

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PA6 MATRİSLİ SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ  
POLİMER KOMPOZİTLERİN YAPISAL VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hazırlayan  
Hilal PEÇENEK**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2019  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PA6 MATRİSLİ SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ  
POLİMER KOMPOZİTLERİN YAPISAL VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Hilal PEÇENEK**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ**

**Ocak 2019  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Hilal PEÇENEK

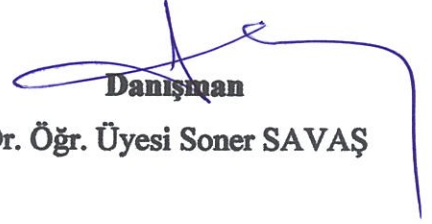
## YÖNERGEYE UYGUNLUK

“PA6 Matrisli Seramik Partikül Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapısal Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



**Hazırlayan**

**Hilal PEÇENEK**



**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ**



**Malzeme Bilimi ve Mühendisliği A.B.D. Başkanı Vekili**

**Dr. Öğr. Üyesi Esen DAĞAŞAN BULUCU**

Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ danışmanlığında **Hilal PEÇENEK** tarafından hazırlanan “**PA6 Matrisli Seramik Partikül Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

01/02/2019

**JÜRİ:**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ

Üye : Prof. Dr. Ertuğrul ŞAHMETLİOĞLU

Üye : Doç. Dr. Bilal DEMİREL

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 05/02/2019 tarih ve 2019/09-16 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
05/02/2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

“PA6 Matrisli Seramik Partikül Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli tez çalışmamın konu seçiminde, yürütülmesinde destek olan ve hiçbir yardımı esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamımın her döneminde, beni destekleyen, teşvik eden ve sonsuz sevgi gösteren her zaman yanımda olacaklarını bildiğim çok değerli aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Hilal PEÇENEK

Ocak 2019, KAYSERİ

# PA6 MATRİSLİ SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hilal PEÇENEK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2019  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Soner SAVAŞ

## ÖZET

Polimerik bir matris içinde, boyalarda ve kaplamalarda yüksek sertlik, düşük viskozite ve yüksek yükleme kapasitesi gereksinimleri için yaygın olarak kullanılan seramik mikro küreciklerin (SM'ler) potansiyel mekanik ve aşınma direnci performansına katkısının araştırılması bu çalışmanın ana fikridir. Farklı ağırlık oranlarına sahip (%10, 20, 30, 40) SM'leri içeren Poliamid 6 (PA6) kompozitleri ergiyik harmanlama ile üretilmiş ve ardından temel olarak çekme, 3-nokta eğme, dinamik mekanik analiz ve kuru ortamda pin-on-disk aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla birlikte, SM takviye oranı artışıyla paralel olarak çekme dayanımı ve çekme modülü özelliklerinde de artış gözlemlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı ve modülü değerleri PA40 için sırasıyla 52 MPa ve 1.4 GPa olarak bulunmuştur. Bu değerler PA0 ile kıyaslandığında sırasıyla %10 ve %25 daha yüksektir. Eğme mukavemeti, eğme elastiklik modülü ve Shore D sertlik ile rijitlik değerlerinde de saf polimere göre önemli artışlar elde edilmiştir. Kompozitlerde artan SM oranı ile aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın belki de en önemli sonucu olarak PA40'ın aşınma direncinin saf PA6'dan %60 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum SM ilavesiyle artan rijitliğin, numunelerin kayma ve abrazyon aşınma dirençlerini geliştirmesine bağlanabilir ve birçok uygulamada faydalı sonuçlar verecek şekilde kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer kompozitler, poliamid 6, seramik mikro kürecikler, mekanik özellikler, aşınma.



# INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PA6 POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH CERAMIC PARTICLES

Hilal PEÇENEK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Master Thesis, January 2019  
Supervisor: Dr. Soner SAVAŞ

## ABSTRACT

Within a polymeric matrix, the potential mechanical and wear resistance performance contribution of ceramic microspheres (CMs), which are commonly used for high hardness, low viscosity and high loading capacity requirements in paints and coatings, is the main motivation of this work. Polyamide 6 (PA6) composites including CMs with different weight ratios (10, 20, 30, 40%) were processed by melt blending and then characterized primarily by tensile and bending test, dynamical mechanical analysis and pin-on-disc wear test in dry sliding conditions. This work clearly shows that tensile strength and tensile modulus of the composites were found to increase with increasing CMs concentration. The highest tensile strength and modulus values were found as 52 MPa and 1.4 GPa respectively for PA40, which are 10% and 25% higher than those of PA0. Important enhancements were also observed in flexural strength, flexural modulus, Shore D hardness and rigidity values of the composites compared to the pure polymer. Besides, coefficient of friction and wear rate values are both decreased with increasing filler concentration in the composites. The wear resistance of PA40 was found 60% higher than that of pure PA6, which was the most important finding of the study. This might be attributed to the rigidity of the structure, which led to increase the sliding and also abrasive wear resistance of the samples, which can be used to give useful results in many applications.

**Keywords:** Polymer composites, polyamide 6, ceramic microspheres, mechanical properties, wear.

## İÇİNDEKİLER

### PA6 MATRİSLİ SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
ONAY.....	iii
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii

## BÖLÜM 1

### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tezin Konusu.....	1
1.2. Konunun Önemi.....	1
1.3. Tezin Amacı.....	2
1.4. Literatür Araştırması.....	3

## BÖLÜM 2

### KAPSAM VE YÖNTEM

2.1. Polimerler.....	6
2.2. Kompozitler.....	7
2.2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
2.2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler.....	9
2.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler.....	10
2.2.1.3. Melez(Hybrid) Kompozitler.....	11
2.2.1.4. Polimer Matrisli Kompozitler.....	11

<b>2.2.2. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2.1. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Polimer Matrisli Kompozitlerin Bileşenleri.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1. Matris Fazı.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1.1. Termosetler.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1.2. Termoplastikler.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2. Takviye Fazı.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.3. Ara yüzey.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. Partikül Takviyeli Polimer Kompozitler.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5. Poliamid 6 (PA6).....</b>	<b>20</b>
<b>2.6. Seramik Mikro Küreler (SM).....</b>	<b>21</b>

### **BÖLÜM 3**

#### **DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR**

<b>3.1. Malzemeler ve Yöntemler.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1. Kullanılan Malzemeler.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2 PA6 Matrisli Seramik Mikro küre Katkılı Kompozitlerin Sentezi.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.3. Yapısal Karakterizasyon.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.4. Mekanik Karakterizasyon.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.5. Sürtünme ve Aşınma Testleri.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2. Test Sonuçları ve Tartışma.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1. Yapısal Özellikler.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2. Çekme Özellikleri.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3. Eğme özellikleri.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.4. Dinamik Mekanik Analiz (DMA) Sonuçları.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.5. Aşınma Özellikleri.....</b>	<b>35</b>

### **4. BÖLÜM**

#### **SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

<b>4.1. Sonuçlar.....</b>	<b>42</b>
---------------------------	-----------

<b>4.2. Öneriler.....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>44</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>53</b>



## KISALTMALAR

<b><u>Sembol</u></b>	<b><u>Anlamı</u></b>
PA6	: Poliamid 6
CMs	: Ceramic Microspheres
SM	: Seramik Mikro küre
DMA	: Dinamik mekanik analiz
PA66	: Poliamid 66
PTFE	: Politetrafloretilen
PEI	: Polieterimid
Tg	: Camı Geçiş Sıcaklığı
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PVC	: Polivinilklorür
POM	: Poliasetal
ABS	: Akrilonitrilbütadienstiren
CoF	: Sürtünme katsayıları
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
<i>r</i>	: Bilyenin yarıçapı
<i>V</i>	: Aşınma hacmi kaybı
<i>K</i>	: Aşınma oranı değeri
<i>P</i>	: Uygulanan yük
<i>L</i>	: Kayma mesafesi

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Dünya malzeme tüketiminin yıllara göre değişimi ve gelecek yıl tahminleri.....	2
Tablo 2.1.	Polimer kompozitlerde üretim teknikleri .....	14
Tablo 2.2.	Termoset ve termoplastik matrislerin genel özellikleri.....	15
Tablo 2.3.	Seramik mikro kürelerin özellikleri.....	23
Tablo 3.1.	SM'lerin partikül boyut dağılımı.....	24
Tablo 3.2.	Çalışmada kullanılan numunelerin bileşimi.....	25
Tablo 3.3.	PA6/SM kompozitlerin mekanik özellikleri.....	31

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.2. Termoset polimerler.....	16
Şekil 2.3. Termoplastik polimerler.....	17
Şekil 2.4. Sürekli ve süreksiz elyaf takviyeli kompozitler.....	18
Şekil 2.5. Kompozit içerisinde ara yüzeyin şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.6. Partikül takviyeli kompozitlerin şematik görünümü.....	20
Şekil 2.7. Seramik mikro küre özellikleri.....	22
Şekil 3.1. Ekstrüzyon cihazının şematik görünümü.....	26
Şekil 3.2. Ball-on-disc test düzeneğinin şematik gösterimi .....	27
Şekil 3.3. Tribo çiftlerin temas geometrisi .....	28
Şekil 3.4. Saf SM'ler ve silanlı SM'lerin FT-IR analiz sonucu.....	29
Şekil 3.5. Saf PA6 ve kompozitlerin XRD grafikleri.....	30
Şekil 3.6. Saf PA6 ve kompozitlerin çekme gerilmesi-uzama eğrileri.....	31
Şekil 3.7. Saf PA6 ve kompozitlerin eğme gerilmesi-uzama eğrileri.....	32
Şekil 3.8. Saf polimer ve farklı SM yüzdesine sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki kayıp modül grafikleri.....	33
Şekil 3.9. Saf polimer ve farklı SM yüzdesine sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki tan & grafikleri.....	34
Şekil 3.10. Saf polimer ve farklı SM yüzdesine sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki elastik modülü grafikleri.....	35
Şekil 3.11. Saf PA6 ve kompozitlerin (a) sürtünme katsayısı, (b) aşınma oranı değerlerinin SM konsantrasyonuna göre değişim grafikleri.....	36
Şekil 3.12. Saf PA6 ve kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi grafikleri.....	36
Şekil 3.13. Saf PA6'nın aşınma iz görüntüsü.....	37
Şekil 3.14. Saf PA6'nın aşınma iz görüntüsü.....	37
Şekil 3.15. PA10'nun aşınma iz görüntüsü.....	38

Şekil 3.16. PA10'nun aşınma iz görüntüsü.....	38
Şekil 3.17. PA20'nin aşınma iz görüntüsü.....	39
Şekil 3.18. PA20'nin aşınma iz görüntüsü.....	39
Şekil 3.19. PA30'un aşınma iz görüntüsü.....	40
Şekil 3.20. PA30'un aşınma iz görüntüsü.....	40
Şekil 3.21. PA40'ın aşınma iz görüntüsü.....	41
Şekil 3.22. PA40'ın aşınma iz görüntüsü.....	41



# BÖLÜM 1

## GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Tezin Konusu

Polimer karışımları, istenen özelliklere sahip tamamen yeni malzemelerin gelişiminde uygun, düşük maliyetli çözümler ürettiği için, hem bilimsel hem de endüstriyel sektörlerde giderek artan bir ilgi görmektedir [1-4]. Bu çalışmanın konusu Poliamid matris içerisine Seramik parçacık takviyesi yapılacak ve elde edilen kompozitin yapısal ve mekanik özellikleri incelenecektir. Poliamid'e yapılan seramik katkısı ile darbe dayanımında, tokluğunda, sertliğinde, aşınma davranışlarında ne gibi değişimler olacağı incelenecektir. Bu sayede seramik partikülün polimer kompozite ne gibi üstünlükler kazandırdığı tespit edilecektir.

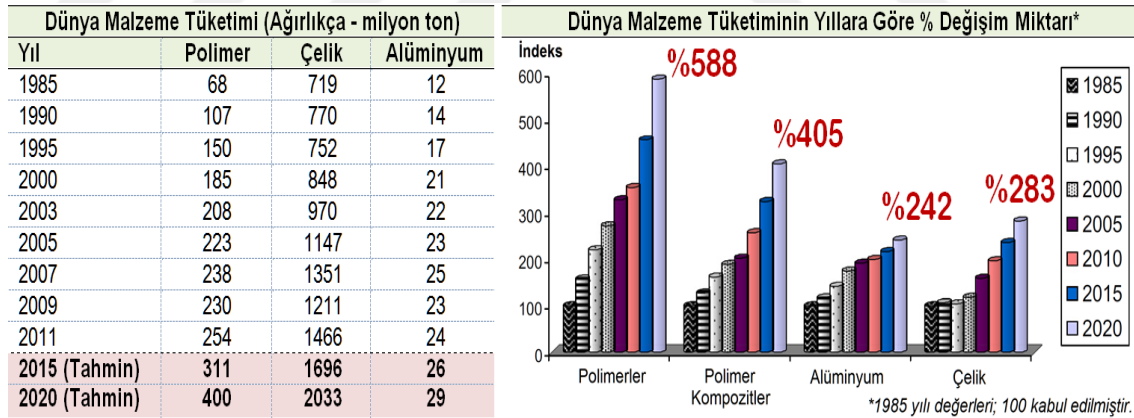
### 1.2. Konunun Önemi

Polimerler, sayıca çok monomerin birbirlerine bağlanmasıyla meydana getirdikleri çok daha büyük moleküllere denir. Bir monomer polimerizasyon yöntemiyle diğer monomer molekülleri ile birleşerek tekrar eden ünitelerden meydana gelen oldukça uzun zincir şeklinde bir makro-molekül oluşturur ki bunun en basit hali polietilen'dir. Günümüz hayatında polimerler birçok alanda tercih edilmektedir. Bunlardan en önemlisi belki de son döneme damgasını vuran polimer kompozitler, bugün endüstri alanındaki hâkimiyetinin yanında, sosyo-ekonomik ortamın da önemli bir parçasını oluşturur hale gelmiştir. Tüm kara, hava ve deniz taşıtlarının çoğu parçaları, elektrik-elektronik, tekstil, gıda, inşaat, boya, ambalaj, tıp ve daha bir çok teknoloji ürünlerinde ki yaygın kullanım alanları polimer kompozitleri günlük yaşantımızla bütün hale getirmektedir. Şüphesiz bu çaba beraberinde bir ekonomik güçte oluşturduğu için çığgın bir yarış içinde ivme kazanmaktadır. Polimerik kompozitler bir çok mühendislik uygulamalarında tercih edilen özelliklere sahiptir.

Bu hızlı yayılımın temeli, polimer kompozitlerin organik kimyasal yapıları sayesinde olmaktadır. Polimer malzemelere olan ilgi git gide artmaktadır (Tablo 1.1). Polimer malzemelerin ticari ve teknik açıdan önemlerinin sebepleri şu şekilde özet haline getirilebilir:

- Polimerler diğer yapılara kıyasla ucuzdurlar ve çok farklı şekiller oluşturulabilir,
- Metal ve seramiklere kıyasla daha düşük yoğunluğa sahiptir ve dayanım/yoğunluk oranları yüksektir,
- Korozyona yüksek direnç ve düşük ısı ve elektriksel iletkenliğine sahiptirler,
- Maliyet bakımından metallerle yarışacak kadar iyi olmaları,
- Hacim temel alındığında çoğunlukla polimerleri üretmek için daha az enerjiye gereksinim duyulması çünkü polimerlerin üretim sıcaklıklarının metallere oranla daha düşük olması,
- Çoğunlukla kompozit malzemelerde kullanılmaları.

Tablo 1.1. Dünya malzeme tüketiminin yıllara göre değişimi ve gelecek yıl tahminleri.



