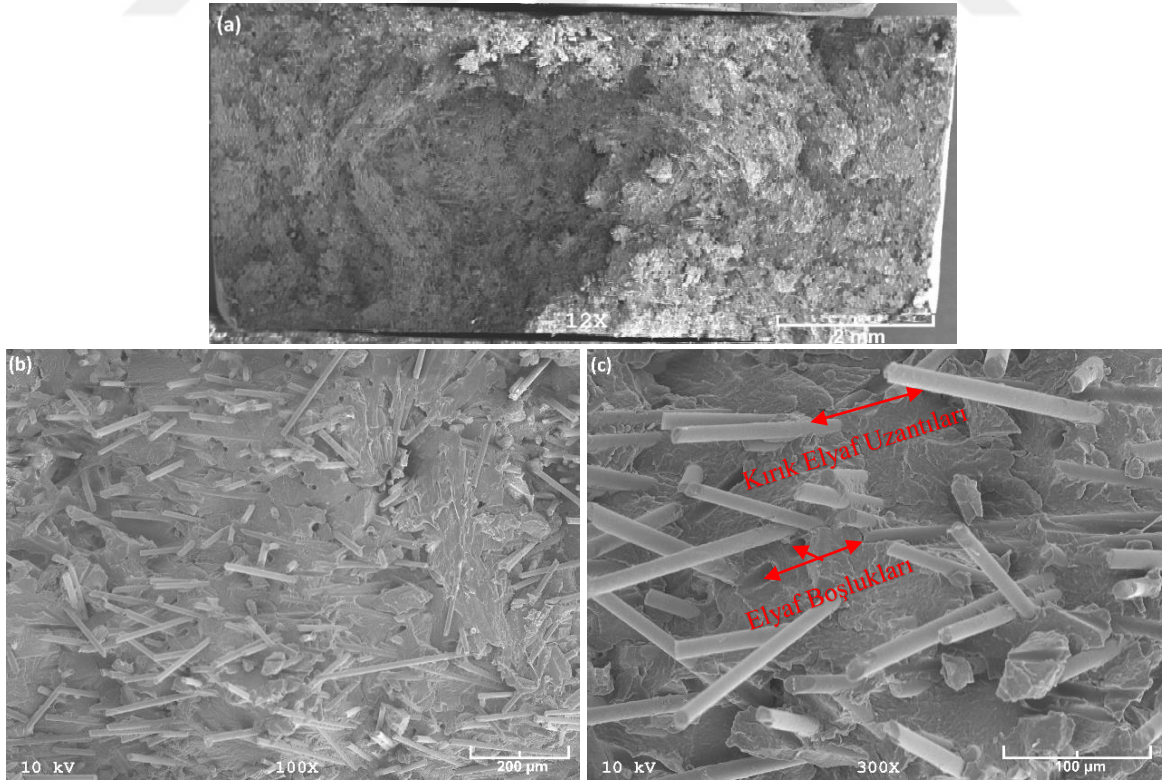
SEM görüntüleri incelendiğinde takviye elyafların matris yapı içerisinde farklı yönlerde gelişi güzel dağılmış olarak, matris yapı özelliklerinin yönden bağımsız olmasını sağlayacak şekilde buldukları görülmektedir. Numunelerin kırılma yüzey görüntülerinde elyaf yoğunluklarının takviye oranlarını doğrular yönde artmakta olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 47-49'da sırasıyla %15, %30, %40 oranlarında cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA66 numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir.