### 1.3. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, pahalı bir malzeme olan PA6'ya seramik parçacıkları ekleyerek aşınma özelliklerini ve mekanik özelliklerini incelemektir. Poliamidler (naylonlar) mühendislik termoplastikleri olarak da bilinen malzemelerdir. PA6 polimer malzemeler aşınmaya karşı dirençli oldukları için dişli ve aşındırıcı plakalar gibi parçaların yapımında tercih edilir [5]. Bu gibi alanlarda kullanılan bu malzemenin özelliklerini daha iyi hale getirmek ve bu alandaki literatür eksikliğini doldurmak bu tezin amaçlarındandır. Bu

amaçla ilgilenilen ürün özelliklerinin aynı anda optimizasyonu gerçekleştirilerek en iyi ürün özelliklerini verecek matris ve takviye elemanlarının karışım oranları belirlenerek yapısal ve mekanik özellikleri elde edilecektir. Mekanik özelliklerinin incelenmesi aşamasında da üretilen numunelerin mekanik testleri yapılacaktır. Uygulanacak mekanik testler çekme, üç nokta eğme, dinamik mekanik analiz testleri ve Shore D sertlik ölçümleridir. Ayrıca tribolojik testler ve XRD analizi yapılacaktır. Tüm sonuçların göz önüne alınması takviye elemanının kompozit de ne gibi değişimler meydana getirdiğinin değerlendirilmesi bu tezin kapsamını oluşturmaktadır. Sonuç olarak, yapılan çalışmalar neticesinde benzer çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden bu alandaki çalışmalara zemin hazırlamak ve literatür boşluğunu doldurmak bu çalışmanın amaçlarındandır.

#### **1.4. Literatür Araştırması**

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, polimer matrisli kompozitler metal matrisli kompozitler ile kıyaslandığında daha düşük dayanım sağlamasına rağmen günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır bunun sebebi polimer kompozitlerin metal kompozitlere göre daha hafif olmasıdır [6-7]. Polimerler, adhesiv ve abrasif olarak aşınmaya maruz kalırlar. Polimerlerin kendi aralarındaki aşınma, polimer malzemenin metal malzeme ile arasında gerçekleşen aşınmaya kıyasla daha şiddetlidir. Polimerin aşınma direncini tanımlarken aşınma faktörü, sürtünme katsayısı, hacimsel aşınma hızı ve basınç-hız (P-V) oranı faktörleri kullanılan ana unsurlardır. Sürtünme katsayısı, (sürtünme kuvvetinin, uygulanan kuvvete oranı) bir malzemenin diğer malzeme üzerinde ne kadar kolay kayma yapacağını gösterir. Düşük sürtünme katsayısı çoğunlukla aşınma direncini belirlemede en iyi göstergelerden biridir [8]. Poliamid polimerler çoğunlukla mühendislik polimerleri olarak bilinir. Ayrıca PA6 ve PA66 poliamid çeşitleri iyi dayanım özellikleri bakımından en göze çarpanlarıdır. Çünkü diğer poliamidler ile karşılaştırıldığında daha iyi sertlik, mukavemet gibi özellikleri bu polimerleri önemli hale getirmektedir [9]. Poliamid 6'nın molekül ağırlığı 80000-100000 arasında değişim gösteren kristalliği yüksek, düşük nem aktivitesi olan, döküm yöntemiyle de üretilebilen bir termoplastik olup, naylon çeşitlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından en iyi özellikte olanıdır. Poliamid 6, molekül ağırlığı ve yapısı sayesinde yüksek darbe dayanımı, düşük nem aktivitesi ve işlenebilme kolaylığı gereken çalışmalarda tercih edilir. Daha önce birçok araştırmacı Srinivas vd. [10], Anda

vd. [11], Du-Xin vd. [12], Nie vd. [13], You vd. [14], Kumar vd. [15], Hlebanja [16], Ünal vd. [17], Li vd. [18] poliamid üzerine çalışmalar yapmıştır. Yarı Kristalin bir termoplastik polimer olan Poliamid (PA) düşük yoğunluk ve kendinden yağlama gibi özellikleri sayesinde yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Fakat poliamid temelli malzemelerin aşınmaya olan direnci mühendislik uygulamaları için tatmin edici düzeyde değildir [19]. Poliamid matrisli kompozit malzemelerin aşınma özelliklerini iyileştirmek için değişik metotlar vardır. Birçok çalışmada polimerlerin içerisine inorganik katkıların eklenmesi ile polimer kompozitlerin aşınma özelliklerinin geliştiği görülmüştür. Tanaka ve Kawakami [20] ZrO<sub>2</sub> parçacıkları, cam fiber ve katı yağlayıcı katkısı olan PTFE (poli-tetra-flor-etilen) esaslı kompozitlerin tribolojik davranışları üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, cam fiber ve ZrO<sub>2</sub> partiküllerinin katı yağlayıcıya kıyasla aşınma miktarında azalma oranında daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Fiber ve partikül takviyenin kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesini artırdığını belirtmişlerdir. Yan ve arkadaşları [21] ise grafit takviyeli PTFE kompozitin tribolojik davranışını incelemişlerdir. Zhang ve Xian [22] kısa karbon fiber takviyeli polieterimid (PEI) kompozitlerinin aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Hacim oranı %5-20 kısa karbon fiber ilavesi ile sürtünme katsayısı azalma göstermiş aşınma direncinde artış olmuştur. Chung ve Kang [23] katı yağlayıcı miktarlarının tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. %2-8 arasındaki yağlayıcı katkılı PA6 polimerinin özelliklerini incelemişlerdir. %6 yağlayıcı ilaveli PA6 için sürtünme katsayısı 0.18'den 0.12'ye düşmüştür. Vaks ilaveli PA6 polimeri yağ ilaveli PA6 polimerine kıyasla daha düşük sürtünme katsayısı göstermiştir. Artan kayma hızı ve temas basıncı ile birlikte sürtünme katsayısı 0.08'e kadar azaldığı belirlenmiştir. Kang ve arkadaşları [24] grafit katkılı PA6 polimerinin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. %2-4 grafit ilaveli bileşenlerde sürtünme katsayısı artış gösterirken %2 yağ ilaveli bileşenlerde sürtünme katsayısı saf PA6 polimerine göre daha düşük elde edilmiştir. Aşınma oranı, saf PA6'ya kıyasla %10 oranında azalma göstermiştir. PA6 ve yağ tarafından oluşan yüzey film tabakası PA6'nın aşınmasını önlemiştir. Zhang ve arkadaşları [25], kısa karbon fiber, mikro SiO<sub>2</sub> ve grafit ilaveli poliimid (PI) polimerinin tribolojik davranışlarını inceledikleri çalışmada, takviye edilen grafit ve kısa karbon fiber poliimid kompozitin aşınma davranışını geliştirirken mikro SiO<sub>2</sub> tribolojik özelliklerini kötü etkilemiştir. Baoli ve arkadaşları nano boyutlarda TiO<sub>2</sub> takviyeli PA6, PP nanokompozitlerinin mekanik davranışlarını incelemiştir.

Nanokompozitte TiO<sub>2</sub> ilavesi ile mekanik özelliklerinde artış görülmüştür. Âlim ve arkadaşları [26], grafit takviyeli poliamid kompozitin tribolojik davranışlarını inceledikleri deneyde, çalışmalar sonucunda sürtünme katsayısı-yük, sürtünme katsayısı-kayma hızı, aşınma oranı-kayma hızı, aşınma oranı-yük ve sürtünme katsayısı-yol grafikleri elde edilmiştir. Aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu(SEM) kullanılarak incelenmiştir. PA6'ya grafit katkı edilmesi ile aşınma hızının ve sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Indrani C. tarafından yapılan çalışmada [27] Polimer matrisli kompozit takviyeli grafenin elektriksel iletkenliğine ikincil dolgu malzemesi boyutunun etkisi araştırılmıştır. Çalışmada iki farklı boyutta ikincil dolgu maddesi seçilmiş ve bunların kompozitin iletkenliğini arttırmadaki etkisi kıyaslanmıştır. Çalışmada kullanılan takviyeler silika nanopartikülleri (200 nm) ve alümina seramik mikro küreleri (12 mikron)dir. Grafenin dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada seramik mikro kürelerin grafen tabakalarındaki topaklanmayı önlediği böylece grafenin elektriksel iletkenliğini arttırmada katkısı olduğu görülmüştür. Fakat daha küçük boyutta olan silika nanopartiküllerinin daha etkili olduğu görülmüştür. Seramik mikro küreler ile ilgili yapılan literatür araştırmasında seramik mikro kürelerin boya ve kaplama uygulamalarında tercih edildiği görülmüştür. Bu alanlarda tercih edilmesinin başlıca nedenleri viskozite kontrolünü sağlarken, yüksek dolgu yüklemesine izin vermesi, ayrıca yüksek mukavemetli olması ve yanık dayanımının olmasıdır. Literatür çalışmasında da görüldüğü gibi seramik mikro kürelerin kompozit içerisinde takviye fazı olarak kullanımı yaygın olmadığından benzer çalışmalara rastlanılmamıştır. Yapılacak olan bu çalışmanın bu alanda yeni araştırmalara konu olması beklenmektedir. Bu çalışmada daha önce bu konuyla ilgili literatür eksikliği göz önüne alınmış ve bu literatür eksikliğini dolduracak veriler elde edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada takviye fazı olarak farklı yüzdelerde seramik mikro küre parçacıkları içeren PA6 polimer kompozitleri hazırlanmıştır, mekanik ve aşınma özellikleri üzerindeki takviye elemanı etkisini değerlendirmek üzere önce ekstrüderde çekilip ardından granül haline getirilen malzeme, numuneleri elde etmek için enjeksiyon kalıbında işlenmiştir. Bunun akabinde, çekme testi, eğme (üç nokta), dinamik mekanik analiz (DMA) ve pin-on-disk aşınma testi yerine getirilmiş ve bu davranışlar arasındaki ilişkiler bulgular üzerinden analiz edilmiştir.

## BÖLÜM 2

### KAPSAM VE YÖNTEM

#### 2.1. Polimerler

Polimerler sayıca fazla olan küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanmasıyla meydana getirdiği makro moleküldür. Polimerler mer olarak adlandırılan yapılardan meydana gelir. Polimerler yapılarında çoğunlukla işlevsel gruplar içerirler [28]. Bir maddenin polimer olabilmesi için binlerce monomerin bir araya gelip büyük molekül meydana getirmesi gereklidir. Buna göre; polimer (makro molekül) tarif edilecek olursa, tekrarlayan basit ve küçük birimlerden oluşan büyük bir moleküldür. Polimer molekülünün içeriğinde tekrarlayan bu basit ve küçük kimyasal birime, tekrarlanan birim (mer), polimeri elde edebilmek için başlangıç aşamasında kullanılan küçük moleküllü organik maddelere de monomer denir. Makro molekül aynı birimlerden oluştuğunda, bu tip polimerlere “homopolimer” denirken, iki veya daha fazla monomer birimlerinden oluşursa “kopolimer” olarak adlandırılır [29]. Bir polimerde polimeri meydana getiren temel gruplar polimer çeşitlerine göre değişik sayılarda olurlar. Ayrıca bu gruplar dallanmış, doğrusal veya çapraz bağlı bir yapı oluştururlar. Grupların bir moleküldeki sayısı “Polimerizasyon derecesi” olarak adlandırılır. Grup molekül kütlesi ile polimerizasyon derecesinin çarpımı ile polimerin molekül kütlesi bulunur. Polimerlerin mol kütlesi genellikle 10 000-1000 000 aralığındadır. Her polimerin bir başlangıç monomeri vardır. Polimeri meydana getiren monomerler ana grup hallerine dönerken bazı yapısal değişimlere uğrarlar. Polimerleşme sonunda elde edilen ürünler doğal renkli olmanın yanında özel olarak renklendirilmiş, kullanım amacı ve kolaylığı bakımlarından da tablet, toz, film, levha, blok, profil ya da değişik şekillendirilmiş olarak piyasaya sürülürler [30].



Yukarıda verilen denklem de etilen monomerinin polimerizasyon ile n monomer içeren polietilen elde edilmesini yani monomerden polimer elde edilmesini örnek olarak göstermektedir. Polimer malzemelerin çok hızlı gelişim göstermesi ve bu gelişime paralel bir şekilde, metalik malzemelerin çeşitli dezavantajlarından dolayı kabul görmediği veya kullanılmalarının uygun görülmediği durumlarda makine yapılarında tercih edilen çözüm yolu olarak günümüz teknolojisinde yer almaktadır. Polimer malzemeler, kolay üretilebilirliği, hafif olması, ucuz olması, bakım masraflarının azlığı, çevre dostluğu, sessiz çalışması, büyük yükler taşımayan ve yüksek yüklemelerin yapılmadığı yerlerde rahatlıkla kullanılabilir olması gibi avantajları sayesinde endüstriyel alanda kullanımı artış gösterirken, çalışma şartlarının belirlenmesi ve zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi de zorunlu hale gelmiştir. Dünya endüstrisinde ve günümüz sanayisinde, kaymalı yataklar, kızaklar, dişli çarklar, atık ve içme su boruları gibi en çok kullanımı olan ürünler polimer malzemelerden yapılmaktadır [31]. Polimerler; maliyetlerinin düşük olması, iyi mekanik ve termal özellikleri, kolay şekillenebilme, çok farklı amaçlarda kullanıma uygunluğu, estetik, kimyasal açıdan inert ve korozyona direnci gibi özellikleri ile göze çarpan maddelerdir. Bunun gibi pozitif özelliklerinden dolayı polimerler, endüstrinin pek çok dalında önemli kullanım alanları bulan maddeler haline gelmiştir [32].

## 2.2. Kompozitler

Kompozitler genellikle farklı özellikteki iki veya daha fazla sayıdaki malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilir. Bu iki malzeme kompozite benzersiz özellikler kazandırmak için çalışır. Bununla birlikte kompozitteki bu farklı malzemeler birbiri içerisinde çözünmediği için kolayca ayırt edilebilir. Hayvanlarda ve bitkilerde doğal kompozitler bulunur. Uzun selüloz lifleri (polimer) daha zayıf bir madde olan lignin tarafından bir arada tutulur. Selüloz aynı zamanda koton içerisinde de bulunur ancak lignin olmadan daha zayıf bağlanma gösterir. Bu iki zayıf madde bir araya geldiğinde daha güçlü bir madde ortaya çıkar. Aynı şekilde vücudumuz da bulunan kemikler de birer kompozit oluşumdur. Kemik sert ve kırılabilir bir madde olan hidroksiapatit (temelde kalsiyum fosfat) ve kolajen olarak adlandırılan yumuşak ve esnek malzemedir oluşur. Kolajen kendi başına iskelet sisteminde kullanılmamasına rağmen hidroksiapatit ile birleştirilerek kemiklerin vücudu desteklemek için gerekli özelliklerini meydana

getirmiş olur. Bunların dışında insanoğlu çok eski zamanlardan beri kompozit yapmaktadır. Örneğin çimento, kum, taş ve çakıl gibi maddelerden elde edilen beton eski dönemlerden beri kullanılan kompozitlere en güzel örnektir. Hatta yakın zamanda beton içerisine demir çubuk veya tel eklenmesiyle çekme dayanımının artırılabilceği bulunmuştur. Günümüzde kompozit malzemeler, çok farklı şekilli parçaların üretilmesine gereksinim duyulan uçak ve denizcilik endüstrisi gibi birçok sektördeki uygulamalar için büyük ilgi görmektedir. Kompozitler, mekanik mukavemet, düşük ağırlık, sertlik, korozyon direnci ve manyetik olmayan gibi iyi özellikleri ile bilinmektedirler [33]. Kompozit bir malzeme üstün ve benzersiz mekanik ve fiziksel özellikler sağlayabilir, çünkü bileşenlerinin en çok arzu edilen özelliklerini öne çıkarırken istenmeyen özelliklerini bastırır. Günümüzde, kompozit malzemeler, biyomedikal uygulamalarda, havacılık endüstrisinde, otomobil endüstrisinde ve diğer mühendislik uygulamalarında, üstün performans sergiledikleri için önemli bir rol oynamaktadır [34].