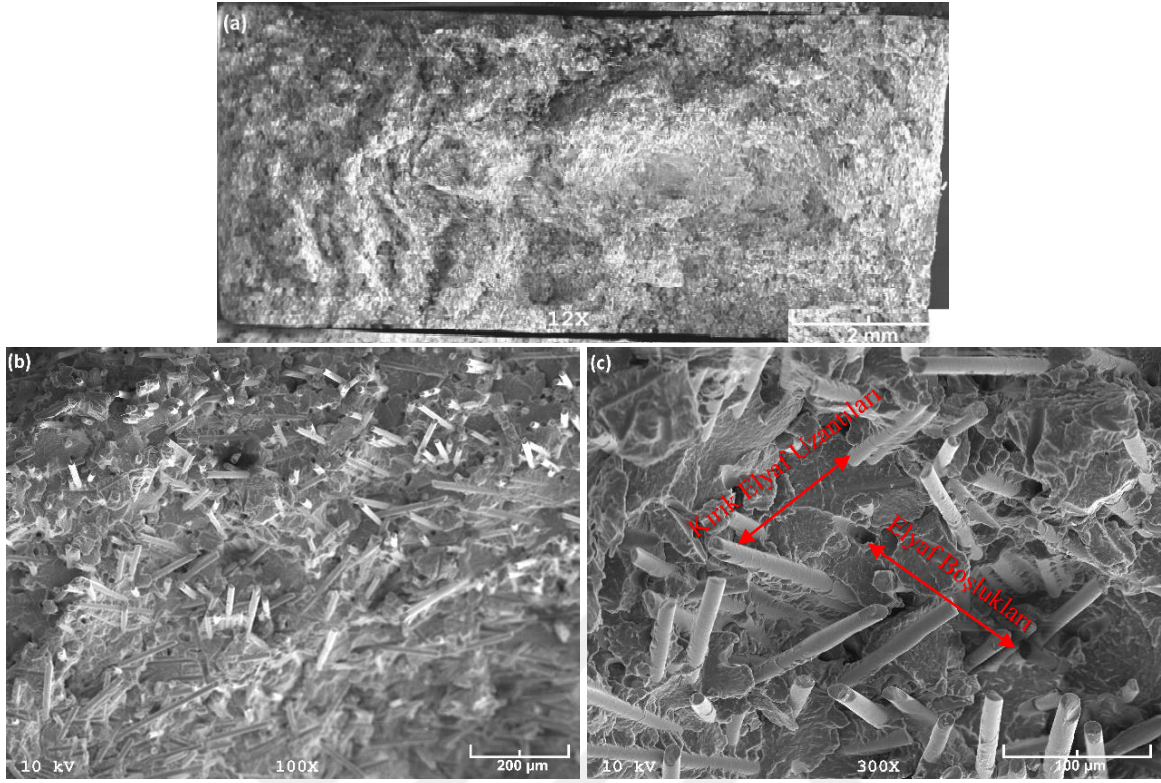




Şekil 47. %15 cam elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü



Şekil 48. %30 cam elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü

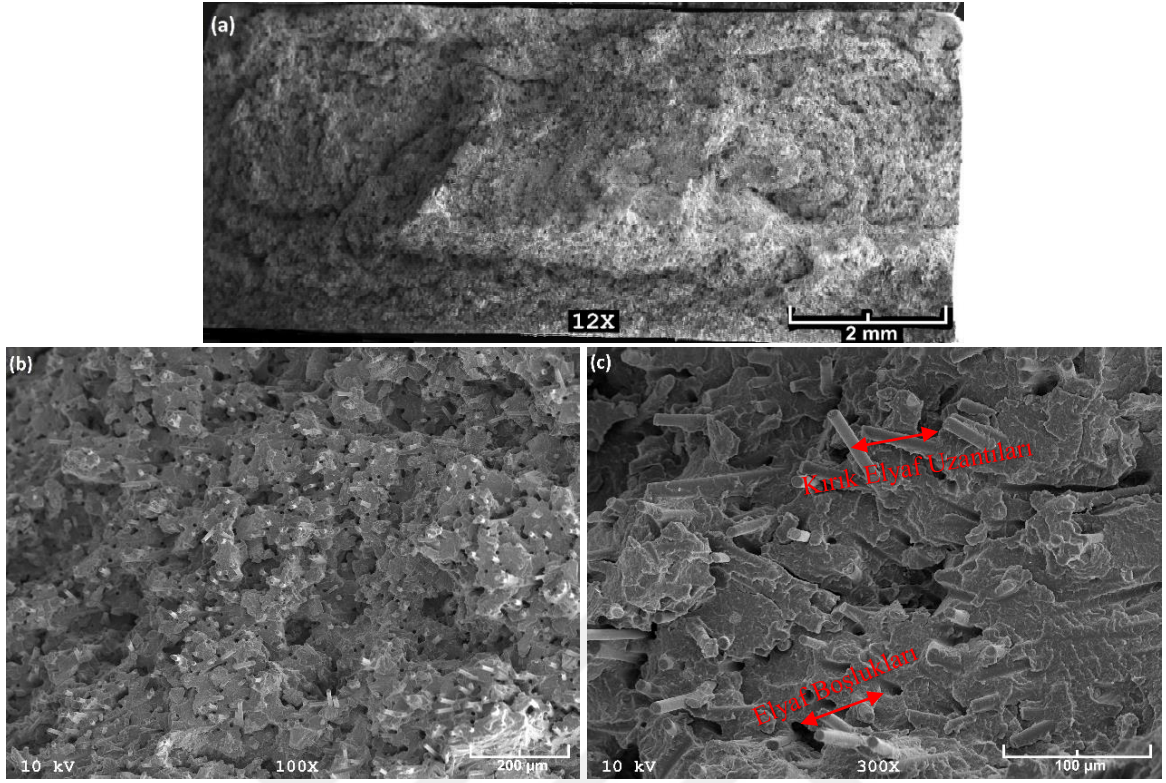


Şekil 49. %40 cam elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü

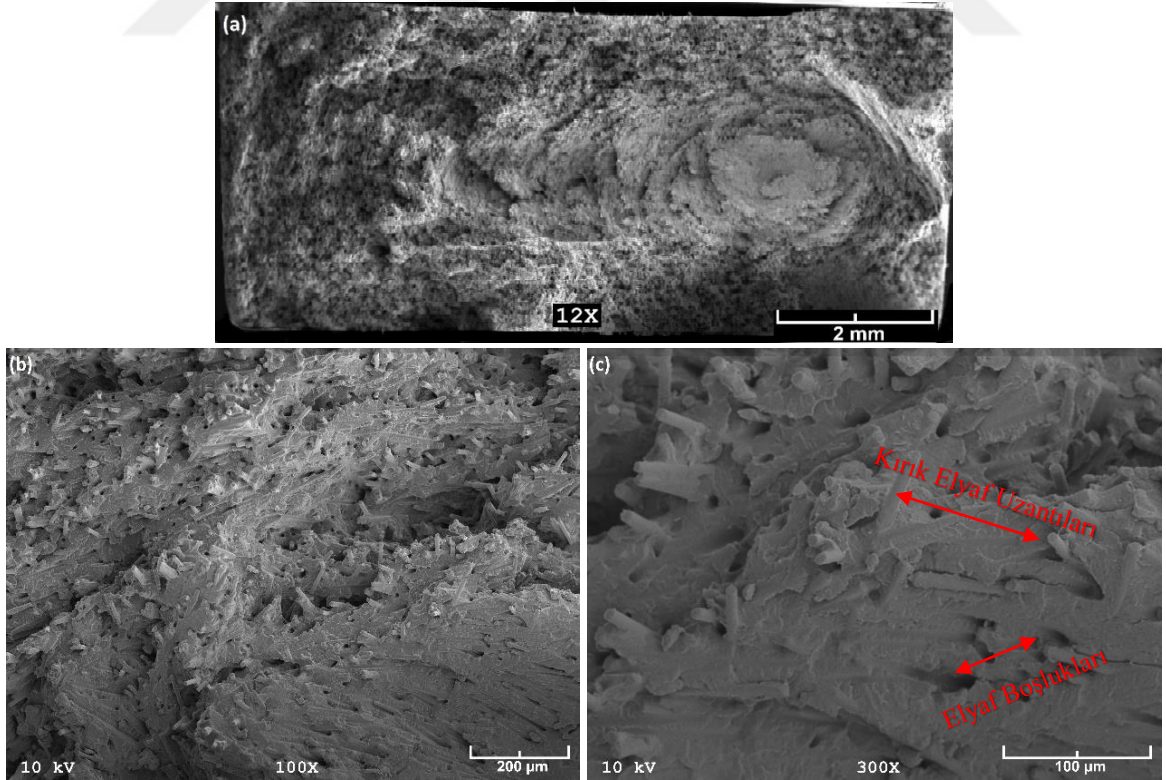
Darbe deney numunelerin kırık yüzeylerinden tespit edildiği üzere elyaf malzemesinin yapısal bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir ve numunelerin tümünün kırılma davranışlarının birbirlerine benzer yapıda olup genel olarak gevrek karakterde kırıldıkları görülmektedir. Elyafların numunelerin kırılma yüzeylerinden koparak ayrılmalarının yanında sıyrıлма şeklinde de ayrılmaların olduğu görülmektedir.

Şekil 50-51'de sırasıyla %30, %40 oranlarında karbon elyaf ile takviyelendirilmiş PA66 numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir.





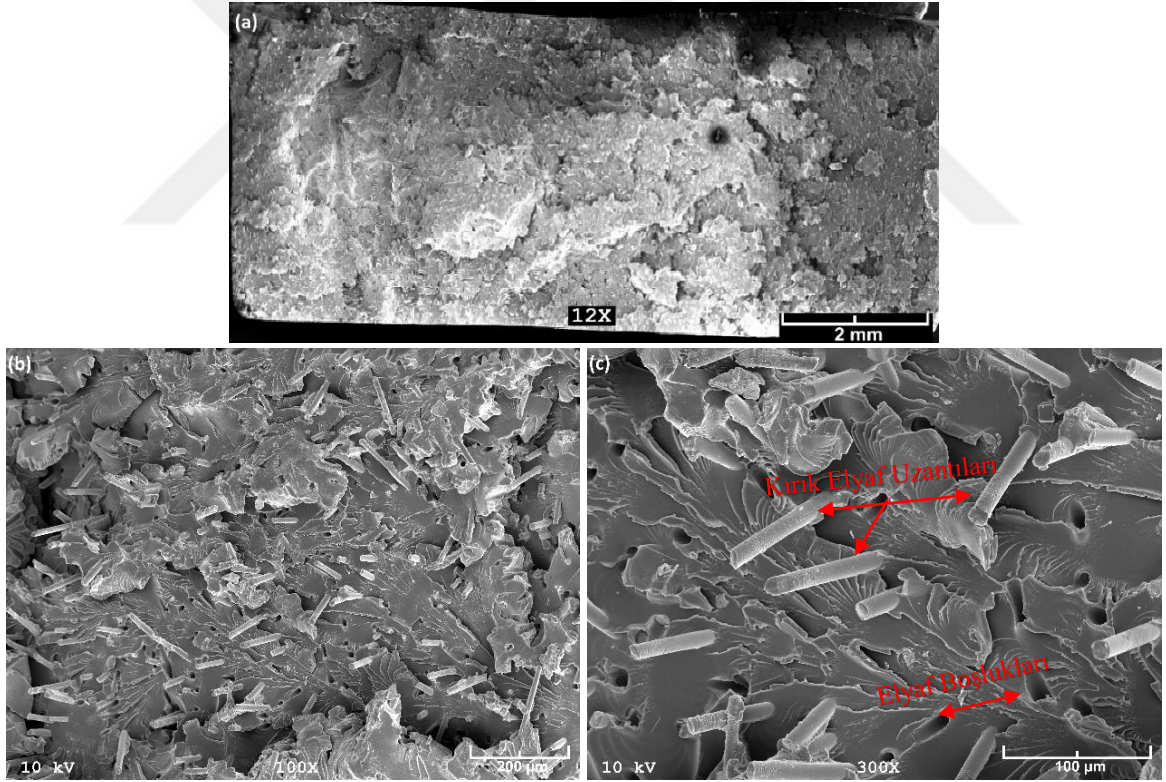
Şekil 50. %30 karbon elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü



Şekil 51. %40 karbon elyaf takviyeli PA66 numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü

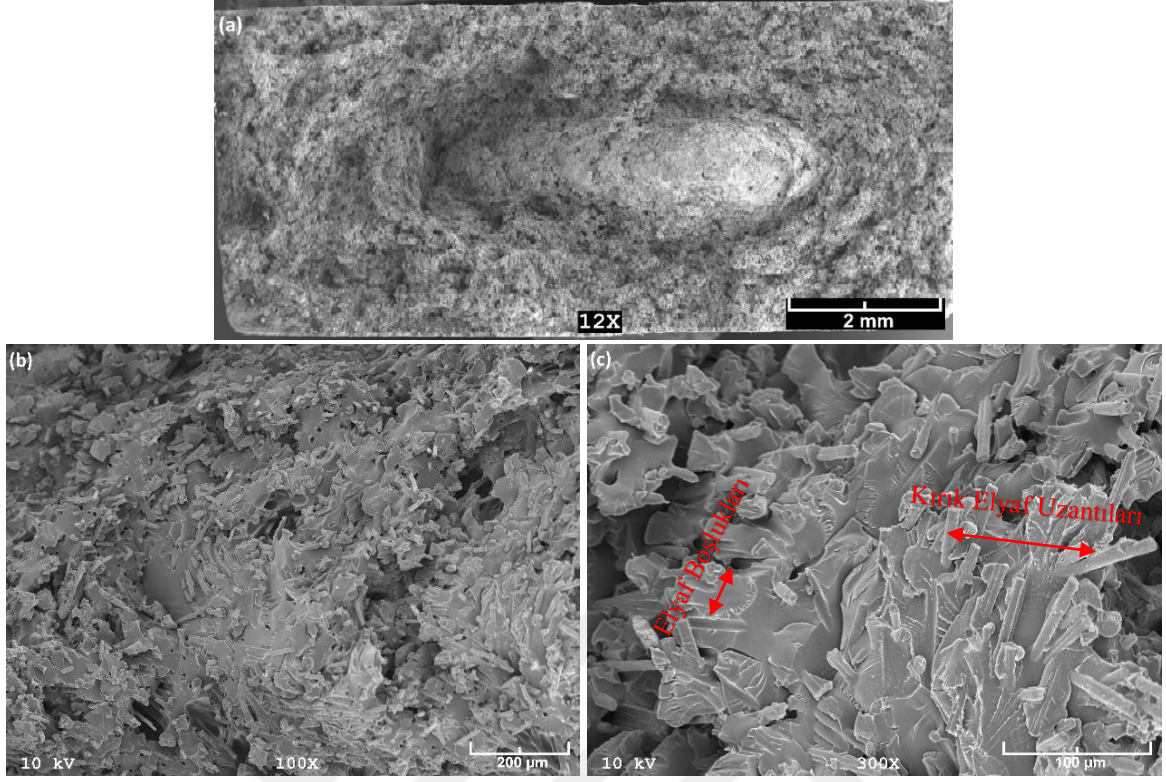
Numunelerin tamamının incelenen SEM görüntülerinden matris yapılarından ayrılan elyafların önemli miktarda plastik deformasyon oluşturmadan ayrılma ile kırılma yüzeylerini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Elyafların darbe etkisiyle matris yapı içerisinden sıyrılarak çıkmış durumdaki yüzeylerinde görülen matris kalıntıları elyaf-matris bağının etkin olarak gerçekleşmiş olduğunu tam olarak ifade etmektedir. Kırık yüzeylerde görülen derin elyaf boşlukları ve kırık elyaf uzantıları (ölçülen en uzun elyaf uzantısı yaklaşık 200  $\mu\text{m}$  mertebesindedir) matris yapının uygulanan yükü elyaflara etkin şekilde aktarmakta olduğunu doğrulamaktadır. Kırık yüzey görünümünde matris malzemesinin oluşturmuş olduğu yapısal bir fark belirlenememiştir. Artan takviye oranları ise kırılma şeklinin daha gevrek karakterde oluşmasını sağlamış olduğunu göstermektedir.

Şekil 52-54'te ise sırasıyla %15, %25, %30 oranlarında cam elyaf ile takviyelendirilmiş PC numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir.

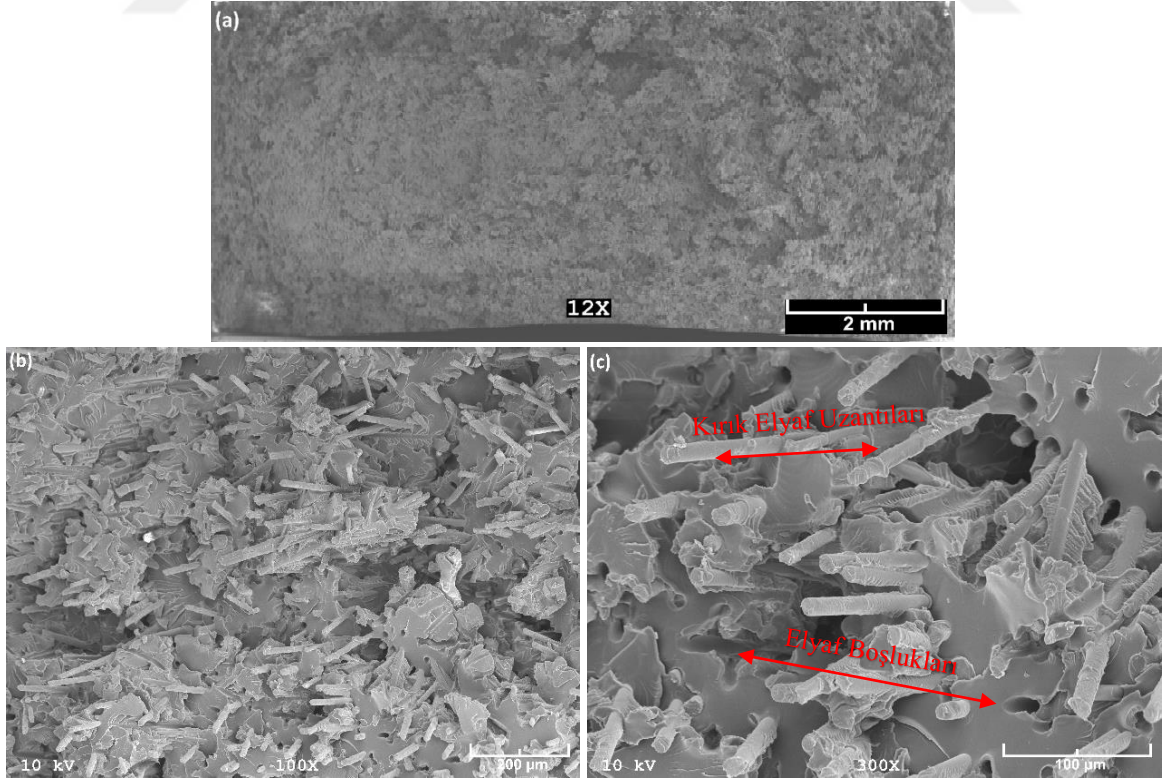


Şekil 52. %15 cam elyaf takviyeli PC numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü





Şekil 53. %25 cam elyaf takviyeli PC numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü



Şekil 54. %30 cam elyaf takviyeli PC numunesinin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü

### 3.8. Aşınma Deneyi Bulguları

Aşınma deneyinden elde edilen deney numunelerinin aşınma yolları, optik profilometre ve optik mikroskop yardımıyla incelenerek yüzey görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca, aşınma yollarının daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi amacıyla numunelerin aşınma yolları taramalı elektron mikroskobu yardımıyla incelenerek, görüntülenmiştir. Elde edilen bu görüntüler Şekil 55-62’de verilmiştir. Numuneler aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında 0,1 mg okunabilirliğe sahip hassas terazide ölçülerek elde edilen aşınma miktarları ağırlık ve hacim kaybı olarak Tablo 13’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde PA66 numunelerinin PC numunelere göre aşınma kayıplarının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 13. Numunelerin Aşınma Miktarları

NUMUNE	NUMUNE AĞIRLIĞI (Gr)	DENEY SONRASI AĞIRLIK (Gr)	AĞIRLIK KAYBI (Gr)	HACİM KAYBI (cm <sup>3</sup> )
PA66 15GF	6,8349	6,8344	0,0005	4x10 <sup>-4</sup>
PA66 30GF	7,7693	7,7686	0,0007	5,1x10 <sup>-4</sup>
PA66 40GF	8,0378	8,0374	0,0004	2,6x10 <sup>-4</sup>
PA66 30C	7,5948	7,5942	0,0006	4,7x10 <sup>-4</sup>
PA66 40C	7,661	7,6601	0,0009	6,8x10 <sup>-4</sup>
PC 15GF	7,6122	7,6115	0,0007	5,4x10 <sup>-4</sup>
PC25GF	7,2685	7,2667	0,0018	13x10 <sup>-4</sup>
PC30GF	7,5752	7,574	0,0012	8,4x10 <sup>-4</sup>

Aşınma yollarının optik ve SEM görüntüleri incelendiğinde, genel aşınma mekanizmasının adhezif karakterde olduğu ve matris yapıda oluşan aşınmanın, aşındırıcı tarafından aşınma yoluna sıvanmış durumda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, aşındırıcı bilyanın kompozit malzeme yüzeyinde genel olarak meydana gelen aşınmanın, matris malzemesinin yüksek şekil değiştirebilme kabiliyeti sayesinde, büyük oranda oluşan