Kompozitler uzun zamandır mühendislik uygulamalarında kullanılmalarına rağmen günümüzde mühendisler ve bilim adamları tamamıyla yeni malzemeler, üretim teknikleri ve bunların tasarımı alanında çalışmaktadır. Kompozit malzemeler iyi bir şekilde kavranarak endüstriyel alanlarda uygulanırsa performans ve ekonomik açıdan büyük avantajlar getirecektir. Kompozit malzemeler matris ve takviye fazından meydana gelir. Kompozitlerin farklı çeşitleri vardır. Kompozit içeriğindeki matris fazı göz önüne alındığında 3 farklı kompozit çeşidi vardır. Endüstriyel alanda kullanılan çoğu kompozit polimer matris kompozitler'den oluşmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerde kendi içinde termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayrılır [35]. Bununla birlikte, kompozit yapıların tasarımındaki kilit nokta, termoplastik matrisli kompozitlerin uygulanmasına dayanmaktadır. Termoplastiklerin ısı ile tekrar şekillendirilebilme özellikleri ne kadar önemsiz görünse bile geniş çaplı kullanımlarının en önemli nedenleri arasındadır. Bu etken sanayi alanında termoplastik kompozitlere olan talebin artmasının yanında yeni üretim yöntemleri gereksinimine sebep olur [33].

### **2.2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

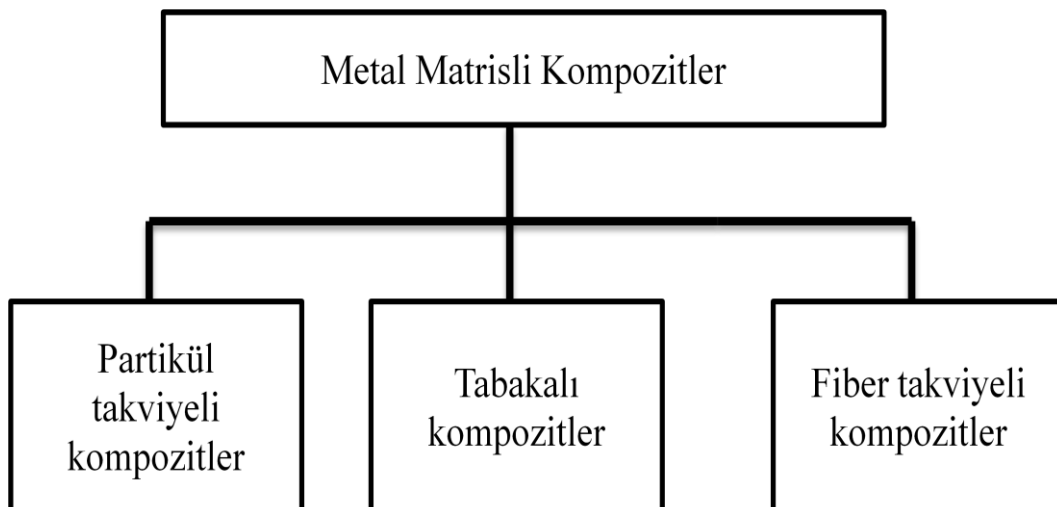
Kompozit malzemeler yaygın olarak iki farklı şekilde sınıflandırılır



- İlk sınıflandırma şekli genellikle matris bileşeni temel alınarak yapılır. Bu şekilde kompozitler Metal Matrisli Kompozitler, Seramik Matrisli Kompozitler, Polimer Matrisli Kompozitler olarak sınıflandırılır.
- İkinci sınıflandırma şekli takviye formu temel alınarak yapılır. Elyaf takviyeli kompozitler, Partikül takviyeli kompozitler ve laminar kompozitler şeklinde sınıflandırılır. Bu çalışmada kompozitlerin matris bileşenine göre sınıflandırılması temel alınacaktır.

### 2.2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metal-matris kompozitler geliştirilmiş dayanımları, yüksek elastik modülleri ve geleneksel tabanlı alaşımlara göre artan aşınma dirençleriyle son dönemlerin en çok dikkat çeken yapılarından biridir. Alüminyum temelli matrisler en yaygın olanlarıdır. Parçacık takviyeli malzemeler düşük maliyet ve kolay üretim sağlar. Parçacık takviyeli kompozitler otomotiv ve havacılık endüstrisi tarafından bağlantı çubukları, pistonlar, gibi çeşitli motor uygulamaları için tercih edilmektedir. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin yüksek aşınma direnci içeriğindeki metal matrisi koruyan seramik takviye sayesinde. Bununla birlikte, bu partiküllerin aşınma davranışındaki etkisini araştırmak, çeşitli boyutlarda karbür içeren ve önemli aşınma direnci gösteren yüksek hız çeliği gibi karmaşık bir matris kullanıldığında genellikle zordur [36]. Metal matrisli kompozitler şekil 2.1’de belirtildiği gibi sınıflandırılır.



Şekil 2.1. Metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması.

Metal matrisli kompozitlerde genellikle istenen takviye malzeme özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Düşük yoğunluk,
- Mekanik ve kimyasal uyumluluk,
- Termal kararlılık,
- Yüksek çekme dayanımı,
- İyi işlenebilirlik ve uygun maliyet

Bu özelliklere yalnızca metalik olmayan inorganik takviye malzemeleri kullanılarak ulaşılabilir. Bu yüzden metal matrisler de çoğunlukla seramik takviye fazı kullanılmaktadır. Metalik fiber kullanımı yüksek yoğunluğu nedeniyle kompozit içerisinde verimli olmamaktadır [37-38].

#### **2.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler**

Seramik matrisli kompozitler konvansiyonel veya geleneksel seramikler ile karşılaştırıldığında gelişmiş özelliklerinden dolayı büyük önem kazanmıştır. Tek fazlı olan seramik malzemelerdeki eksik özellikleri gidermek için geliştirilmişlerdir. Seramik partiküller dislokasyonların hareketini engellemeye eğilimli bu sayede malzemenin sertliği ve dayanımı gibi çeşitli özelliklerini geliştirmeye yardımcı olmaktadır [39]. Seramik kompozitlerin en önemli avantajı yüksek sıcaklıklara olan dayanımı ve kimyasal uyumluluğudur. Seramik matrisli kompozitler seramiklerin düşük kırılma tokluğu gibi dezavantajlarının üstesinden gelirken, yüksek sıcaklığa dayanım gibi avantajlarından yararlanmak için geliştirilmektedirler. Seramiklerin tokluk mekanizmaları takviye fazı olarak kullanılan yapının partikül, whisker veya fiber olmasına bağlı olarak farklılık gösterir. Fakat sürekli elyaf takviye kullanılması ile toklukta en büyük gelişim görülür. Seramik matrisli kompozitler'in çoğu, yüksek mukavemetleri ve sertlikleri nedeniyle silisyum karbür liflerle takviye edilir.

#### **Sürekli elyafli seramik matrisli kompozitlerin tipik özellikleri:**

- Yüksek sıcaklıklarda bile yüksek mekanik dayanım,
- Yüksek termal şok direnci,

- Yüksek sertlik,
- Yüksek tokluk,
- Yüksek termal kararlılık,
- Düşük yoğunluklu,
- Yüksek sıcaklıklarda bile yüksek korozyon direnci [40].

### 2.2.1.3. Melez (Hybrid) Kompozitler

Hibrit kompozitler, iki veya daha fazla takviye fiberinin bir kombinasyonuna sahip olan kompozitlerdir. Bu kompozitler halen geliştirilmek için çalışmalar yürütülen kompozit çeşididir. Hibrit kompozit türü farklı takviye malzemelerin karıştırılmasıyla oluşabileceği gibi farklı bir malzeme içermesiyle de oluşabilmektedir. Hibrit kompozitler, iki veya daha fazla takviye fiberinin bir kombinasyonuna sahip olan kompozitlerdir. En yaygın hibrit kompozitler, karbon-aramid takviyeli epoksi (güç ve darbe direncini birleştirir) ve cam-karbon takviyeli epoksidir (düşük maliyetli güçlü bir malzeme verir). Hibrit kompozitler genellikle farklı tipte liflerin özelliklerinin birleşimi elde edilmek istendiğinde veya uzunlamasına ve yanal mekanik performans gerektiğinde kullanılır [41].

### 2.2.1.4. Polimer Matrisli Kompozitler

Bu araştırma çalışmasında kullanılan matris, polimer matris kompozitleridir. Polimer, sayısız sınıftan oluşan önemli moleküller içeren organik veya sentetik olarak üretilmiş kimyasal bir maddedir. Polimerler uzun bir bileşik zinciri oluşturan monomerler ile üretilir ve bu işleme polimerizasyon denir. Polimerler hafiflikleri ve iyi dayanım/ağırlık oranları sayesinde havacılık ve taşıt endüstrisinde kullanılmaktadır. Polimer kompozitler kullanılan polimerin karakteristik özelliklerine göre sınıflara ayrılır. Termoset ve termoplastik polimerler olarak iki çeşidi vardır.

Polimer matris kompozit kullanmanın avantajları:

- Polimer matrisli kompozitler daha yüksek çekme dayanımına ve sertliğine sahiptir.
- Yüksek aşınma dayanımı
- Geleneksel malzemeye göre düşük maliyet

Polimer matris kompozitlerin dezavantajları:

- Düşük ısı direnç
- Ayırt edici termal genleşme katsayısı [42].

Polimer matrisli kompozitler'in özellikleri matris, takviye ve ara yüzey özelliklerine bağlıdır. Sonuç olarak, bu kompozitleri tasarlarken dikkat edilmesi gereken birçok değişken vardır. Bu değişkenler sadece matris ve takviye türleri ile ilgili değil aynı zamanda onların göreceli oranları, takviye geometrisi ve ara yüzey yapılarını kapsamaktadır. Bu değişkenlerin her biri, kullanılacak şartlar için optimize edilmiş bir yapısal malzeme üretmek için dikkatlice kontrol edilmelidir. Polimer kompozitler de sürekli fiber takviye fazı kullanılmasıyla anizotropik dediğimiz özellikler ortaya çıkar yani kompozitlerin mekanik özellikleri fiber yönüne göre farklılık gösterir. Polimer kompozitler liflerin yönüne paralel olarak gerildiğinde en kuvvetli ve liflere dik olarak gerildiğinde en güçsüz performansı sergiler. Takviye elemanı olarak süreksiz elyaflar veya parçacıklar kullanıldığında kompozitin özellikleri izotropik olma eğilimindedir. Çünkü içeriğindeki takviyeler rastgele yönlendirilmiş durumdadır. Bu tür kompozitler sürekli fiber kompozitlerin sağladığı üstün mukavemet getirisinden yoksundur ancak ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama gibi takviyesiz plastikler için geliştirilen teknolojilerle daha ucuz bir şekilde üretilebilirler.

### 2.2.2. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemeleri imal etmek için sayısız yöntem vardır. Bazı yöntemler ödünç alınmış (örneğin enjeksiyonlu kalıplama), ancak birçoğu belirli tasarımları veya üretim zorluklarını karşılamak üzere geliştirilmiştir. Bu nedenle, belirli bir parça için bir yöntemin seçimi malzemeye, parça tasarımına ve uygulamaya bağlıdır. Kompozit imalat işlemleri, matris ve takviyeyi şekillendirmek için bir kalıplama işlemi içerir. Şekillendirilmemiş reçine/fiber birleşimine sertleşmeden önce ve kurluşma sırasında şekil vermek için bir kalıp gereklidir. Termoset kompozitler için en temel imalat yöntemi elle yatırmadır. Elyafın kalıba döşenmesi ve elyaf yüzeyine reçine emdirilmesiyle uygulanan bir yöntemdir. Kompozitlere uygulanan birkaç kurluşma metodu mevcuttur. Bunlardan en basit olanı oda sıcaklığında kurluşmaya izin vermektir. Bununla birlikte, kurluşma işlemi tipik olarak basınç ve ısı uygulanarak hızlandırılabilir. Birçok yüksek performanslı termoset kurluşma için ısı ve yüksek basınç gerektirdiğinden otoklav kullanımını gerektirir.

### Açık kalıplama

Açık kalıplama ile tek parça kalıplarda kalıplama düşük maliyetlidir. Fiberglas kompozit ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılır. Tipik olarak tekne gövdeleri ve güverteleri için kullanılır. Nispeten büyük ve karmaşık olmayan şekillerin üretiminde tercih edilir.

### Reçine transfer kalıplama

Endüstri alanındaki artan hızlı üretim talebi elle yatırma yöntemine alternatif üretim yöntemi bulma gereksinimini oluşturmuştur. Yaygın olarak kullanılan alternatif reçine transfer kalıplamadır. Bazen sıvı kalıplama olarak da adlandırılır. Bu yöntemin faydaları etkileyicidir. İşlem, imalat sonrası gereksinimlerin çoğunu azaltarak kalın ve nihai şekle yakın parçalar üretebilir.

### Vakum destekli reçine transfer kalıplama

En hızlı gelişen yeni kalıplama teknolojisidir. Reçine transfer kalıplama yöntemi ile arasındaki temel fark bu yöntem de reçinenin bir vakum yardımıyla kalıp içerisine pompalanmasıdır. Vakum destekli reçine transfer kalıplama yüksek ısı veya basınç gerektirmez. Bu nedenle düşük maliyetli aletlerle çalışarak büyük ve karmaşık parçaların ucuz bir şekilde üretilmesini mümkün kılar.

### Basınçlı kalıplama

Basınçlı kalıplama, pahalı ancak çok dayanıklı metal kalıplar kullanan yüksek hacimli bir termoset kalıplama işlemidir. 10.000 parçanın üstünde üretim miktarı durumunda tercih edilebilecek bir yöntemdir.

### Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon kalıplama, hızlı, yüksek hacimli, düşük basınçlı ve çoğunlukla termoplastikler için kullanılan bir yöntemdir.

### Filament sarım

Filament sarım nispeten düşük malzeme maliyetleriyle tekrarlanabilir ve son derece otomatik olan sürekli bir imalat yöntemidir.

### Pultrüzyon

Pultrüzyon uzun zamandır cam elyafı ve polyester reçineleri ile kullanılmıştır, ancak son 10 yılda bu yöntem ileri kompozit uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Nispeten basit ve düşük maliyetli sürekli işlemde takviye maddesi olan elyaf, ısıtılmış bir reçine banyosundan çekilir ve daha sonra bir veya daha fazla şekillendirme kılavuzundan geçerken şekil verilir [44].

### 2.2.2.1. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Polimer matrisli kompozitlerin yapılabildiği birçok farklı elyaf ve matris göz önüne alındığında, Polimer matrisli kompozitlerin imalat konusu son derece geniş bir konudur.

Temel adımlar şunları içerir:

- 1) Elyafın reçineyle emdirilmesi,
- 2) Yapının oluşturulması,
- 3) Kürleme
- 4) Bitirme

Sürece bağlı olarak, bu adımlar ayrı şekilde veya sürekli olarak ortaya çıkar.

Tablo 2.1. Polimer Kompozitlerde Üretim Teknikleri [43].

Teknik	Özellikler	Örnek
Sıcak pres kalıplama	Hızlı, esnek, fiber paneller	Otomotiv gövdesi
Enjeksiyon Kalıplama	Hızlı, yüksek hacimli çok kısa lifler, termoplastikler	Dişliler
Reçine transfer kalıplama	Hızlı, karmaşık parçalar Elyafların iyi kontrolü	Otomotiv yapısal panelleri
Pultruzyon	Sürekli, sabit enine kesit	L-kirişler, sütunlar
Filament sarma	Orta hız, karmaşık geometriler	Uçak gövdesi, borular
Termal şekillendirme(gelecekte)	Hızlı ve kolay	

### 2.3. Polimer Matrisli Kompozitlerin Bileşenleri

Polimer matrisli kompozitler temelde matris ve takviye fazından meydana gelir ancak matris ve takviye arasındaki bağlanma kompozit özelliklerini oldukça etkilediği için ara yüzey bağlanması büyük öneme sahiptir.

#### 2.3.1. Matris Fazı

Matris özellikleri, polimer matrisli kompozit de yapının bozulmasına neden olan işlemlerin çoğunun direncini belirler. Bu işlemler arasında darbe hasarı ve yüksek sıcaklıktaki sürünme vb. bulunur. Bu nedenle, matris polimer matrisli kompozit yapısındaki tipik olarak zayıf halkadır. Polimer kompozitlerin matris fazı, karakteristik özelliklerine göre termoset veya termoplastik olarak sınıflandırılabilir. Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Termoset ve Termoplastik matrislerin genel özellikleri [43].

Matris tipi	Kullanılan sıcaklık	İşlem zamanı	Tokluk
Termoset . . . . .	Yüksek	Yüksek	Düşük
Toklaştırılmış termoset. . . . .	↑	↓	↓
Hafif çapraz bağlı termoplastik. . . . .	↑	↓	↓
Termoplastik. . . . .	Düşük	Düşük	Yüksek

#### 2.3.1.1. Termosetler

Termoset reçineleri polyesterleri, vinilester'leri, epoksi'leri ve poliamid'leri içerir. Termoset polyesterler, elyaf takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılır ve epoksiler, çoğu ileri kompozit uygulaması için kullanılır. Başlangıçta, bu reçinelerin

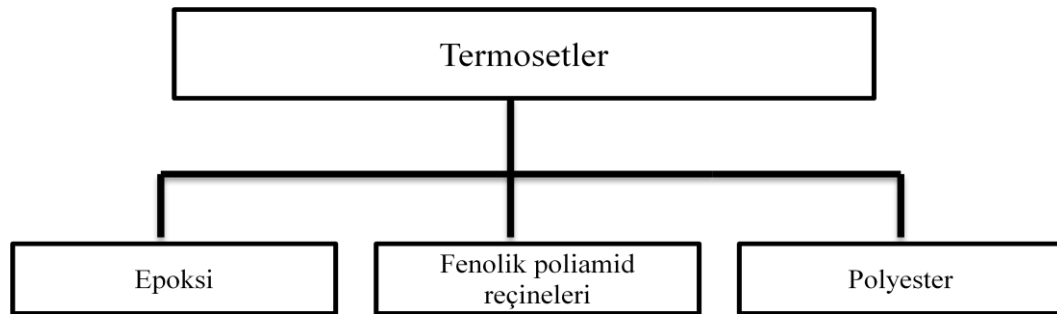
viskozitesi düşüktür fakat termoset reçineler, polimer zincirlerini çapraz bağlayan kimyasal reaksiyonlara girer ve böylece tüm matris üç boyutlu bir ağ yapısı haline gelir. Bu işleme sertleştirme denir. Termosetler, üç boyutlu çapraz bağlanmış yapıları nedeniyle yüksek boyutsal kararlılığa, yüksek sıcaklık direncine ve solvent'lere karşı iyi bir dirence sahip olma eğilimindedirler. Son dönemlerde, termosetlerin tokluğu ve maksimum çalışma sıcaklıklarının iyileştirilmesinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

#### Avantajları

- Termosetler ısı karşısında sıvı hale geçmeden bozunurlar.
- Sıcaklık arttığında çapraz bağlar sayesinde moleküller arası tutma iyidir.
- Daha iyi sürünme davranışı.

#### Dezavantajları

- Çapraz bağlanma kimyasal reaksiyonları nedeniyle üretim süreleri uzundur.
- İşlemi takip etmek daha zordur.
- Bazı polimerler gaz özellikle de su buharı açığa çıkarır.
- Sertleşme reaksiyonunun geri dönüşümsüzlüğü nedeniyle atıklar tekrar kullanılamaz [43].



Şekil 2.2. Termoset Polimerler.

#### **2.3.1.2. Termoplastikler**

Bazen mühendislik plastikleri olarak da adlandırılan termoplastik reçineler bazı polyesterleri, polieterimid, poliamid ve sıvı kristal polimerler gibi polimerleri içerir.

Termoplastikler, kimyasal açıdan bağımsız makro moleküllerle en basit moleküler yapıya sahiptir

- Isı ile yumuşatılır veya eritilir, ardından şekillendirilir ve soğutulduğunda katılaşır.



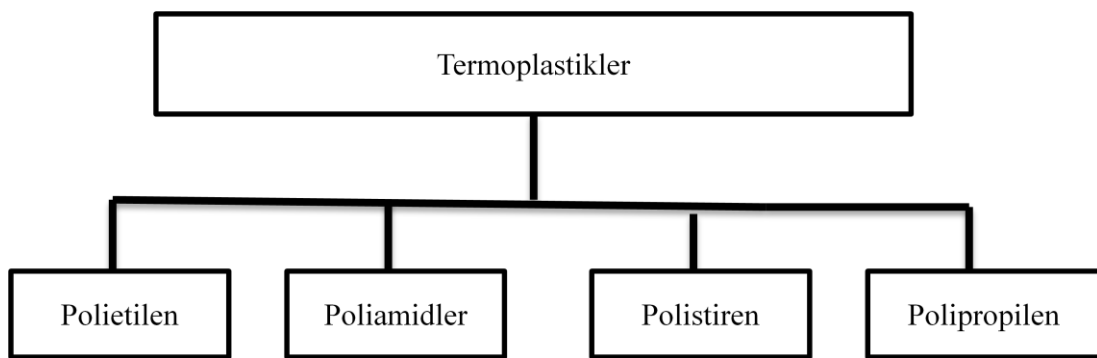
- Birden fazla ısıtma ve soğutma çevrimi ciddi hasar vermeden tekrarlanabilir, böylece yeniden işleme ve geri dönüşüme izin verir.
- Genellikle bazı katkı maddeleri veya dolgu maddeleri, termal veya kimyasal kararlılık ve UV direnci gibi spesifik özellikleri geliştirmek için termoplastik içerisine ilave edilir.
- Kısa, uzun veya sürekli lifler kullanılarak kompozitler elde edilir.
- Bazı termoplastikler çapraz bağlanabilir ve endüstriyel olarak iki şekilde de kullanılırlar örneğin; polietilenler.

#### Avantajları

- Isıtma yoluyla yumuşama veya erime.
- Çapraz bağlanma gibi kimyasal reaksiyon içermemesi nedeniyle işlem süreleri çok kısadır.
- Üretimi daha kolaydır.
- Termoplastikler, işlenmeden önce doğru şekilde kurutulursa gaz veya su buharı açığa çıkarmaz.

#### Dezavantajları

- Sıcaklık arttığında, makro moleküller arasındaki kimyasal bağların bulunmaması nedeniyle moleküller arasındaki tutma azalır.
- Aynı sebepten, süneklik davranışları termoset polimerler kadar iyi değildir.

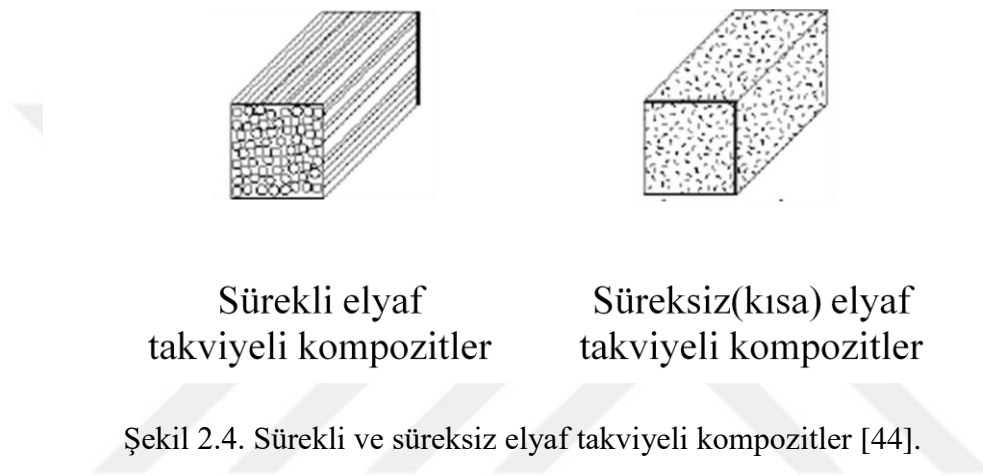


Şekil 2.3. Termoplastik Polimerler.

### **2.3.2. Takviye Fazı**

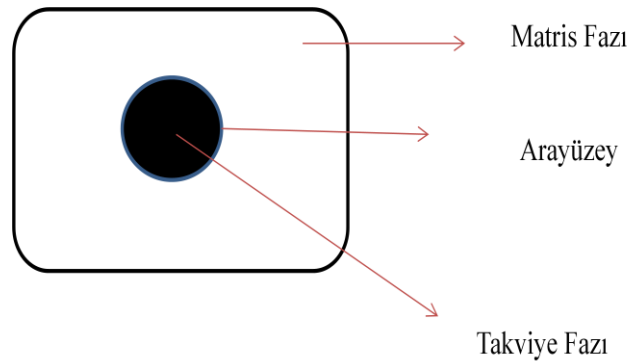
Takviye elemanının şekline ve yerleşimine bağlı olarak parçacık takviyeli, elyaf takviyeli, tabakalı ve karma yapılar gibi kompozit çeşitleri bulunmaktadır. Sürekli elyaf takviyeli kompozitler yüksek mukavemet ve sertlik özelliklerine sahiptir. Günümüzde

kullanılan en önemli elyaflar cam, grafit ve aramid elyafıdır. Yönlendirilmiş polietilen gibi diğer organik elyaflar da önemli hale gelmeye başlamıştır. Sürekli liflerden cam elyaf nispeten düşük bir sertliğe sahiptir fakat çekme dayanımı diğer elyaflarla rekabet edecek seviyede ve maliyeti çok daha düşüktür. Bu özellikleri sayesinde cam elyafların en çok kullanılan elyaf çeşidi olarak kalması muhtemeldir. Takviye fazı olarak elyaf kullanıldığı zaman elyafların formuna göre sürekli, süreksiz elyaf takviyeli olarak sınıflandırılabilir [43].



### 2.3.3. Ara yüzey

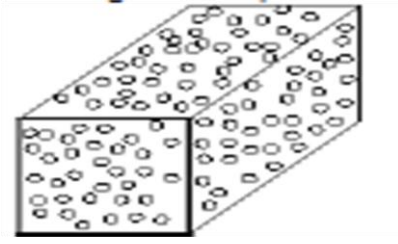
Polimer matrisli kompozitlerin ara yüzeyi matris ve takviye fazı arasındaki yükü ileten bölgedir. Takviye ve matris arasındaki ara yüzeyin kapsamı değişkendir ve güçlü kimyasal bağlardan zayıf sürtünme kuvvetlerine kadar değişebilir. Bu genellikle takviye elyafları üzerinde uygun bir kaplama kullanılarak kontrol edilebilir. Genellikle güçlü ara yüzey bağları polimer matrisli kompozitleri daha rijit fakat kırılğan hale getirir. Zayıf ara yüzey bağı sertliği azaltır fakat tokluk kazandırır. Eğer ara yüzey bağı en az matris malzemesi kadar dayanıklı değilse belirli yükleme koşullarında ara yüzey bağlarında kopma görülebilir. Ara yüzey bağının karakteri polimer matrisli kompozitin yorulma davranışlarını belirlemede, sıcak ve soğuk koşullara olan direncini belirlemede önemlidir [43].



Şekil 2.5. Kompozit içerisinde ara yüzeyin şematik gösterimi.

#### 2.4. Partikül Takviyeli Polimer Kompozitler

Mekanik ve termal kararlılık havacılık, mekanik ve inşaat sistemleri için hafif kompozit yapıların geliştirilmesinde çok önemlidir. Polimer matrisin mekanik ve ısı kararlılığını geliştirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Son zamanlarda, polimer kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmek için çeşitli dolgu maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü dolgu malzemeleri polimer malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirebilir [45]. Mekanik veya termal özelliklerdeki çarpıcı gelişmelerin, mikro veya nano boyutta silisyum dioksit, alüminyum oksit, kalsiyum karbonat, karbon nano tüp gibi parçacık boyutlu dolgu maddelerinin eklenmesiyle elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu çeşitli takviye maddeleri arasında seramik partiküller young modülünün, kırılma tokluğunun ve termal kararlılığını iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi seramik partiküllerin izotropik olması, göreceli olarak yüksek mukavemet ve sertlikleri ayrıca düşük termal genişleme katsayıları ve düşük maliyetleridir [45-46]. Partikül takviye maddeleri, polimerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini birçok yönden değiştirir. Sertlik veya young modülü, mikro veya nano partiküller eklenerek kolayca geliştirilebilir, çünkü sert inorganik partiküller genellikle polimer matrislerden çok daha yüksek bir sertliğe sahiptir. Bununla birlikte kompozitin dayanımı güçlü bir şekilde parçacıklar ve matris arasındaki yük transferine bağlıdır. İyi bağlanmış matris ve partiküller de uygulanan gerilim matris fazında parçacıklara etkili bir şekilde aktarılabilir böylece dayanımı artırır. Fakat zayıf bağlı mikro partiküllerde partikül ilavesiyle dayanım da azalma görülebilir. Termoset reçineler çatlaklara karşı zayıf direnç göstermektedir ancak inorganik partiküllerin termoset reçinelerin tokluğunu arttırmada etkili olduğu bulunmuştur.



Partikül takviyeli  
kompozitler

Şekil 2.6. Partikül takviyeli kompozitlerin şematik görünümü.

Partikül takviyeli polimer kompozitlerin özellikleri

- Partikül boyutuna
- Ara yüzey bağlanmasına
- Partikül dolgusuna bağlıdır.

Parçacık boyutunun mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Partikül-matris ara yüzey bağı ve parçacık yükleme mekanik özellikleri etkileyen diğer iki önemli faktördür. Bu yüzden parçacık ve matris arasındaki bağlanmayı arttırmaya yardımcı olan yüzey iyileştirme yöntemlerinin kullanılması kompozite mukavemet artışı sağlar [47].

## 2.5. Poliamid 6 (PA6)

Poliamid'ler mühendislik termoplastikleri olarak bilinen malzemelerdir. Alifatik poliamid'ler naylon 66 ve naylon 6 gibi doğrusal polimerlerdir ve dolayısıyla termoplastiklerdir. PA6'nın kimyasal gösterimi  $-[HN(CH_2)_6CO]_n$  şeklindedir.

### PA6 Özellikleri

- Sürünme mukavemeti, sertlik, tokluk gibi mekanik özelliklerin iyi bir birleşimidir.
- İyi aşınma direnci
- Kendi kendini yağlama özellikleri
- İyi elektriksel yalıtıkcandırılar ancak elektriksel özellikleri içerisindeki nemden etkilenir.
- Yağlara ve kimyasallara karşı direnç
- Zehirli değildir

- PA6 iyi mekanik dayanımı ve sağlamlığı sayesinde birçok yapısal uygulamada kullanılmaktadır.
- Enjeksiyon, ekstrüzyon gibi geleneksel üretim teknikleriyle kolayca üretilebilir.

Uygulamaları: Otomotiv parçaları, tekerlekli patenlerde, halı, bisiklet parçaları, mutfak eşyaları, spor malzemeleri [48].

## 2.6. Seramik Mikro küreler (SM)

Seramik Mikro küreler benzersiz, yarı saydam, beyaz renkli, ince parçacık boyutlu, yüksek mukavemetli mikro kürelerdir. Seramik Mikro küreler Beyaz Grade W-210, alkali alümina silikat seramikten yapılmıştır ve en küçük yüksek mukavemetli seramik parçacıklarından biridir. Kontrollü bir parçacık büyüklüğü dağılımına sahiptir. Bu Seramik mikro kürecikler, viskozite kontrolü gibi istenen özellikleri muhafaza ederken daha yüksek dolgu yüklemelerine izin verir. Ayrıca, bu işlenmiş parçacıklar yanıklara karşı dayanıklılık sağlamak için birçok boyaya ve endüstriyel kaplamaya eklenmektedir. Seramik Mikro küreler yüksek mukavemetli, iç sertliği olan inert ince parçacıklardır. Mikro küreler boya ve kaplama uygulamalarında birçok avantaj sunar ve maliyetleri düşürmek, özellikleri geliştirmek ve işlenebilirliği geliştirmek için tasarlanmıştır [49].