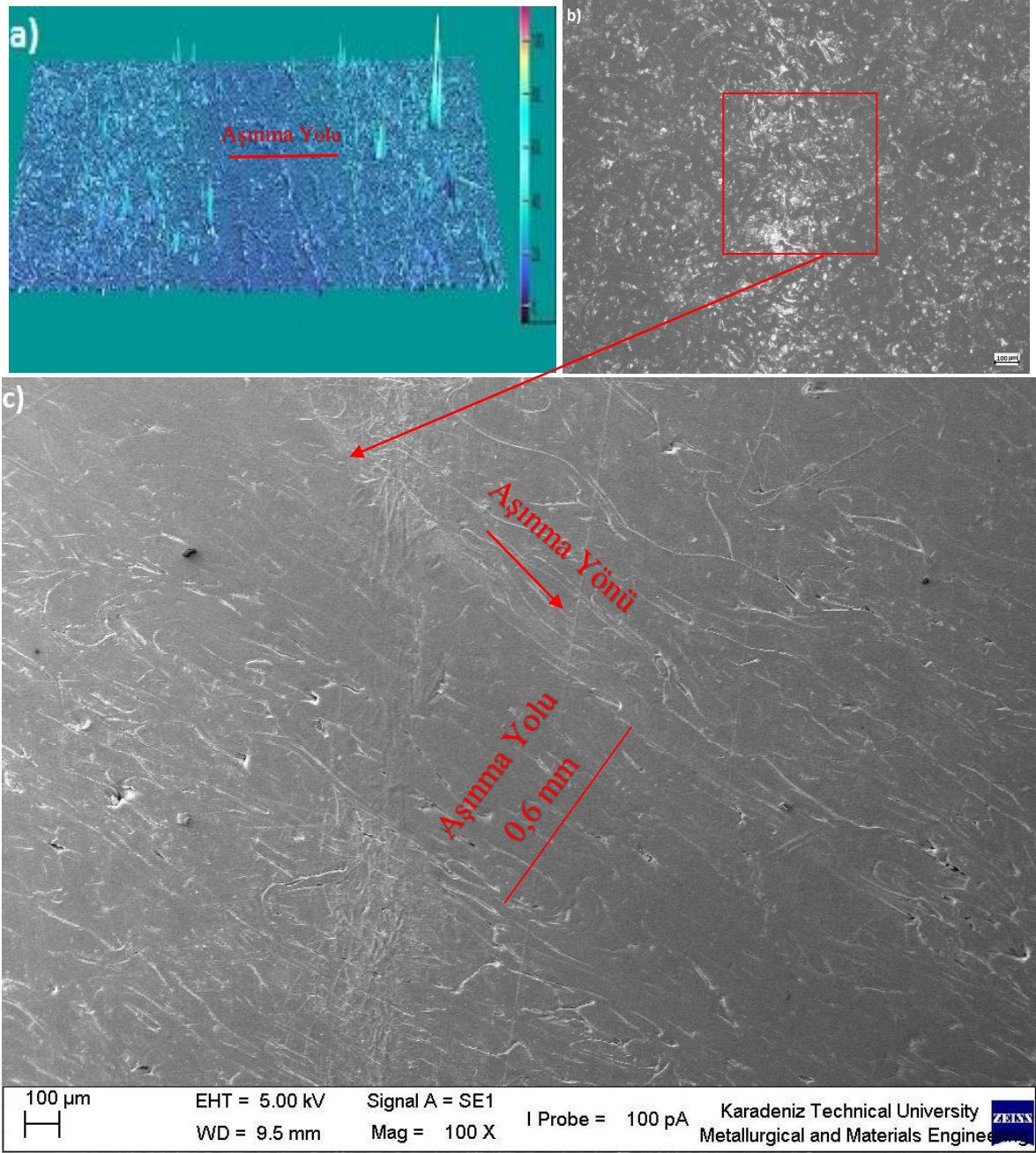
sıvama etkisiyle tekrar malzeme yüzeyine soğuk kaynak etkisiyle yapışmasını sağladığı düşünülmektedir.

Bu nedenlerden dolayı, aşınma deneylerinden elde edilen ağırlık kayıpları oldukça düşük seviyelerde elde edilmiştir. Dolayısıyla, gerçekleştirilen ağırlık ölçümleri arasında belirlenen farklar, ölçüm hata payı dikkate alınarak değerlendirildiğinde numuneler arasında ölçülen farkların hata aralıkları içerisinde kalmakta oldukları anlaşılmıştır. Bu nedenle, incelenen numunelerde meydana gelen aşınmaların genel olarak ağırlık kaybı şeklinde oluşmayıp, şekilsel deformasyon olarak meydana geldikleri ve numune yüzeyinde bölgesel aşınma izi şeklinde oluştukları Şekil 55-62'den görülmektedir. Gözlemlenen bu şekilsel deformasyonların cam elyaf takviyeli PC numunelerde (Şekil 60-62) çok daha yoğun bir şekilde meydana geldiği görülmektedir.

Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli PA66 numunelerinde (Şekil 55-59) aşınma yollarının çok derin olmayıp sadece bir aşınma izi şeklinde oluştuğu, özellikle de karbon elyaf takviyeli PA66 numunelerde (Şekil 58-59) aşınma yollarının çok derin olmayan çizgisel bir hat şeklinde oluşmuş olduğu görülmektedir. Cam elyaf takviyeli PC malzemelerde aşınma yollarının cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli PA66 numunelere göre çok daha belirgin oluştuğu gözlemlenmesi PA66 kompozit numunelerinin aşınma dayanımlarının daha yüksek olduğunu kesin olarak doğrular niteliktedir.

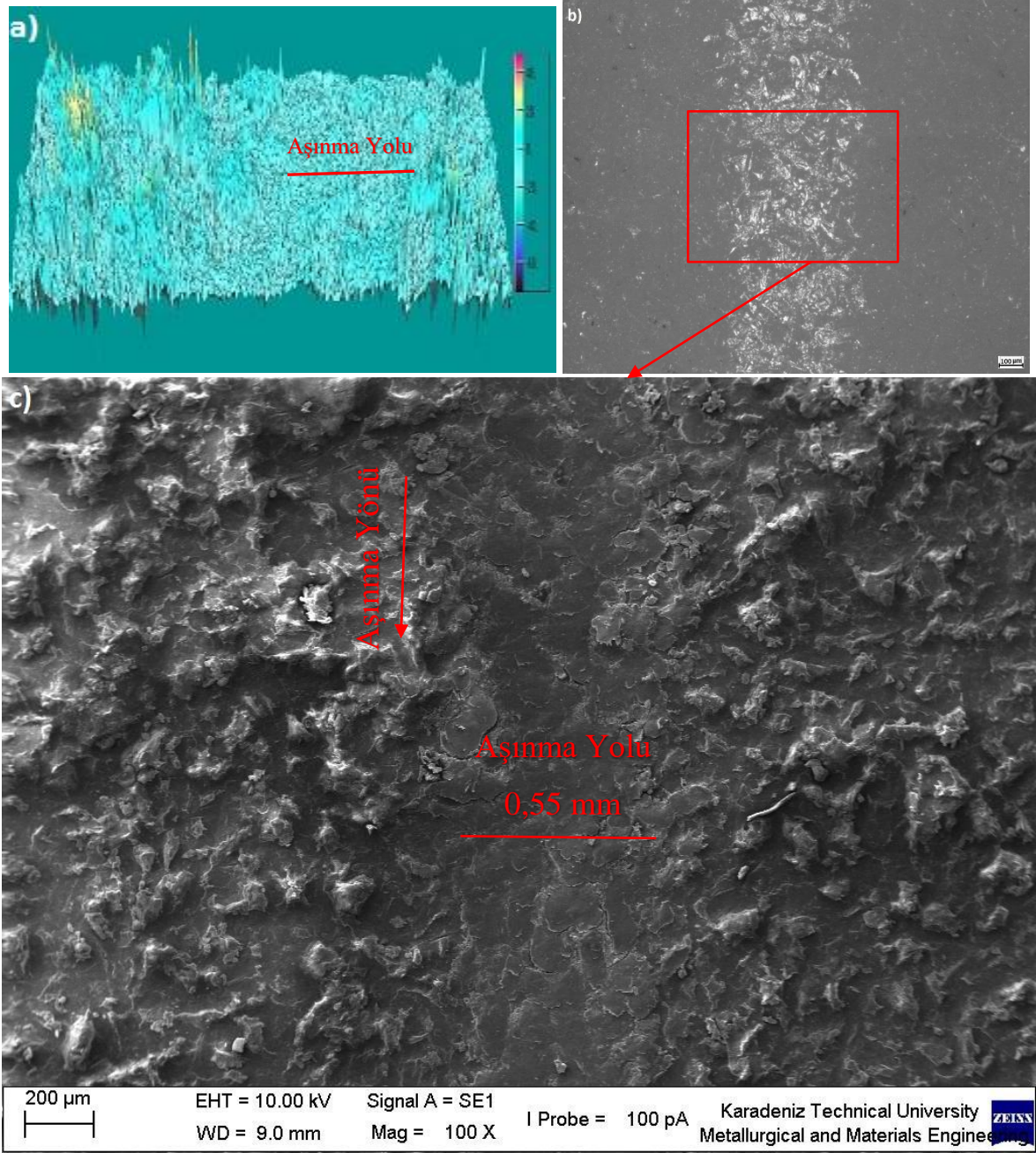
Aşınma ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, PA66, POM, PET, PEEK, PPS ve polieterimid matrisli kompozitlerin katkısız ve cam elyaf katkılı olarak aşındırıcı karşı yüzey çelik olarak uyguladıkları aşınma testlerinde, cam elyaf katkısının hava ve su ortamında belirlenen aşınma oranlarının anlamlı farklar içermediklerini belirtmişlerdir. Hatta bazı matris malzemelerinde, yapıya aşınma direncini arttırmak amacıyla yüksek oranda katılan cam elyafların gevrek yapılarından dolayı sürtünme etkisiyle kırılarak yüzeyden uzaklaşmaları nedeniyle, aşınma direncinde olumsuz etki gösterip, aşınma miktarının artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir [46].