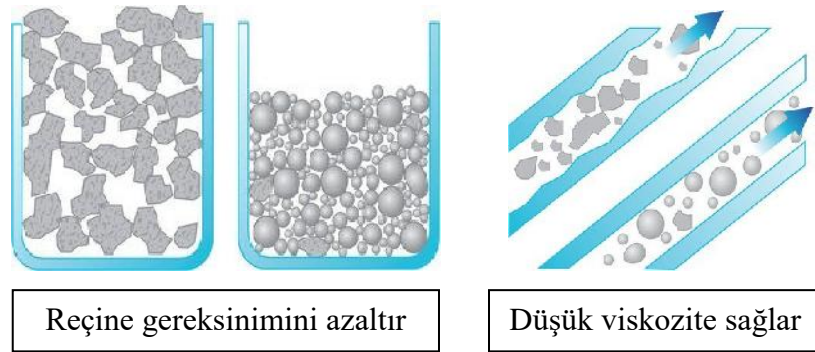
Özel avantajları şunlardır:

### 1. Düşük viskozite ve geliştirilmiş akış

Birçok düzensiz şekilli dolgu malzemesinin aksine, seramik mikro küreler, bilyeli yataklara benzer şekilde birbiri üzerinde kolaylıkla yuvarlanır. Bu, daha düşük viskoziteye, daha iyi akışa ve geliştirilmiş püskürtülebilirliğe katkıda bulunur.

### 2. Maliyetleri azaltmak için daha yüksek dolgu yükleme

Herhangi bir şeklin en düşük yüzey alanından hacim oranına kadar, seramik mikro küreler reçine talebini azaltmaya ve hacim yükleme kapasitesini artırmaya yardımcı olabilir. Daha küçük küreler, ambalajı geliştirmek ve maliyetleri azaltmak için daha büyük olanları arasında boşlukları doldurabilir.



Şekil 2.7. Seramik mikro küre özellikleri.

### 3. Yanma direnci ve sertliği

Mohs 6 sertliği ve küresel şekli, bitmiş yüzeydeki yanık dayanımının ve sertliğinin artmasına katkıda bulunur. Sıradan dolgu maddeleri, yüzeydeki yumuşak veya pürüzlü parçacıklar ile o Küresel bir dispersiyona sahip toz kaplama, sıklıkla kırılma veya aşınma için malzeme kullanımını geliştirir.

### 4. Bariyer etkisi

Sertlik ve inertlik ile birleştirilen sıkı parçacık paketlemesi, havaya, korozyona ve kimyasallara karşı dayanıklı, düşük geçirgenliğe sahip bir film bariyeri oluşturur.

### 6. Inert ve kristal silika içermez

İnert bileşimleri nedeniyle, Seramik Mikro küreler çeşitli kimyasallara dayanıklıdır. Katı seramik mikro küreler, x-ışını kırınımı (XRD) teknolojisi ile belirlendiği üzere saptanabilir kristalin silika içermez.

Seramik mikro küreler kendiliğinden serttir. Boya ve kaplamalar da maliyeti düşürürken dayanıklılık ve işlenebilirliği artırır. Seramik mikro küreler şekil ve parçacık büyüklüğü dağılımlarından dolayı düşük reçine gerektirir. Ayrıca, yüksek dayanım ve iç sertlik gibi özelliklerinin yanında seramik mikro küreler boyalı yüzeyleri daha dayanıklı ve cilalamaya karşı dirençli hale getirir. Seramik mikro kürelerin kaplama ve boya sektöründe kullanılma nedenleri

- Boya performansını ve ömrünü artırma,

- Maliyetleri düşürmeye yardımcı olmak için geliştirilmiş paketleme ve daha yüksek dolgu maddesine izin verme,
- İstenilen özellikleri korurken reçine talebini azaltıcı etki göstermesi seramik mikro kürelerin kaplama ve boya sektöründe kullanılmasına sebep olan etkenler arasındadır

Seramik mikro kürecikler cam kürelere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Fakat ucuzluğu, rijitliği ve dayanımlı yüzeyleri sayesinde mekanik olarak daha dirençlidirler. SM'ler tüm küresel malzemeler de olan en yüksek paketleme yoğunluğuna sahiptirler. Ayrıca SM'ler dielektrik sabitini azaltırlar. Cam kürelerden daha rijit olmasına rağmen karıştırma ve dağıtma sırasında özel önlemler alınmasını gerektirirler [49].

Tablo 2.3. Seramik mikro kürelerin Özellikleri.

Adlandırmalar: Seramik küreler, Seramik mikroküreler		
Kimyasal Bileşimi: Alkali Alumina Silikat Seramik SiO <sub>2</sub> -%55-65, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -%25-38, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -%0.5-5		
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ		
Yoğunluk: 0.08-2.5 g/cm <sup>3</sup>	Mohs Sertliği: 5-7	Yumuşama Noktası: 980-1400
Termal İletkenlik: 0.23 W/Mk	Basma Dayanımı: 400 MPa	Maksimum Çalışma Sıcaklığı: 500-1000 psi
KİMYASAL ÖZELLİKLERİ		
Kimyasal Direnci: Yüksek kimyasal direnç	Nem İçeriği: %0.2-0.5	
OPTİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ		
Renk: Beyaz, Gri	Dielektrik Sabiti: 1.6	
MORFOLOJİ		
Parçacık Şekli: Küresel	Parçacık Boyutu: 1-850µm	
Dış Kalınlığı: %10 Çap	Spesifik Yüzey Alanı: 0.1-1.1 m <sup>2</sup> /g	

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

#### 3.1. Malzemeler ve Yöntemler

##### 3.1.1. Kullanılan Malzemeler

Kullanılan Poliamid 6 (PA6), 35 g/10 dak (230 °C/2.16 kg yükte, ASTM D1238) ergiyik akış hızına (MFR), 1.14 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa (ASTM D1505) ve 220 °C ergime sıcaklığına sahiptir. Alkali alümina silikat yapılı W-210 seramik mikro kürecikler (SM'ler) 3M Company'den (ABD) satın alınmıştır. SM'lerin gerçek yoğunluğu, kütle yoğunluğu, sertliği ve yumuşama sıcaklığı sırasıyla 2.4 g/cm<sup>3</sup>, 1.5 g/cm<sup>3</sup>, 6 (mohs ölçeği) ve 1020 °C'dir. SM'lerin tahmin edilen kimyasal bileşimi %55-65 SiO<sub>2</sub>, %25-38 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0.5-5 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'tür. SM'lerin partikül boyut dağılımı Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. SM'lerin Partikül Boyut Dağılımı [49].

Dağılım	Partikül boyutu (µm)
90 <sup>th</sup> persentil	12
50 <sup>th</sup> persentil	6
10 <sup>th</sup> persentil	2

##### 3.1.2. PA6 Matrisli Seramik Mikro küre Katkılı Kompozitlerin Sentezi

PA6/SM kompozitler,  $D=16$  mm vida çaplı ve 40 uzunluk/çap ( $L/D$ ) oranlı vidaları aynı yönde dönen çift vidalı bir ekstrüder (Gülner, Türkiye) ile ergiyik harmanlama tekniği ile üretilmiştir. Tablo 3.2'deki gibi ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 SM'ler kullanılmıştır.

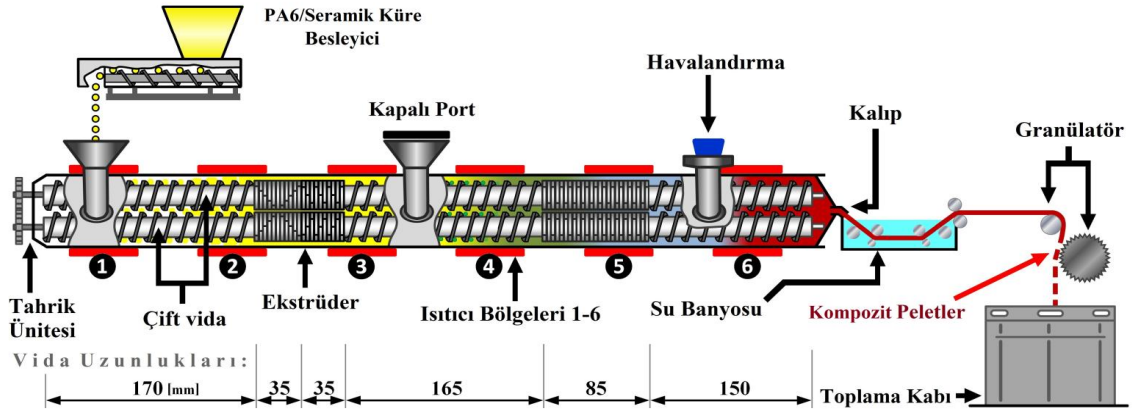


Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Numunelerin Bileşimi.

Numune Kodu	PA6 (ağ.%)	SM (ağ.%)
PA0	100	0
PA10	90	10
PA20	80	20
PA30	70	30
PA40	60	40

İşlemden önce SM'ler, (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES) kullanılarak kompozitlerin ara yüzeyini ve dolayısıyla mekanik özelliklerini geliştirmek için silanlama işlemine tabi tutulmuştur. Silanlama işlemi öncesinde APTES, su/etanol karışımı (50/50 %ağ.) içinde çözülmüştür. Çözelti, SM'leri çözeltiye eklemeyen önce 85°C'de manyetik karıştırıcıyla 400 dev/dak'da 10 dak boyunca karıştırılmıştır. Bundan sonra, SM'ler çözeltiye ilave edilmiş ve yaklaşık 5 saat boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. Karıştırmanın ardından, çözelti yaklaşık 30 dak boyunca dinlendirilmiş, çöken parçacıklar etanol ile yıkanmış, 100 °C'de 24 saat süreyle kurutulmuş ve kullanılıncaya kadar ağzı kapalı plastik torbalarda saklanmıştır.

Karıştırılmadan önce, PA6 ve SM'ler, 24 saat boyunca 80 °C'de yapıdaki nemi almak çıkarmak için tekrar kurutulmuşlardır. Ekstrüder cihazında bulunan altı sıcaklık bölgesinin (beslemeden kalıp çıkışına doğru) sıcaklıkları sırası ile 50, 200, 210, 220, 230 ve 230 °C olarak ayarlanmıştır. Eriyik olarak ekstrüderden çubuk formunda çıkan karışım oda sıcaklığındaki bir su banyosundan geçirilerek soğutulmuş ve katılaşması sağlanmıştır. Boyutlarının küçültülmesi için bir freze bıçaklı peletleyici kullanılarak kırılmış ve granül haline dönüştürülmüştür. Kompozit peletler, kalıplamadan önce tekrar 12 saat boyunca 80 °C'de kurutulmuş ve homojen bir karışım oluşturmak için bir kaşıkla karıştırılmışlardır. Bundan sonra, pelet formundaki kompozitler bir mikro enjeksiyon kalıplama cihazı (Xplore IM 12, Hollanda) kullanılarak enjeksiyon kalıplama ile çekme, eğme, dinamik mekanik analiz ve aşınma testleri için kullanılacak numune boyutlarına kalıplanmışlardır. Kovan ve kalıp sıcaklığı sırası ile 240 °C ve 20 °C ve enjeksiyon basıncı ise 7 bar olarak ayarlanmıştır. Ayrıca saf PA6 da kontrol numunesi olarak aynı şartlarda enjeksiyonda basılarak kalıplanmıştır.



Şekil 3.1. Ekstrüzyon cihazının şematik görünümü.

### 3.1.3. Yapısal Karakterizasyon

APTES uygulamasının SM'ler üzerindeki etkisini analiz etmek için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) (PerkinElmer Spotlight 400, ABD) kullanılmıştır. Kompozitlerin ve SM'lerin kristal yapıları, X-ışını kırınımı (XRD) ile  $\text{CuK}\alpha$  radyasyonu kullanılarak bir X-ışını difraktometresi (Bruker AXS-D8 Advanced, Almanya) ile incelenmiştir. Numuneler  $0.02^\circ$ 'lik bir adımda ve kırınım açısı  $2\theta = 5-75^\circ$  arasında, 1 sn'lik aralıklarla taranmıştır.

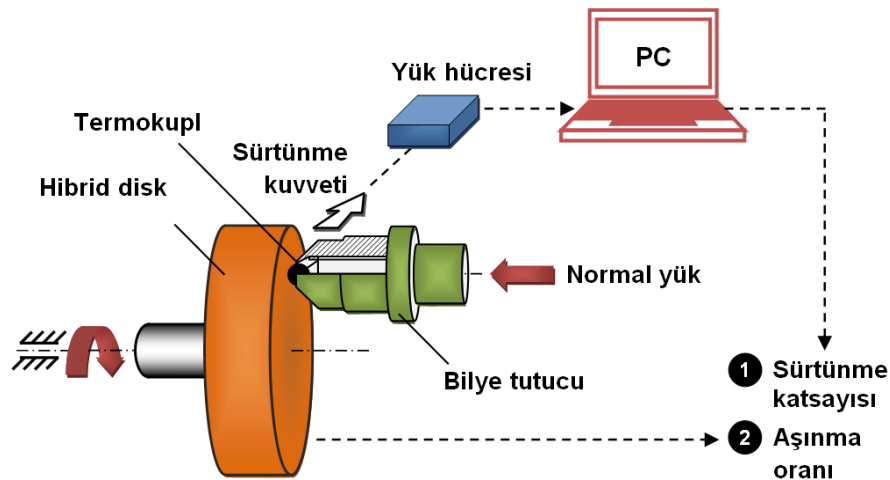
### 3.1.4. Mekanik Karakterizasyon

Kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme, eğme (üç-nokta eğme) ve dinamik mekanik analiz (DMA) testleri yapılmıştır. Sırasıyla ASTM D638 ve ASTM D790 standartlarına uygun olarak yapılan çekme ve eğme testlerinde, 50 kN'luk yük hücreli olan Shimadzu AG-XD (Shimadzu Corporation, Japonya) mekanik çekme/basma test cihazı kullanılmıştır. Çekme testleri, köpek kemiği (dog-bone) (tip-V) şeklinde olan örnekler üzerinde 5 mm/dak'lık bir hızda,  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Eğme testleri ise  $12.7 \times 125 \times 3.2 \text{ mm}^3$  boyutundaki numuneler üzerinde, 80 mm mesnet açıklığı ve 5 mm/dak'lık eğme hızında gerçekleştirilmiştir. Her bir test için ortalama bir değer elde etmek için üç örnek kullanılmış ve standart sapmalar hesaplanmıştır. DMA deneyleri, tek mesnetli eğme modunda (1 Hz frekans), PerkinElmer DMA 8000 (PerkinElmer, Inc. ABD) cihazı ile gerçekleştirilmiş ve testlerde  $4 \times 29 \times 3.2 \text{ mm}^3$  boyutundaki numuneler kullanılmıştır. Sıcaklık modu, 10

°C/dak'lık bir ısıtma hızında, -50 ila +200 °C arasında değiştirilerek testler tamamlanmıştır. Ek olarak, kompozitlerin sertlik değerleri, numunelerin sertlik ve aşınma özellikleri arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için ASTM D2240 standardına uygun bir Shore D sertlik test cihazı (Bareiss HPE II, Almanya) ile ölçülmüş ve her örnek üzerinden sekiz rastgele sertlik ölçümü alınarak ortalamaları hesaplanmıştır.

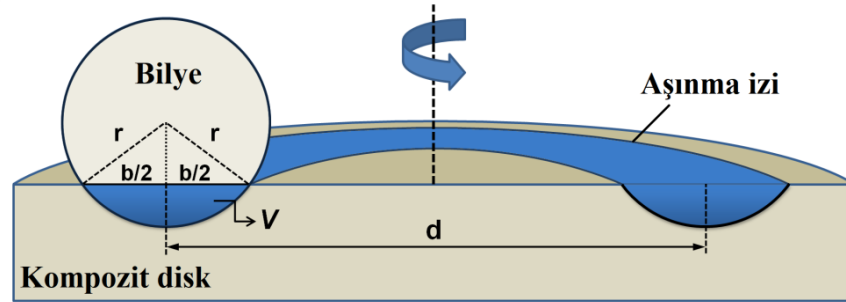
### 3.1.5. Sürtünme ve Aşınma Testleri

Sürtünme ve aşınma testleri, ASTM G99'a göre kuru kayma şartları altında bir ball-on-disc tribometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma test düzeneğinin şematik hali Şekil 3.2'de görülmektedir. Yaklaşık 8 mm kalınlığında ve Ø29 mm çapındaki disk numunelerin bir yüzü yaklaşık 7.5 mm kalınlığa ininceye kadar silisyum karbür (SiC) zımpara kağıdı ile ( $R_a=0.22 \mu\text{m}$ 'ye kadar) parlatılmış ve değişken hızda bir motorla tahrik edilen dikey döner bir tabla üzerine sabitlenmiştir. Aşınma testlerinde karşı malzeme olarak Ø5 mm çapında silisyum nitrür ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) bilyeler kullanılmıştır. Bilye malzemesi, yüksek sertliği ve tez çalışmasında kullanılan malzemelere karşı non-reaktif özelliğinden dolayı tercih edilmiştir. Hareketsiz bilye, döner diskin yatay pozisyonda kullanıldığı geleneksel pin/ball-on-disc aşındırma sistemlerinden farklı olarak, dikey döner diske karşı bir destek mekanizması kullanılarak yatay olarak yüklenmiştir. Benzer test düzeneğinin kullanıldığı farklı malzemeler üzerinde yapılan çalışmalara literatürde rastlanmaktadır [50-51]. Konfigürasyonun temel avantajı, aşınma oranı ve mekanizmasını değiştiren aşınma izindeki aşınma kalıntılarının ve ürünlerinin (yani 3. elemanların) ortamdan uzaklaştırılabilmesidir [52].



Şekil 3.2. Ball-on-disc test düzeneğinin şematik gösterimi.

Numunelerin sürtünme katsayıları (CoF), 30 N kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülen sürtünme kuvveti değerlerinden hesaplanmıştır. Yük hücresinden çıkış voltaj bir dijitalleştirici modüle (Mantracourt DSCSUEASC, UK) aktarılmış ve veri toplamak için bir yazılım (Instrument Explorer versiyon 1 build 6.8, UK) kullanılmıştır. Ortalama sürtünme katsayıları ( $\mu_s$ ) kararlı hal davranışının gözlemlendiği noktadan itibaren test süresinin sonuna kadar ölçülen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Uygulanan normal yük 5 N, aşınma izinin merkezindeki kayma hızı 0.633 m/s (1100 d/d disk hızına karşılık gelmektedir) ve toplam kayma mesafesi 380 m'dir (10 dak'lık test süresine karşılık gelmektedir). Tüm testlerde iz çapı 11 mm'de sabitlenmiştir. Aşınma testleri atmosfer şartlarında (nispi nem: %30  $\pm$  2) ve oda sıcaklığında (22  $\pm$  2 °C) gerçekleştirilmiştir. Testlerden önce karşı bilye ve numuneler etil alkolle temizlenmiş ve temiz basınçlı hava ile kurutulmuştur. Aşınma hacim kaybı ve aşınma oranı değerleri sırasıyla Denklem 3.1 ve 3.2 kullanılarak Şekil 3.3'te gösterilen temas geometrisine göre hesaplanmıştır. Numunenin hacim kaybının belirlenmesi aşınmış dairesel izin kesit alanı ve çevresinin çarpımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Tribo çiftlerin temas geometrisi.

$$V = \left[ \frac{\pi r^2}{180} \arcsin \left( \frac{b_a}{2r} \right) - \frac{b_a}{2} \sqrt{r^2 + \frac{b_a^2}{4}} \right] \pi d \quad (3.1)$$

$$K = \frac{V}{P L} \quad (3.2)$$

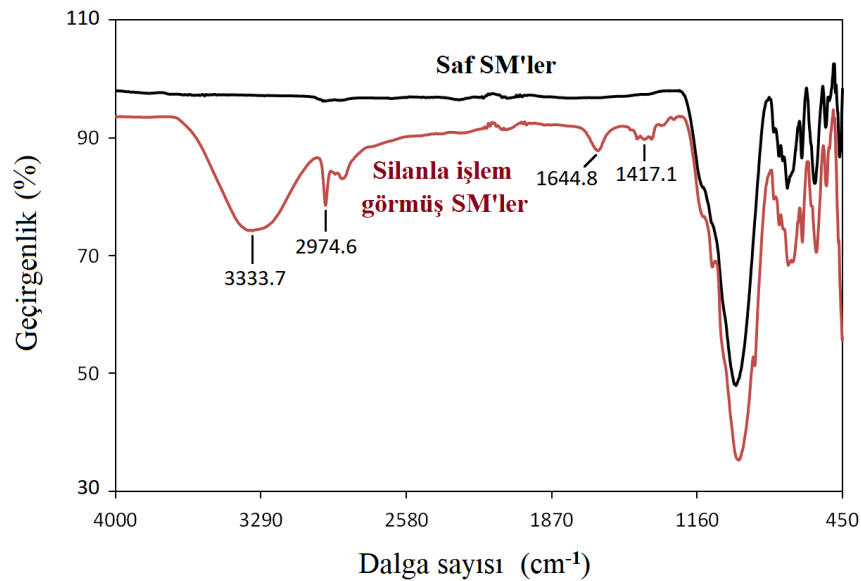
Eşitliklerde;  $r$  aşındırma bilyesi yarıçapı (mm),  $b$  optik mikroskop ile gözlemlenen aşınma izi genişliği (mm),  $d$  aşınma izinin çapı (mm),  $V$  aşınma hacim kaybı ( $\text{mm}^3$ ),  $K$  aşınma oranı değeri ( $\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$ ),  $P$  uygulanan yük (N) ve  $L$  kayma mesafesidir (m).

Tribo-testlerden sonra, kompozitlerin aşınma yüzey morfolojilerinin analizi için optik mikroskop (Carl Zeiss Microscopy) kullanılmış ve aşınma mekanizmaları karşılaştırılarak analizleri yapılmıştır.

### 3.2. Test Sonuçları ve Tartışma

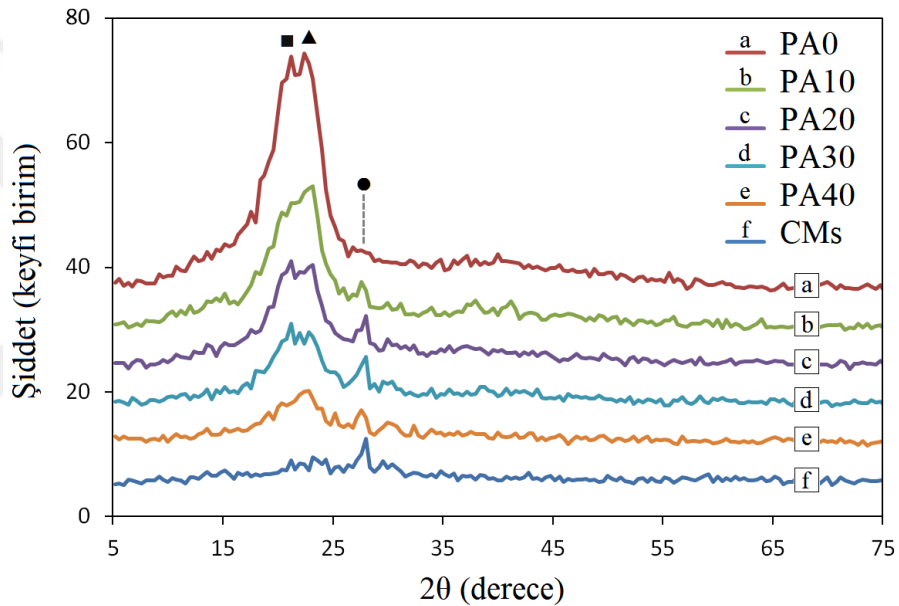
#### 3.2.1. Yapısal Özellikler

Saf ve modifiye edilmiş SM'lerin FT-IR spektrumları, Şekil 3.4'te görülmektedir. Silanlanmamış SM'ler, yaklaşık  $1000\text{ cm}^{-1}$  ve  $560\text{ cm}^{-1}$ 'de, T-O-Si (T: Al veya Si) bağlarının asimetrik ve simetrik gerilme titreşimine karşılık gelen pikler göstermektedir. Yaklaşık  $720\text{ cm}^{-1}$ 'deki spektrum, Si-O-Si ve Al-O-Si bağlarının simetrik gerilme titreşimine karşılık gelmektedir [53]. APTES ile işlem gören SM'lerin spektrumu, yaklaşık  $3330\text{ cm}^{-1}$ ,  $2970\text{ cm}^{-1}$ ,  $1640\text{ cm}^{-1}$  ve  $1417\text{ cm}^{-1}$ 'de farklı pik noktalarına sahiptir. Yaklaşık  $1417$  ve  $2970\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler sırasıyla C-N ve C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. Yaklaşık  $1640\text{ cm}^{-1}$ 'deki geniş pik, serbest amino grubunun göstergesi olan N-H gerilme titreşimine bağlanabilir. Yaklaşık  $3330\text{ cm}^{-1}$ 'deki geniş pik ise, amine H-bağlarının N-H asimetrik gerilmesine karşılık gelmektedir. Bu durum, SM yüzeyi ile olası bir  $\text{NH}_2$  etkileşiminin göstergesidir [54]. Sonuç olarak, APTES moleküllerinin SM yüzeyi üzerine başarılı bir şekilde bağlandığı söylenebilir.



Şekil 3.4. Saf SM'ler ve silanlı SM'lerin FT-IR analiz sonucu.

Saf polimerin ve kompozitlerin XRD pikleri Şekil 3.5'te görülmektedir.  $20.0^\circ$  (■) ve  $22.32^\circ$  (▲) ( $2\theta$ ) gözlenen pikler sırasıyla [200] ve [002]  $\alpha$ -kristali yansımalarına karşılık gelmektedir [55,56]. Kompozitlerde SM içeriği arttıkça PA6 karakteristik piklerinin şiddetlerinin azaldığı açık bir şekilde görülebilmektedir. Diğer bir ifadeyle, SM'lerin yapıya ilavesi ile PA6'nın kristalinitesi azalmakta ve nispeten amorf bir yapıya yaklaşılmaktadır. Bununla birlikte, CM'lerin yapıya girişiyle birlikte yaklaşık  $28^\circ$ 'de (●) birbirine çok yakın olan kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve müllit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$  veya  $2\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ) piklerinin oluşmaya başladığı da görülmektedir.

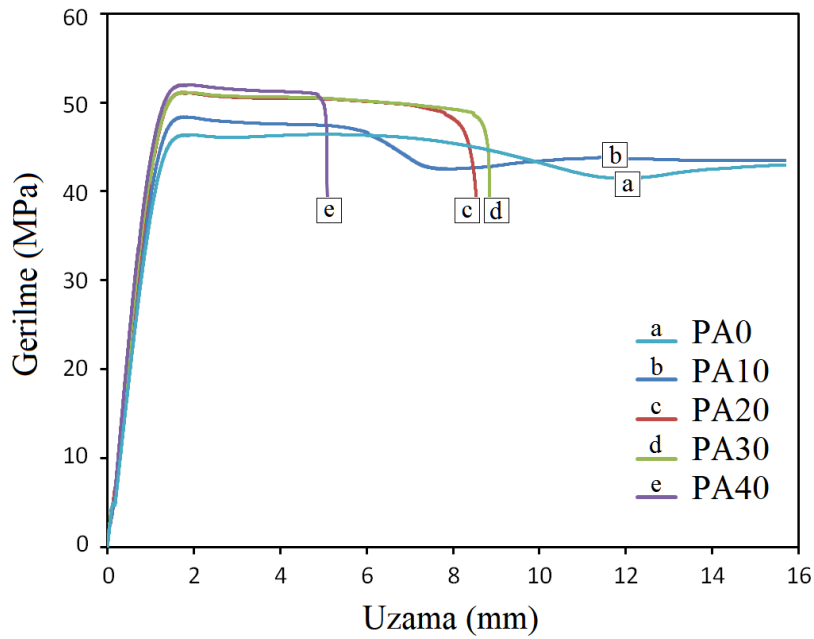


Şekil 3.5. Saf PA6 ve kompozitlerin XRD grafikleri.

### 3.2.2. Çekme Özellikleri

Saf PA6'nın ve SM takviyeli kompozitlerin çekme gerilmesi-gerinim eğrileri Şekil 3.6 ile gösterilmektedir ve ilgili çekme testi verileri Tablo 3.3'te listelenmiştir. Poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini oluşturur. Naylon türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından en üstün özellikli olanı PA6'dır. PA6 sert bir plastiktir. SM'ler de en küçük yüksek mukavemetli seramik parçacıklarından biridir. Bugüne kadar SM'lerin takviye fazı olarak kullanımına rastlanılmamıştır. PA6 polimeri içerisinde takviye fazı olarak kullanılmasının kompozitin mukavemet özelliklerinde bir artışa yol açması beklenir. PA6'ya yapılan SM takviye oranı artışıyla paralel olarak çekme dayanımı ve çekme modülü özelliklerinde de artış görülmektedir.

En yüksek çekme dayanımı ve modülü değerleri PA40 için sırasıyla 52 MPa ve 1.4 GPa olarak bulunmuştur. Bu değerler PA0 ile kıyaslandığında sırasıyla %10 ve %25 daha yüksektir. Kopma uzaması değerleri ise PA0 ve PA40 için sırasıyla %358'den %22'ye düşme eğilimi göstermiş, PA10 ise saf PA6'ya benzer dayanım ve uzama davranışları göstermiştir. Kompozitlerin Shore D sertlik değerleri de artan SM konsantrasyonuyla birlikte artmaktadır. Çekme mukavemeti göz önüne alındığında, elyaf takviyeli kompozitler parçacık takviyeli kompozitlere göre daha fazla tercih edilmektedir.



Şekil 3.6. Saf PA6 ve kompozitlerin çekme gerilmesi-uzama eğrileri.

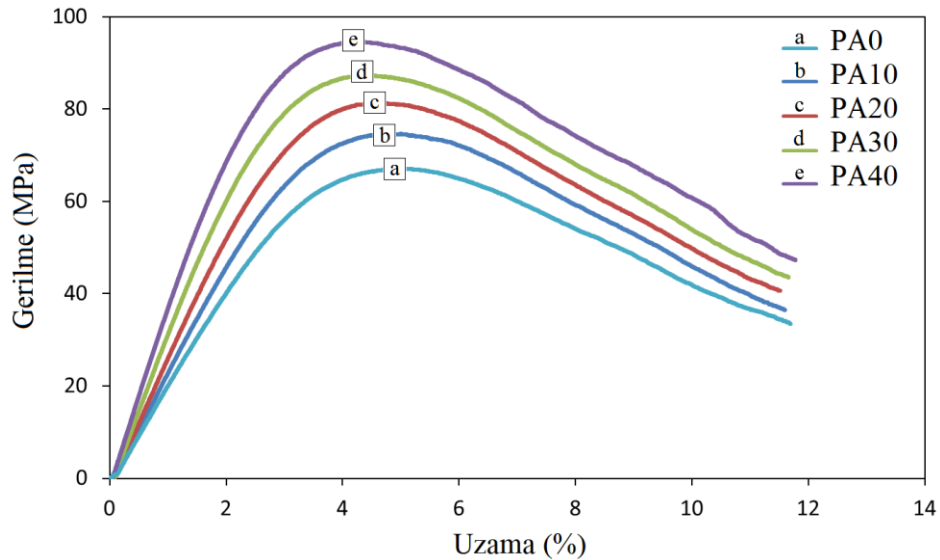
Tablo 3.3. PA6/SM Kompozitlerin Mekanik Özellikleri.

Numune kodu	Çekme Özellikleri			Eğme Özellikleri		Sertlik
	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Eğme Mukavemeti (MPa)	Eğme Modülü (GPa)	Shore D
PA0	46.93 ± 0.76	1.11 ± 0.05	358.15 ± 2.7	68.82 ± 2.49	2.21 ± 0.07	76.5 ± 0.98
PA10	48.26 ± 0.08	1.11 ± 0.22	193.79 ± 39.6	76.54 ± 2.70	2.51 ± 0.05	75.3 ± 0.46
PA20	51.15 ± 0.01	1.13 ± 0.16	50.66 ± 27.2	79.90 ± 1.18	2.84 ± 0.02	75.7 ± 0.35
PA30	50.94 ± 0.31	1.19 ± 0.19	39.62 ± 6.0	86.05 ± 1.23	3.35 ± 0.05	79.2 ± 0.88
PA40	51.91 ± 0.11	1.39 ± 0.17	21.90 ± 1.6	94.67 ± 0.32	3.99 ± 0.03	81.5 ± 0.74

Dahası, kritik uzunluktan daha kısa elyafların kullanılması, fiber ve matris arasındaki gerilme transferi verimini düşürebilir ve ayrıca fiber uç sayısındaki artış çatlak başlatıcı olarak işlev görebilir, yani kompozitlerin mekanik özelliklerini zayıflatabilir. Fakat bununla birlikte, SM'lerin PA6'ya dâhil edilmesi rijitliği arttırdığı için çekme özelliklerinde de artış gözlenmiştir.