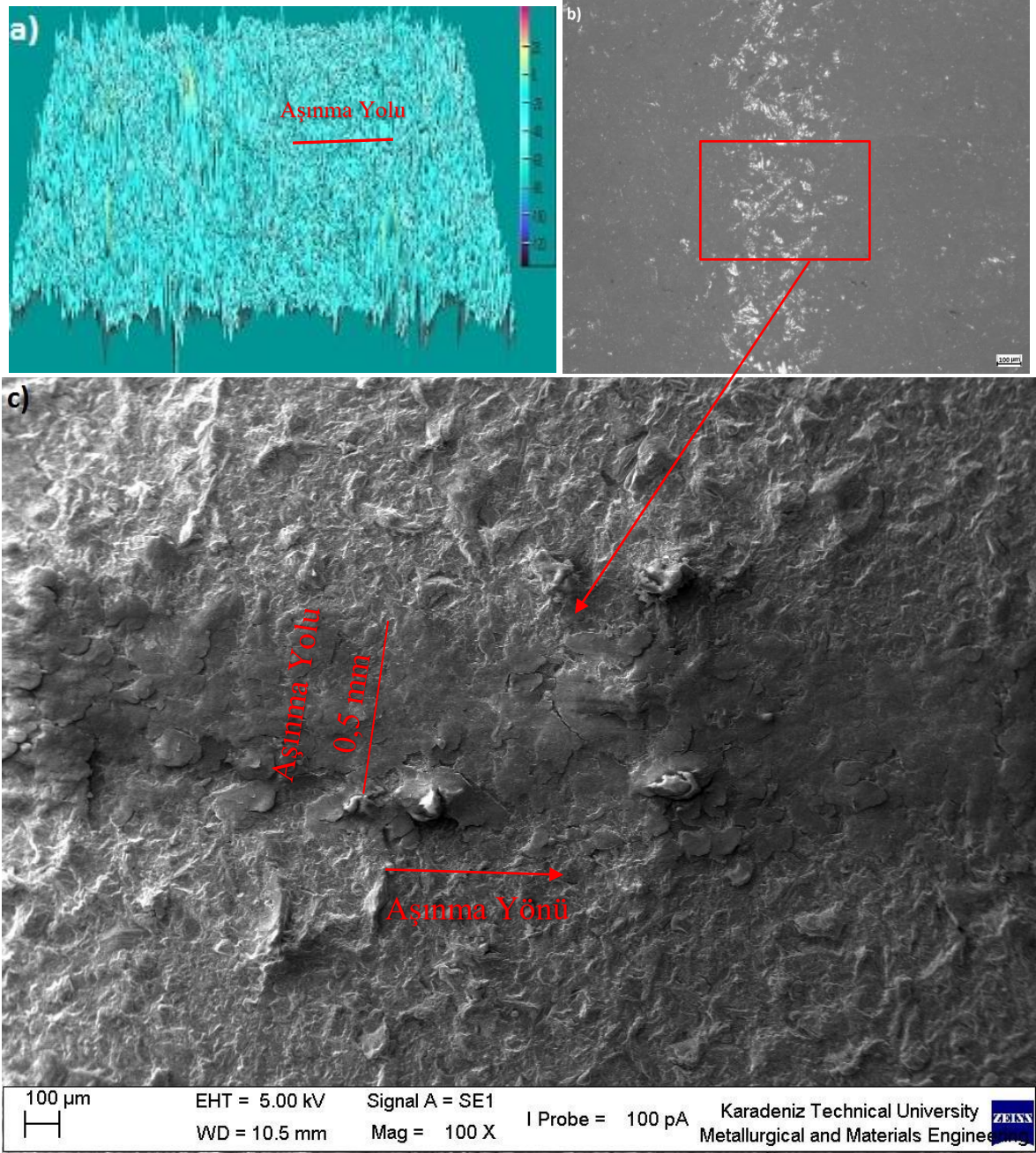


Şekil 55. %15 cam elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü



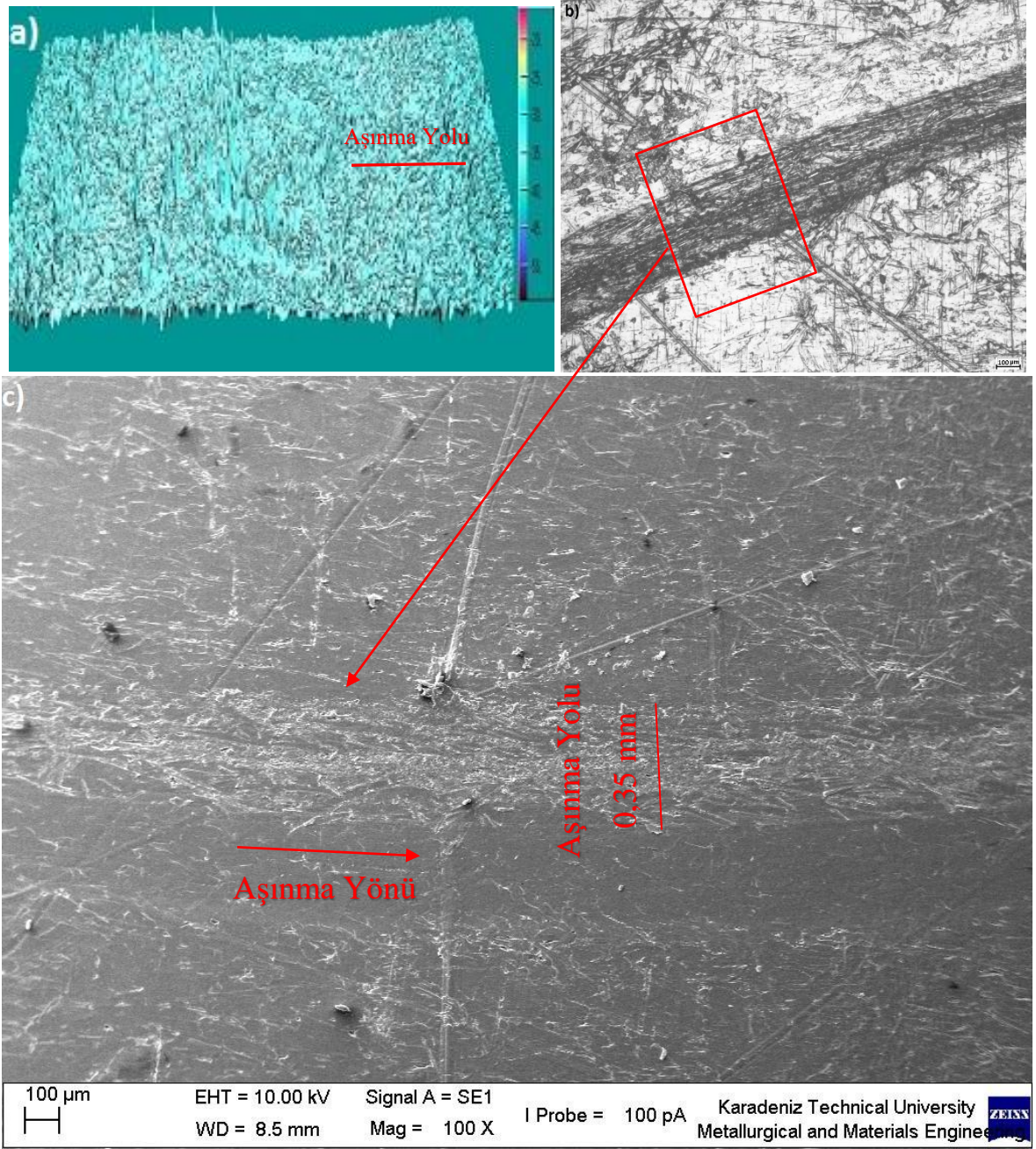


Şekil 56. %30 cam elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü

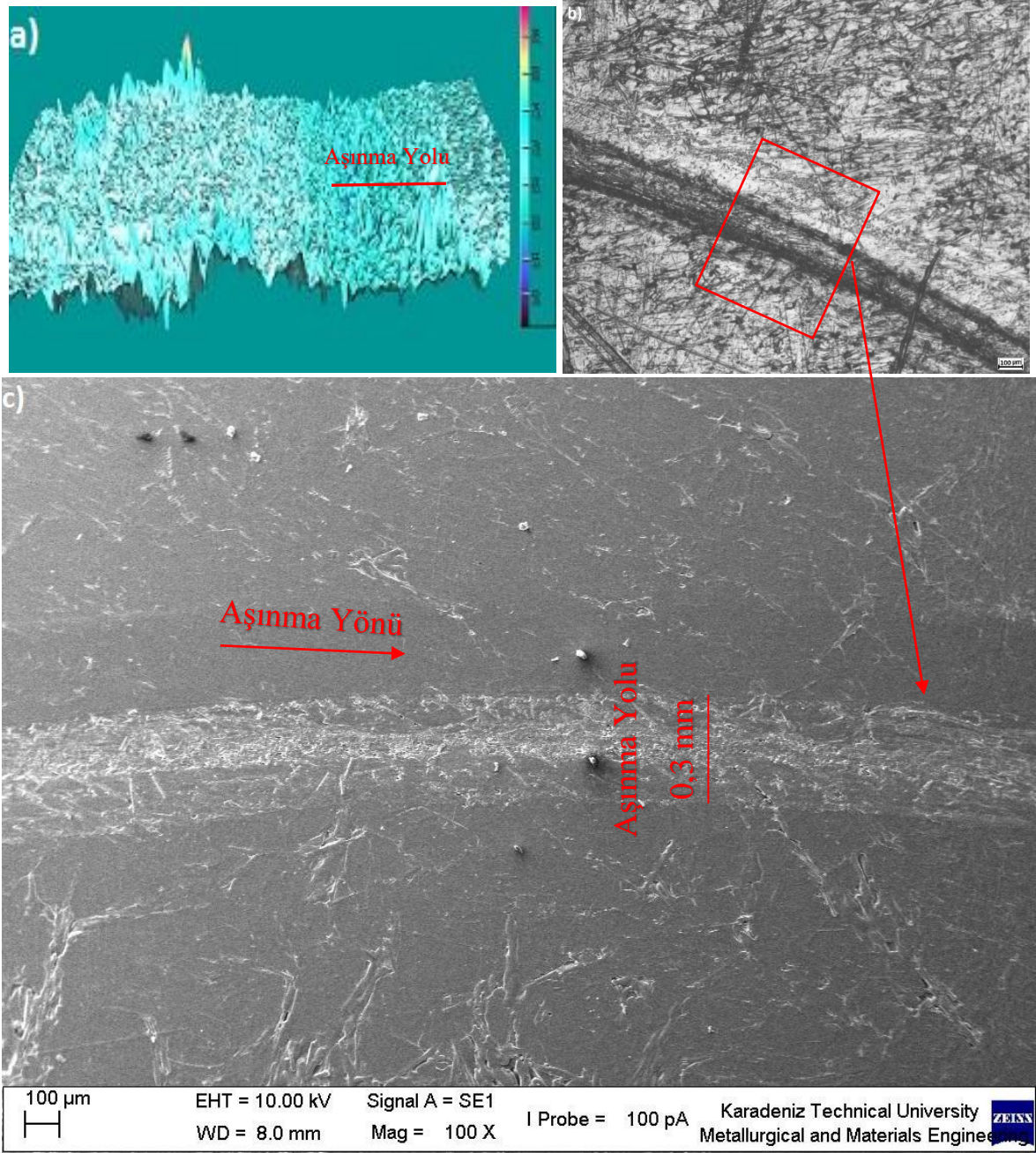