### 3.2.3. Eğme Özellikleri

Üç nokta eğmede, numunelerin alt ve üst yüzeyleri sırasıyla çekme ve basmaya maruz kalmaktadır [57]. Saf polimer ve kompozitlerin eğilme gerilme-uzama eğrileri Şekil 3.7 ile gösterilmektedir ve ilgili test verileri Tablo 3.3'te özetlenmektedir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi tüm numuneler belirli bir deformasyon ve gerilmeden sonra bir en üst gerilim taşıma kapasitesine ulaşmaktadır, bu seviyeden sonra ise gerilim taşıma kapasitesi düşmektedir. Saf PA6 ve kompozitlerindeki SM yüzde oranının, eğme dayanımı üzerindeki etkisi, çekme testi sonuçlarıyla aynıdır. Kompozitteki takviye fazı içeriği arttıkça kompozitin daha üstün mekanik özellikler sergilediği görülmektedir. En yüksek eğme dayanımı ve modülü değerleri %40 SM konsantrasyonlu kompozitte sırasıyla 95 MPa ve 4 GPa olarak bulunmuştur. PA40'ın eğme dayanımı ve eğme modülü değerleri saf PA6'ya kıyasla sırasıyla %38 ve %80 daha yüksektir. Çekme özelliklerinde belirtildiği gibi, bunun numunelerin yüksek eğme özelliklerini destekleyen yüksek rijitlikten kaynaklandığı düşünülmektedir.

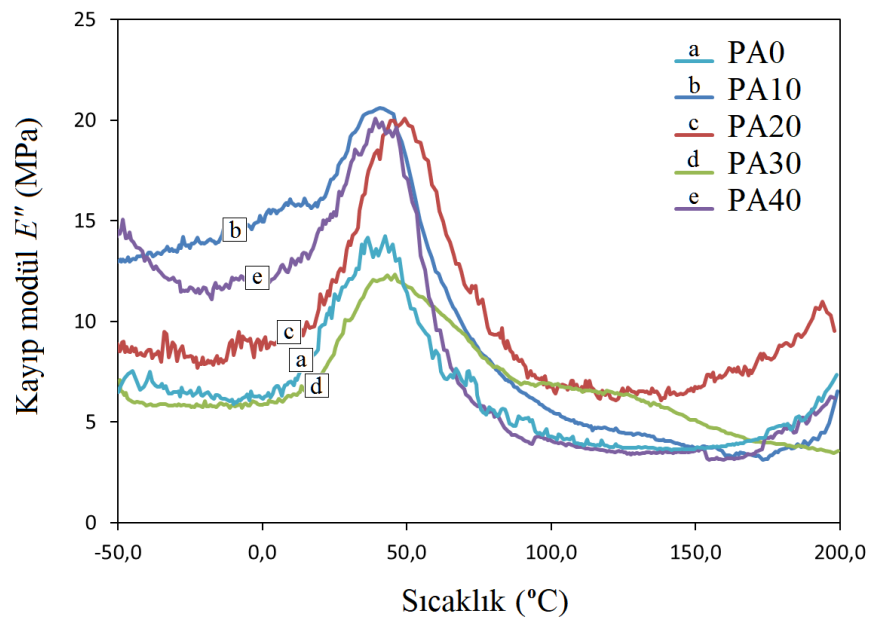


Şekil 3.7. Saf PA6 ve kompozitlerin eğme gerilmesi-uzama eğrileri.



### 3.2.4. Dinamik Mekanik Analiz (DMA) Sonuçları

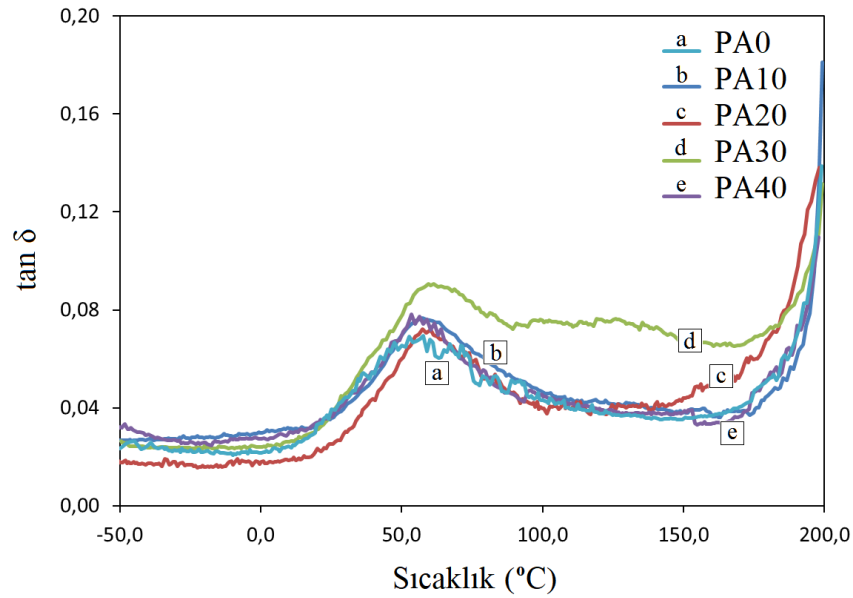
DMA ile malzemenin, deformasyona bağlı olarak enerji depolama ve kaybetme yeteneği belirlenir. DMA ile malzeme, sabit kuvvet kontrolünde, salınımlı deformasyona maruz bırakılır ve oluşan gerilmeler ölçülür [58-59]. Takviye elemanı (SM) konsantrasyonunun kompozitlerin dinamik özelliklerine olan etkisi, kompozitlerin DMA ölçümlerinin yapılması ile tespit edilmiştir. Kayıp modülü, malzemenin mekanik enerjini dağıtma kabiliyetinin bir göstergesidir. Kompozit malzemelerin esnekliği ve bileşenlerin birbiri ile etkileşimi hakkında bilgi verir. Kayıp modülü piklerinin genişliğinin artmasıyla malzemenin daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu sonucu çıkarılabilmektedir [58-59]. Saf polimerin ve farklı SM konsantrasyonuna sahip kompozitlerin kayıp modül ( $E''$ ),  $\tan \delta$ , elastik modülü ( $E'$ )-sıcaklık grafikleri sırasıyla Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da görülmektedir. Kompozitlerin SM konsantrasyonu arttıkça parçacıklar, polimer matrisin molekül zincirlerinde hareketliliğin ve deformasyonun azalmasına; mekanik dayanım ile rijitliğin artmasına sebep olmaktadır.  $E''$ , malzemenin ısı biçiminde kaybettiği deformasyon enerjisinin ölçüsüdür ve malzemenin viskoz karakteri hakkında bilgi verir. Kompozit malzemelerin esnekliği ve bileşenlerin birbiri ile etkileşimi hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar.



Şekil 3.8. Saf polimer ve farklı SM yüzdesine sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki kayıp modül grafikleri.

Şekil 3.8'deki grafik incelendiğinde, PA6/SM kompozitlerin kayıp modüllerinin, SM konsantrasyonundaki değişim ile saf PA6'ya kıyasla değişim gösterdiği ve sıcaklıkla azaldığı gözlenmektedir. Bununla birlikte, 50 °C'nin üzerinde, PA6 kompozitleri, saf PA6'ya göre nispeten daha yüksek kayıp modül değerleri göstermektedir. Şekil 3.8'e göre kompozitlerin kayıp modül pikleri, daha yüksek sıcaklıklara doğru genişlemekte ve pikler nispeten düzleşmektedir.

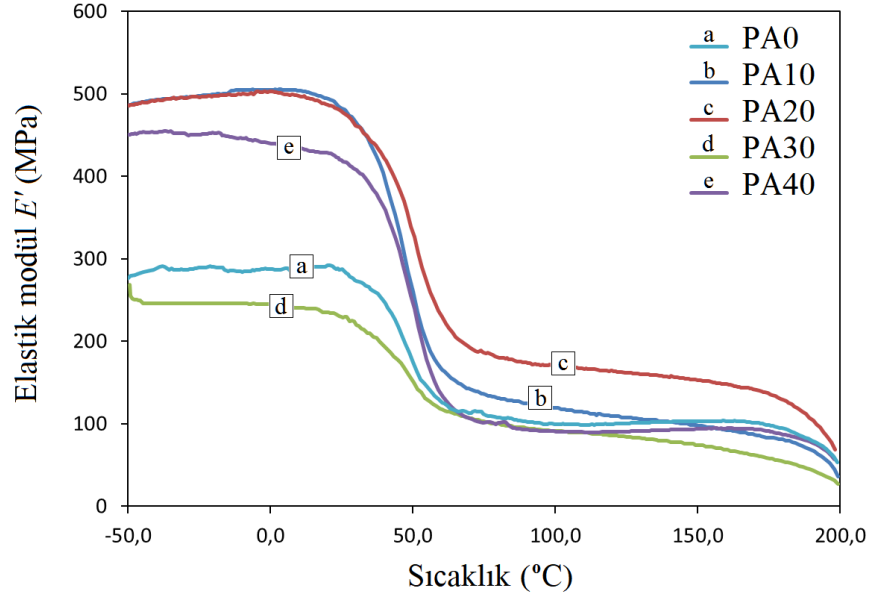
Şekil 3.9'da kompozitlerin  $\tan \delta$  piklerinin sıcaklığa göre değişim grafiği görülmektedir. Kayıp modülünün depolama modülüne oranlanmasıyla  $\tan \delta$  ifadesi elde edilir.  $\tan \delta$  pikinin maksimum değerinin göstermiş olduğu sıcaklık değeri, malzemenin  $T_g$  değerini verir. Polimerlerin molekül zincirlerinin hareketliliğinin düşmesi,  $\tan \delta$  pikinin genişlemesine ve yüksekliğinin azalmasına neden olurken; piklerin  $T_g$ 'yi gösteren maksimum noktası daha yüksek sıcaklıklara doğru kayar. Şekil 3.9 incelendiğinde PA6/SM kompozitlerin  $T_g$ 'lerinin SM konsantrasyonu ile daha yüksek sıcaklıklara kaydığı net olarak gözlenmemektedir. Bunun sebebi, hazırlanan kompozitlerin konsantrasyonları arasındaki farkın çok az olması olabilir.



Şekil 3.9. Saf polimer ve farklı SM yüzdesine sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki  $\tan \delta$  grafikleri.

Şekil 3.10'da saf polimerin ve farklı SM konsantrasyonuna sahip kompozitlerin elastik modülü/sıcaklık eğrilerinden görüldüğü gibi elastik modüllerinin yaklaşık 50 °C'den

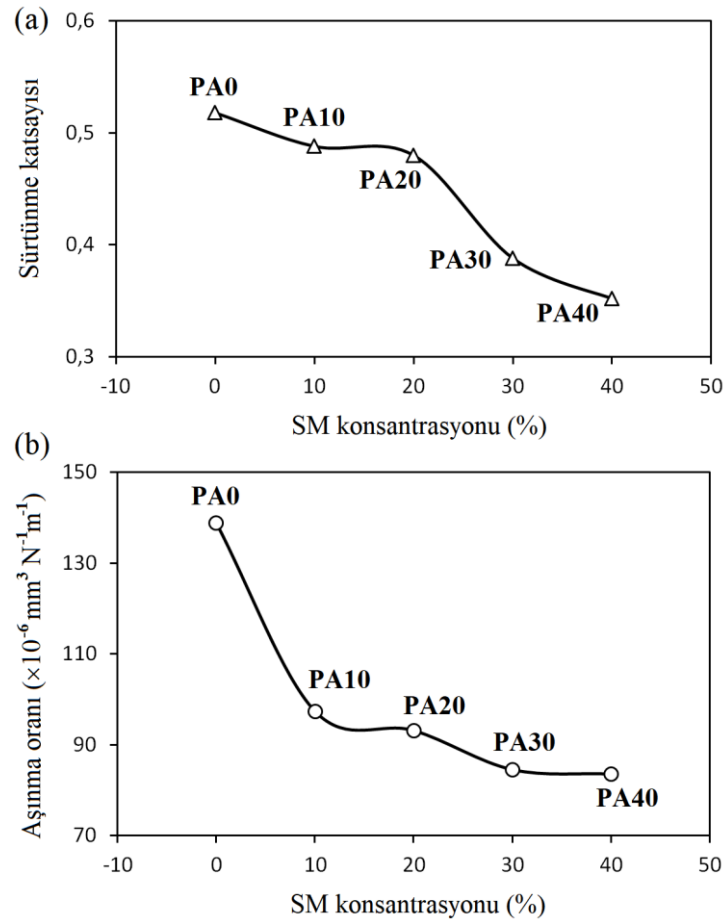
sonra hızla düştüğü tespit edilmiştir. PA30 haricinde, PA0'ın elastik modülünün diğer kompozitlerden düşük olduğu görülmektedir.



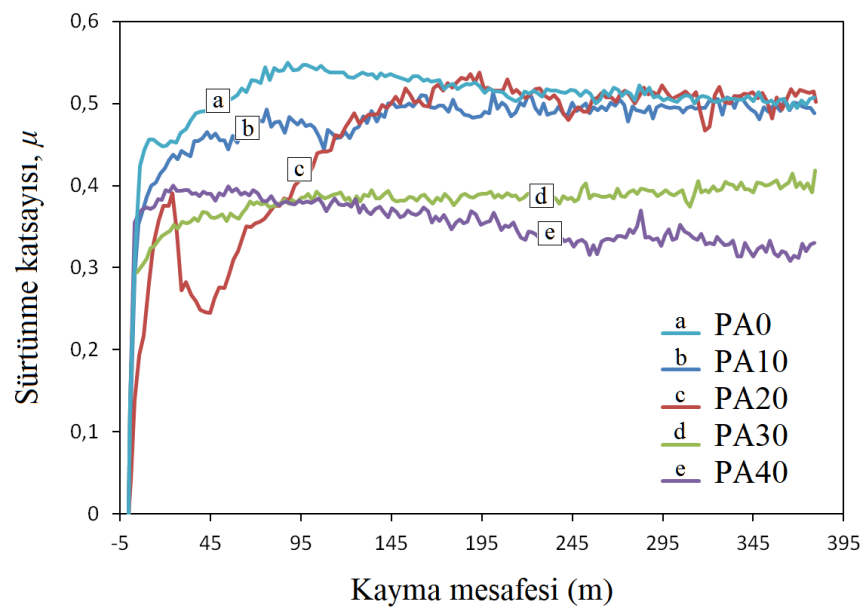
Şekil 3.10. Saf polimer ve farklı SM yüzdesine sahip kompozitlerin sıcaklık karşısındaki elastik modülü grafikleri.

### 3.2.5. Aşınma Testi Sonuçları

Polimer kompozitlerde doğru bileşim oranlarının seçilmesi, aşınma direnci için en uygun koşullara ulaşılmasına yardımcı olur. Saf PA6 ve kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının SM konsantrasyonuna göre değişim grafikleri Şekil 3.11'de verilmektedir. Şekil 3.12'de ise saf PA6 ve kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi grafikleri görülmekte olup, yaklaşık 150 m kayma mesafesinden sonra tüm sürtünme katsayılarının nispeten kararlı hale ulaştığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi, kompozitlerde artan SM oranı ile aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Polimer kompozitlerde dolgu maddesi tipi, şekli, ebadı ve kimyasal işlem kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerinde önemli bir rol oynar ve doğru konsantrasyonların seçilmesi, aşınma direncinde optimal sonuçlara ulaşmada yardımcı olur [60-61]. PA40'ın aşınma direncinin saf PA6'dan %60 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum SM ilavesiyle artan rijitliğin, numunelerin kayma ve abrazif aşınma dirençlerini geliştirmesine bağlanabilir.