Şekil 57. %40 cam elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü



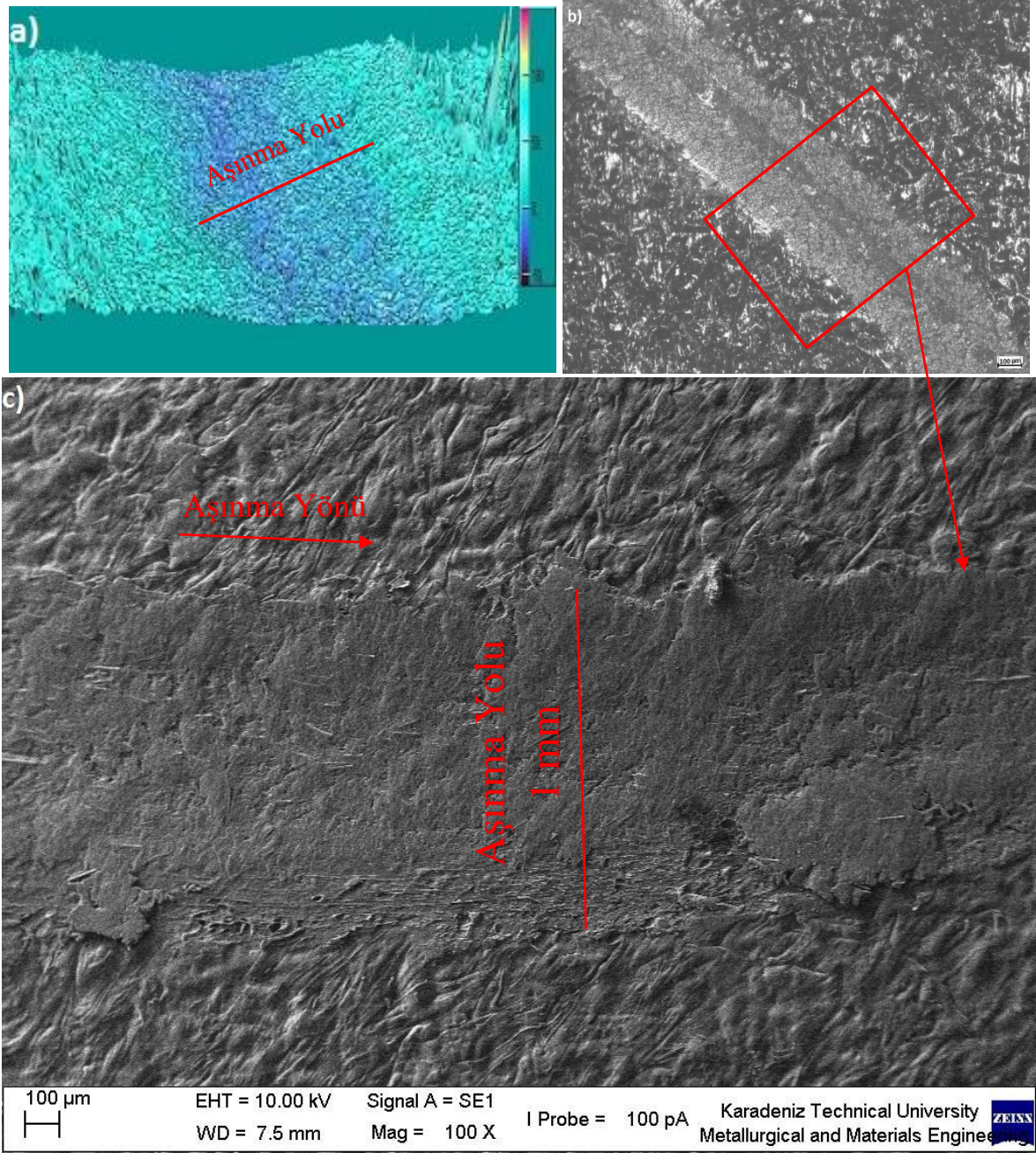


Şekil 58. %30 karbon elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü



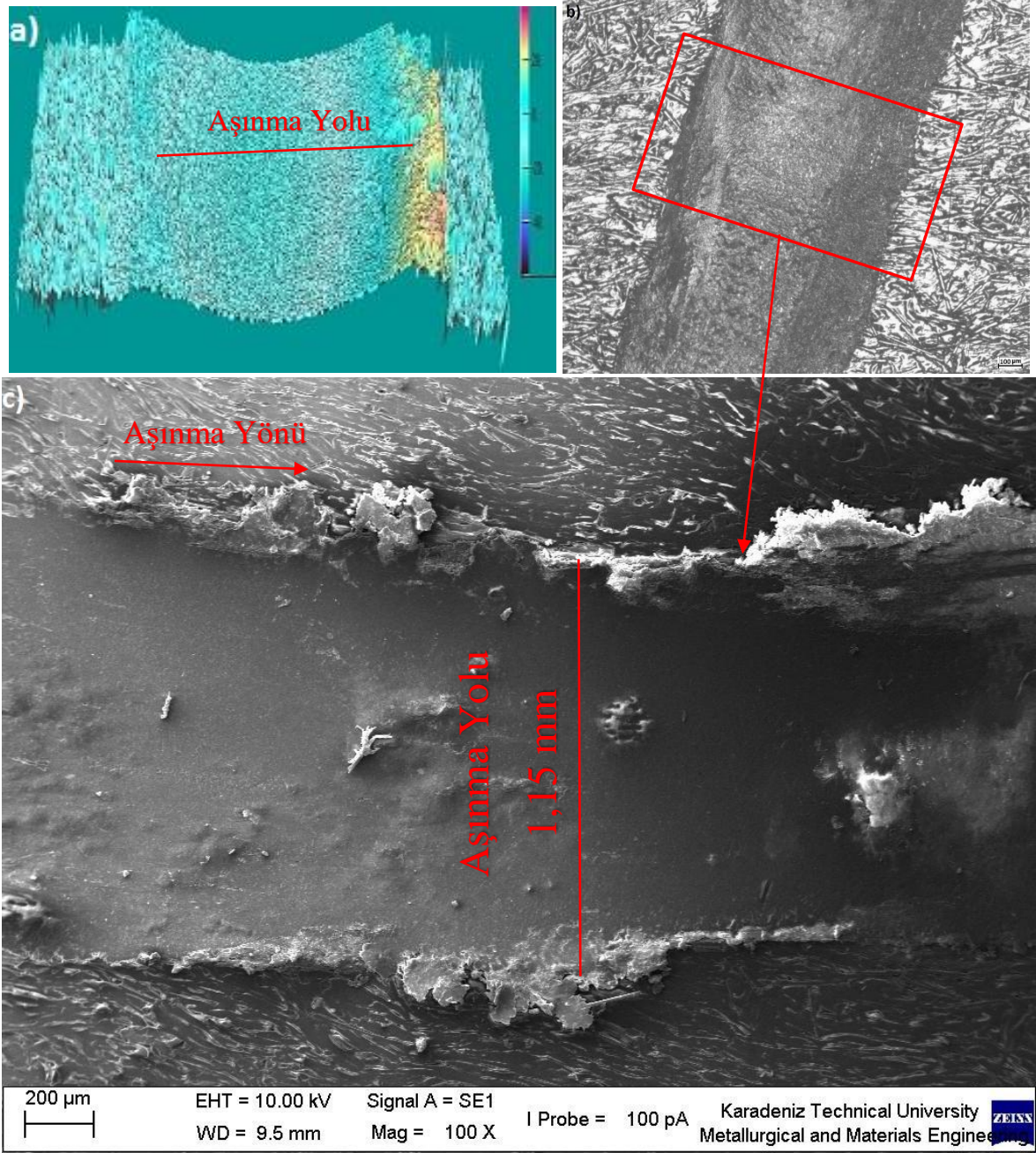
Şekil 59. %40 karbon elyaf takviyeli PA66 aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü



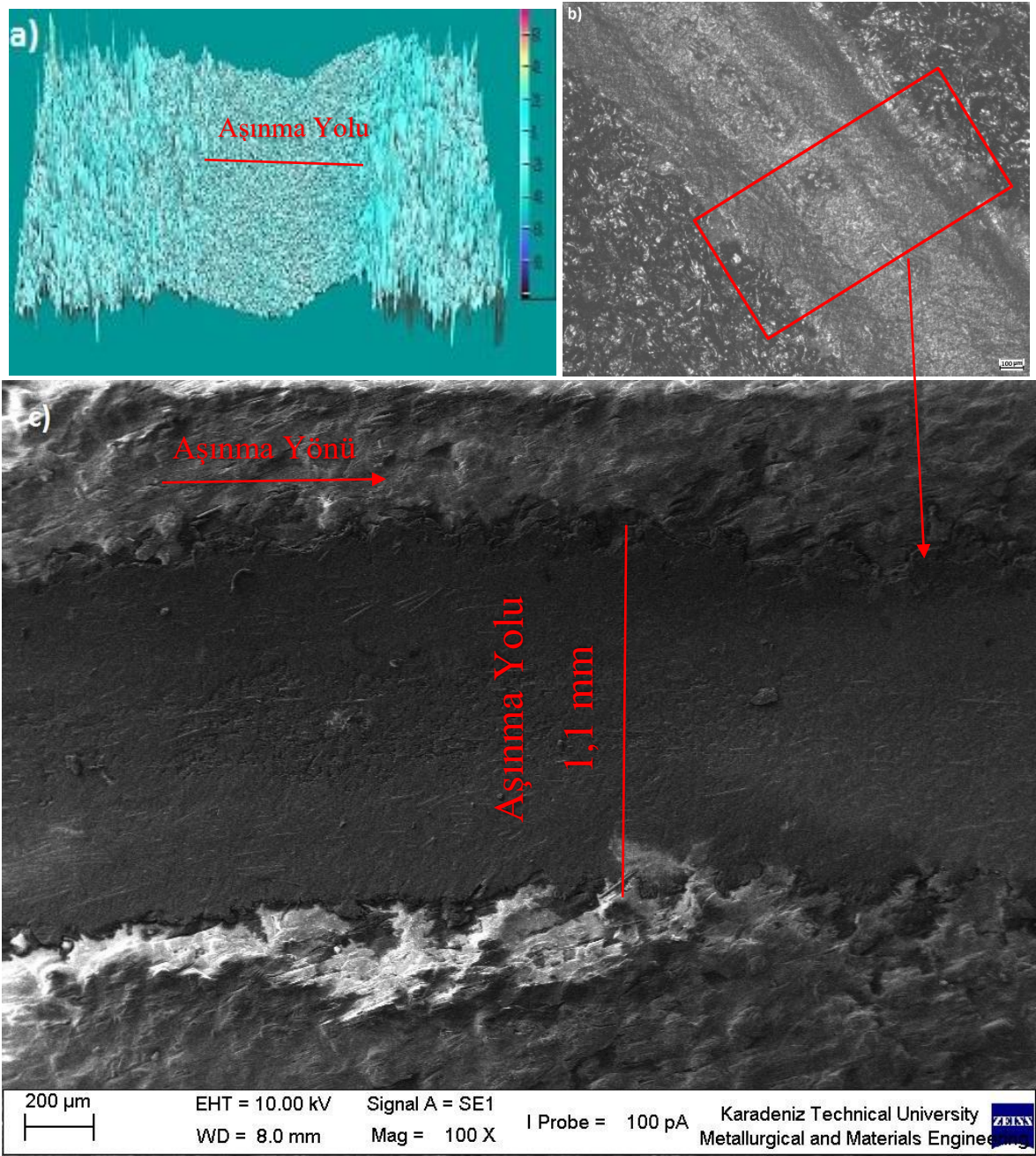


Şekil 60. %15 cam elyaf takviyeli PC aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü





Şekil 61. %25 cam elyaf takviyeli PC aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü



Şekil 62. %30 cam elyaf takviyeli PC aşınma numunesindeki aşınma yolunun a) optik profilometre görüntüsü b) optik mikroskop görüntüsü c) SEM görüntüsü

Hafif silahlar için en uygun kompozit malzemenin seçilebilmesi amacıyla %15-40 aralığında cam elyaf ve karbon elyaf takviye edilmiş PA 66 ve PC kompozit malzeme çiftleri kullanılarak çeşitli özellikler açısından deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen bulguların değerlendirilmesi amacıyla hafif silah yapımı için kullanılacak malzemeden beklenen özellikler dikkate alınarak incelenen kompozit

malzemelerden elde edilen bulgular sıralandıklarında, malzemelerin performans göstergeleri aşağıda verilmiş olan Tablo 14'deki sıralama elde edilmiştir.

Tablo 14. Hafif Silah Malzemelerinden Beklenen Özelliklerin Değerlendirilmesi

	ELASTİSİTE MODÜLÜ	MUKAVEMET	DARBE DAYANIMI	AŞINMA DİRENCİ	SICAKLIKTA KARARLILIK	SERTLİK	SU EMME DİRENCİ	KOROZYON DİRENCİ	YOĞUNLUK	MALİYET	
1	PA66 40C	PA66 40C	PA66 40C	PA66 KOMPOZİT MALZEMELER	KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER	PA66 40C	PC KOMPOZİT MALZEMELER	PA66 VE PC KOMPOZİT MALZEMELER	PA66 15GF	PC 30GF	
2	PA66 30C	PA66 30C	PA66 40GF			PA66 30C			PA66 30C	PA66 30C	PA66 30GF
3	PA66 40GF	PA66 40GF	PA66 30C			PA66 40GF			PA66 40GF	PC 15GF	PC 25GF
4	PA66 30GF	PA66 30GF	PC 30GF			PC 30GF			PC 30GF	PA66 40C	PA66 40GF
5	PC 30GF	PC 30GF	PA66 30GF			PC 25GF			PC 25GF	PA66 30GF	PC 15GF
6	PA66 15GF	PC 25GF	PC 25GF	PC KOMPOZİT MALZEMELER	CAMELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER	PA66 30GF	PA66 KOMPOZİT MALZEMELER	PC 25GF	PA66 15GF		
7	PC 25GF	PA66 15GF	PC 15GF			PA66 15GF		PC 30GF	PA66 30C		
8	PC 15GF	PC 15GF	PA66 15GF			PC 15GF		PA66 40GF	PA66 40C		

Bu tabloda hafif bir silahın, en iyi verimlilikle çalışabilecek şekilde, imal edilmiş olması için kullanılacak malzemenin belirlenmesinde yeterlilik sıralaması önem derecesine göre: 1- elastisite modülü, 2- mukavemet, 3- darbe dayanımı, 4- aşınma direnci, 5- sıcaklıkta boyutsal kararlılık, 6- sertlik, 7- su emme direnci, 8- korozyon direnci, 9- yoğunluk ve 10- maliyet şeklinde sıralanmış olan parametreler dikkate alınarak, Tablo 14'te karşılaştırmalı olarak bir araya getirilmişlerdir. İncelenen kompozit malzemeler, bu parametreler dikkate alınarak değerlendirildiklerinde, öncelikli olarak elastisite modülü, mukavemet ve darbe dayanımı açısından, beklenen koşulları en uygun şekilde %40 karbon elyaf takviyeli PA66 matrisli kompozit malzemenin sağlamakta olduğu görülmüştür. Bu kompozit malzemeyi ikinci sıradan takip eden %30 karbon elyaf takviyeli PA66 matrisli kompozit malzemenin olduğu görülmektedir. Bu malzemeleri sırasıyla, %40 cam elyaf takviyeli PA66 matrisli kompozit malzeme, %30 cam elyaf takviyeli PA66 matrisli kompozit malzeme ve %30 cam elyaf takviyeli PC matrisli kompozit malzemeler izlemektedir. %15 cam elyaf takviyeli PA66 matrisli kompozit



malzeme, %25 cam elyaf takviyeli PC matrisli kompozit malzeme ve %15 cam elyaf takviyeli PC matrisli kompozit malzemeler ise bu özellikler açısından en kötü sonuçların görüldüğü kompozit malzemelerdir.

Aşınma direnci PA66 kompozit malzemelerde PC kompozit malzemelere göre daha iyi olmakla birlikte sıcaklıkta kararlılık özelliği açısından da karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemeler daha üstün özellikler göstermektedir. En üstün mukavemet özelliklerini sergileyen %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme sertliği de en yüksek olan malzemedir.

Su emme direnci PC kompozit malzemelerde daha yüksekken PA66 kompozit malzemelerin su emme miktarları da ihmal edilebilir derecededir. Korozyon dirençleri polimer kompozit malzemelerin tamamında yüksektir. Yoğunluğu en düşük olan polimer kompozit numunesi %15 cam elyaf takviyelendirilmiş PA66 kompozit malzeme iken mukavemet değerleri en yüksek olan %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme yoğunluk değerleri açısından 4. sıradadır.

Maliyet açısından en yüksek hammadde maliyetine sahip kompozit malzeme %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemedir. %40 karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzeme, cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin yaklaşık 6 katı daha fazla hammadde maliyetine sahiptir. Cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA66 ve PC kompozit malzemelerinin hammadde maliyetleri birbirlerine çok yakın değerlerdedir.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş %15-40 aralığında cam elyaf ve karbon elyaf kullanarak takviye edilmiş PA 66 ve PC kompozit malzeme çiftleri arasından hafif silah yapımında kullanmak amacıyla incelenen malzemelerin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Elyaf takviyeli kompozit malzemenin yoğunluğu, elyaf türüne bağlı olarak artan elyaf hacim oranı ile artmaktadır.
2. Elyaf takviyesinin artışı, kompozit malzemenin mukavemetlerini ve sertliğini lineer bir şekilde arttırmaktadır. En yüksek mukavemet ve sertlik değeri %40 karbon elyaf takviyeli PA66 malzemede ortaya çıkmaktadır.
3. Kompozit malzemeler içerisinde sertlik değerleri sıcaklıktan en az etkilenen karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerdir.
4. Kompozit malzemelerin darbe dayanımları artan elyaf takviyesiyle doğru orantılı olarak artar. En yüksek darbe dayanımı %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemede görülür.
5. Polimer esaslı kompozit malzemelerin tümünün korozyon dayanımları yüksektir.
6. En düşük su emme değeri PC matrisli kompozit malzemelerdir.
7. PA66 kompozit malzemelerin aşınma dirençleri genel olarak PC kompozit malzemelere oranla daha yüksektir.
8. Hafif silah imalatında gövde malzemesi olarak kullanılacak en uygun malzeme % 40 oranında karbon elyaf ile takviye edilmiş olan PA66'dır.
9. Hafif silahlarda düşük gerilme değeri altında çalışan ve yüksek boyutsal kararlılık beklenmeyen parçaların daha ekonomik olarak imal edilebilmeleri için en uygun malzeme % 30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemedir.

## 5. ÖNERİLER

Hafif Silahlar için Polimer Kompozit Malzeme Seçimi amacıyla yapılacak çalışmalara ışık tutması amacıyla önerilen araştırma konuları aşağıda verilmiştir.

1. İncelenmiş olunan matris malzemelerinin dışında kalan ve kullanım potansiyeli olan matris malzemelerinin, polimer kompozit malzemelerde kullanımı incelenebilir.
2. Farklı elyaf türlerinin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri incelenebilir.
3. Kompozit esaslı parça imalatında kullanılan enjeksiyon yönteminin, malzeme özelliklerinin yöne bağımlılığına etkisi incelenebilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Silah> 17.12.2015.
2. <http://girsan.com.tr/> 12.01.2016.
3. Arıcasoy, O., “Kompozit Sektör Raporu”, İstanbul Ticaret Odası, (2006) 4-22.
4. Eryıldız E. Ve Eker A., Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları, International Journal of Engineering Research and Development, 7,4 (2015).
5. Yılmazoğlu Ü., Kompozit Malzemelerin Elasto-Plastik Davranışının İncelenmesi, Denizli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004.
6. Bora M., Polimer Kompozitlerde Çevresel Etkilerin Darbe Yüklemeleri Altındaki Davranışlarına ve Kırılma Morfolojisine Etkileri, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.
7. Aran A., Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
8. <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/frp/frp197.html> 27.01.2016.
9. Agarwall, B.D. ve Broutman L.J., Analysis and Performance of Fiber Composites, John Wiley & Sons, New York, 1980.
10. Nato Test Regulations D14, Standard Test Method for Corrosion of Pistols.
11. Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.
12. Güldü İ, Dağhan B. ve Kaya S., Faturalı CTP Levhalarda Gerilme Konsantrasyonunun Araştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Mayıs, 5,2 (2003) 27-35.
13. Mazumdar, S.K., Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering. New York, 2002.
14. Bunsell, A.R. ve Renard, J., Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials, IOP Publishing Ltd., Paris, 2005.
15. Rouchan, J., Materiaux composites pour d'aeronefs, Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques. 95 s, 1987.
16. Chung D.D.L., “Carbon Fiber Composites”, Butterworth-Heinemann, Boston, USA, 1994.
17. Schwartz, M.M., Composite Materials Handbook. McGraw-Hill Inc, 1984.

18. <http://teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/icerik/kompozit.htm> 18.02.2016.
19. Mallick, P.K. Fiber Reinforced Composites. Marcel Dekker, INC., New York and Basel, 469s, 1988.
20. A.S.M.International, Composite materials I the basics, Materials Engineering Institute, Ohio (1984) 10-15.
21. Kayrak, M.A., Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri, Eskişehir, 1999.
22. Eral G., Kompozit Malzemelerdeki Termal Gerilmelerin ve Sürünme Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir, 2003.
23. Deniz M.E., Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2005.
24. Baker, A., Composites engineering handbook, In P.K. Mallick (Eds.), "Joining and repair of aircraft composite structure", New York: Marcel Dekker, 1997.
25. Gündüz Ö.İ., Seramik takviyeli polimer matriksli kompozitlerin üretimi ve balistik özelliklerinin değerlendirilmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009.
26. Budinski Kenneth G., "Engineering Materials Properties and Selection", Prentice Hall, New Jersey, USA, 1996.
27. Ekici E., Pazarkaya İ., Nas E., Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığı, Seçkin Teknik Kitabevi, Ocak 2013.
28. Yaşar H., Plastikler Dünyası, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, Mayıs 2001.
29. Doç. Dr. Akkurt S., "Plastik Malzeme Bilgisi", Birsen Yayınevi, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul, 1991.
30. Akbulut H., Kompozit malzemeler ders notları, Sakarya Üniversitesi, Mak. Müh. Böl. 2010.
31. Eker A. A., Plastik Matrisli Kompozitler ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2008.
32. <http://www.polyone.com/> 19.03.2016
33. Sabancı Ş., Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi ile Üretimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.

34. Erbay K., Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
35. Sui G., Wong S. ve Yue C., Effect of extrusion compounding on the mechanical properties of rubber-toughened polymers containing short glass fibers, Journal of Materials Processing Technology, 113,1-3 (2001) 167-171.
36. Fu S., Lauke B., Li R. ve Mai Y., Effects of PA6,6/PP ratio on the mechanical properties of short glass fiber reinforced and rubber-toughened polyamide 6,6/polypropylene blends, Composites Part B: Engineering, 37,2-3 (2006) 182-190.
37. Thomason J.L., The influence of fibre length, diameter and concentration on the strength and strain to failure of glass fibre-reinforced polyamide 6,6, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39,10 (2008) 1618-1624.
38. Thomason J.L., The influence of fibre length, diameter and concentration on the modulus of glass fibre-reinforced polyamide 6,6, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39,11 (2008) 1732-1738.
39. Güllü A., Özdemir, A. ve Özdemir, E., Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics, Materials & Design, 27,4 (2006) 316-323.
40. Pegoretti A., Fidanza M., Migliaresi C. ve DiBenedetto T., Toughness of the fiber/matrix interface in nylon-6/glass fiber composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 29,3 (1998) 283-291.
41. Suresha B., Chandramohan G., Rao P.R. Sadanando, Samapthkumaran P. And Seetharamu S., "Influence of SiC Filler on Mechanical and Tribological Behavior of Glass Fabric Reinforced Epoxy Composite Systems", Journal of Reinforced Plastics and Composites, 26,6 (2007) 565-578.
42. Cam Elyaf Sanayii A.Ş., CTP Teknolojisi Cam elyafı Takviyeli Reçine Sistemleri, Kasım 1984.
43. ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, United States, 2003.
44. ASTM D 256 Method B, Standart Test for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, United State, 2004.
45. Aksulu M., Polimerlerin Aşınmasında Karşı Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
46. Mens, J. W. M. ve Gee, A.W.J., Friction and behaviour of 18 polymers in contact with steel in environments of air and water, Wear, 149, (1991) 255-268.

## ÖZGEÇMİŞ

Mahmutcan KARSLI 1988 yılında Giresun'da doğdu. 2006 yılında Giresun Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi'ni bitirdi. 2010 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Makina Mühendisi unvanı ile mezun oldu ve GİRSAN Makina ve Hafif Silah San. Tic. A.Ş.' de Makina Mühendisi olarak görevine başladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamış olup, orta derecede İngilizce bilmektedir.