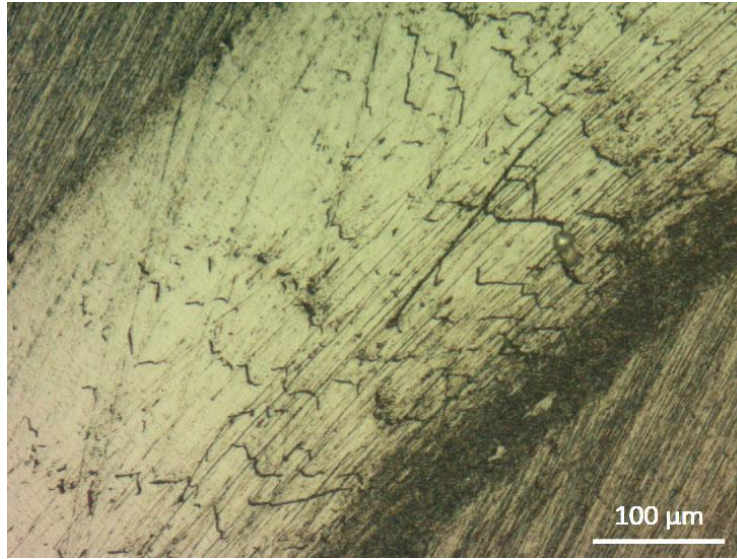


Şekil 3.11. Saf PA6 ve kompozitlerin (a) sürtünme katsayısı, (b) aşınma oranı değerlerinin SM konsantrasyonuna göre değişim grafikleri.

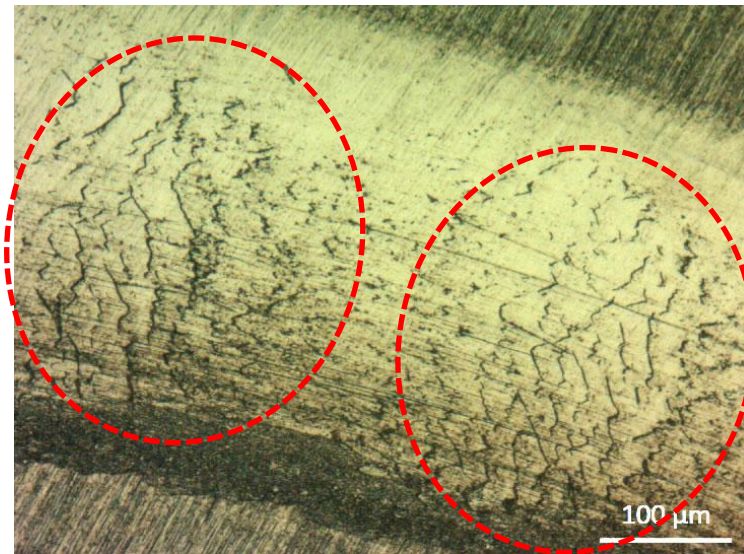


Şekil 3.12. Saf PA6 ve kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma mesafesi grafikleri.

Numuneler üzerinde alınan aşınma izi optik mikroskop görüntüleri Şekil 3.13-Şekil 3.22'de görülmektedir. Numunelerde genel olarak adeziv ve abrasif aşınma mekanizmalarının hâkim olduğu görülmektedir. Saf PA6 ve PA10 numunelerinde yorulma çatlaklarına rastlanılmıştır (kesikli daireler). Yorulma aşınması, bir yüzey üzerinden tekrarlı geçişler sonucu oluşan çatlak ve pullanmalar şeklinde tanımlanır. %20 SM konsantrasyonundan sonra yorulma aşınması oluşmadığı tespit edilmiştir. SM takviyesi ile birlikte artan sertlik ve rijitlik, kompozitlerin abrasif aşınmaya karşı direncini de iyileştirmektedir.

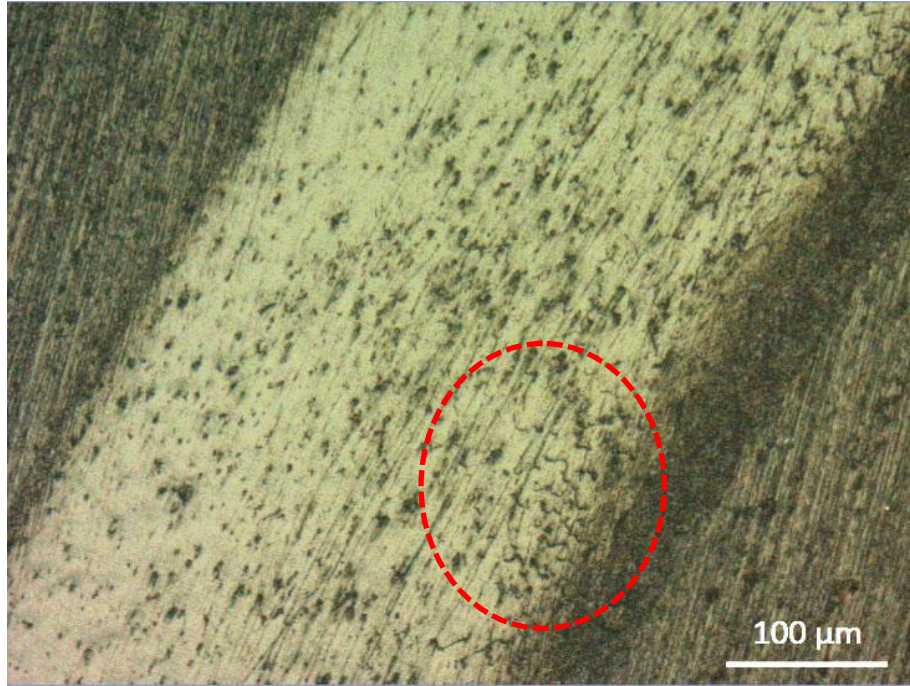


Şekil 3.13. Saf PA6'nın aşınma iz görüntüsü.

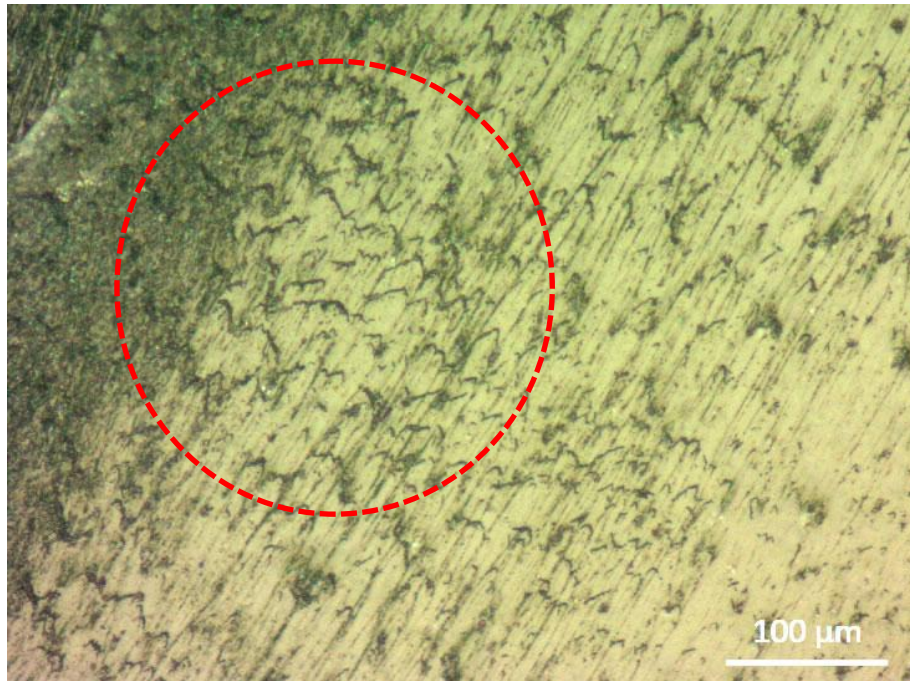


Şekil 3.14. Saf PA6'nın aşınma iz görüntüsü.

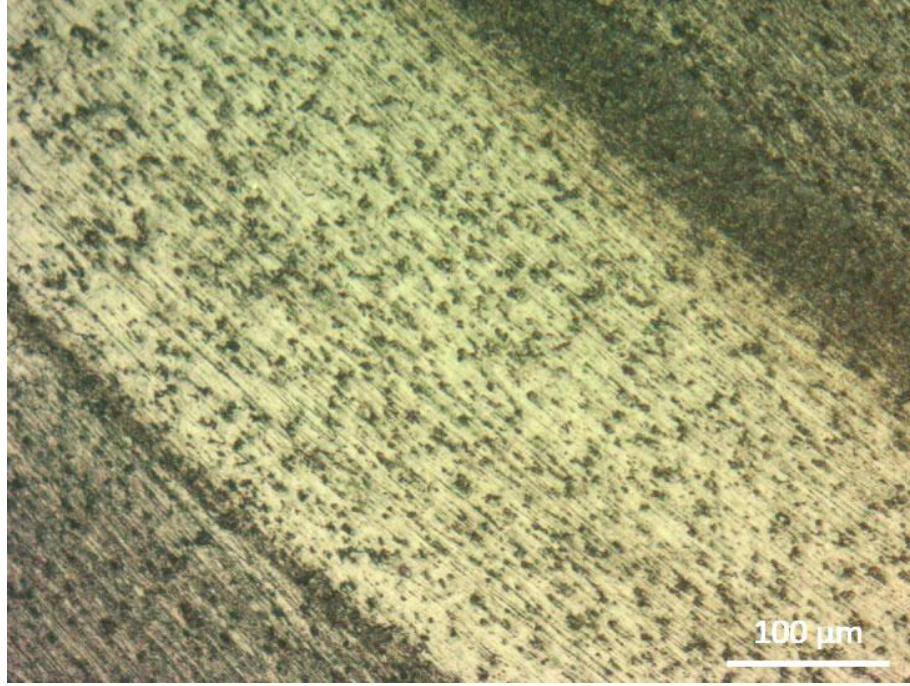




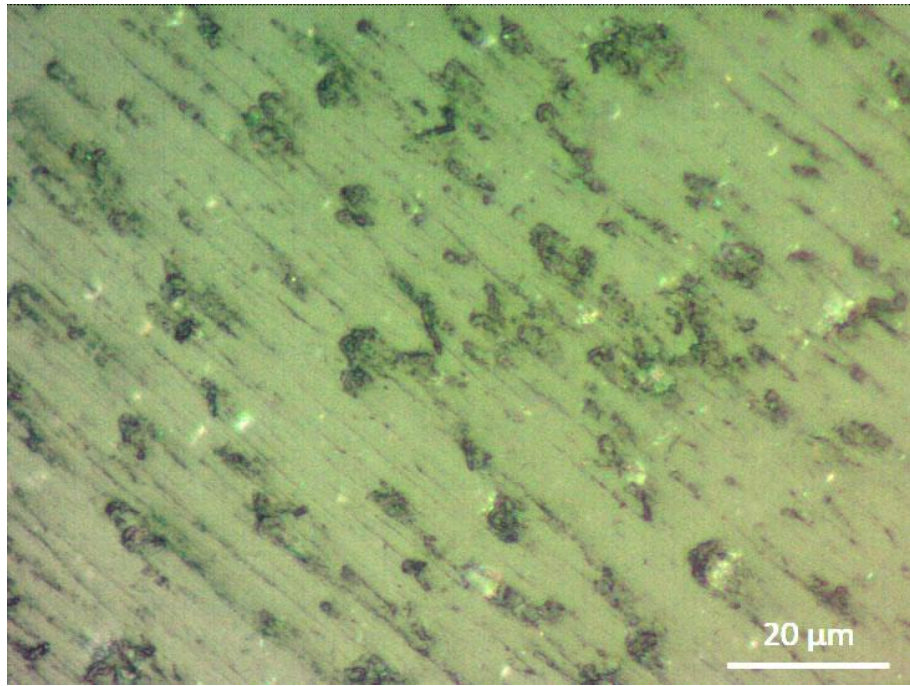
Şekil 3.15. PA10'un aşınma iz görüntüsü.



Şekil 3.16. PA10'un aşınma iz görüntüsü.

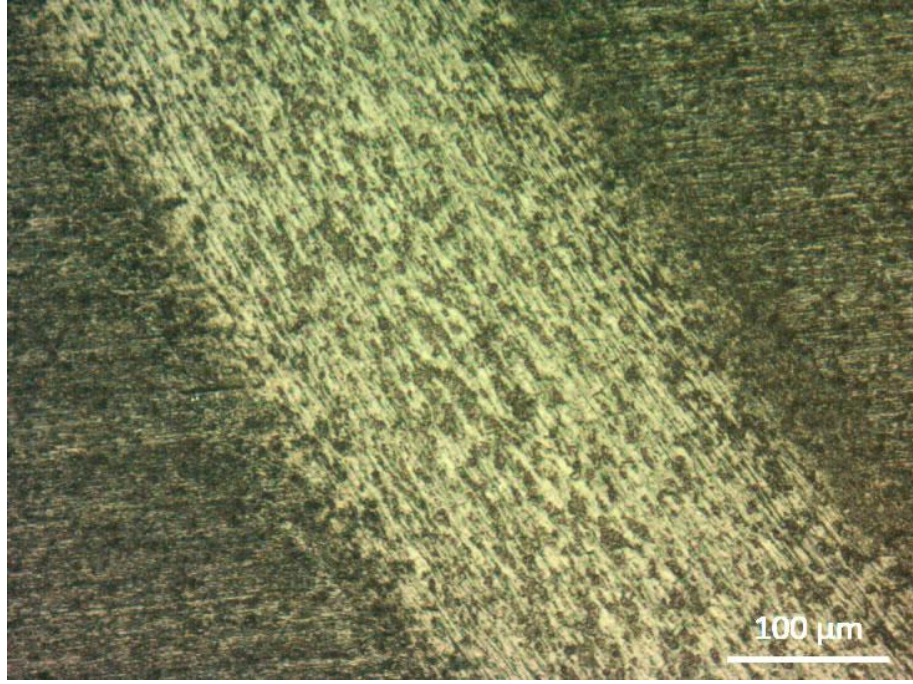


Şekil 3.17. PA20'nin aşınma iz görüntüsü.

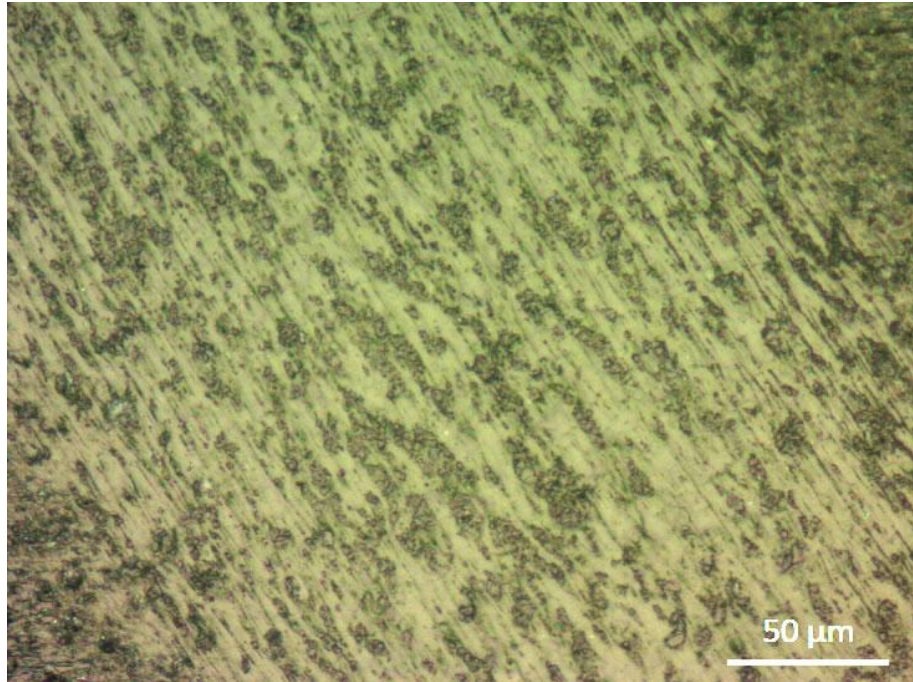


Şekil 3.18. PA20'nin aşınma iz görüntüsü.



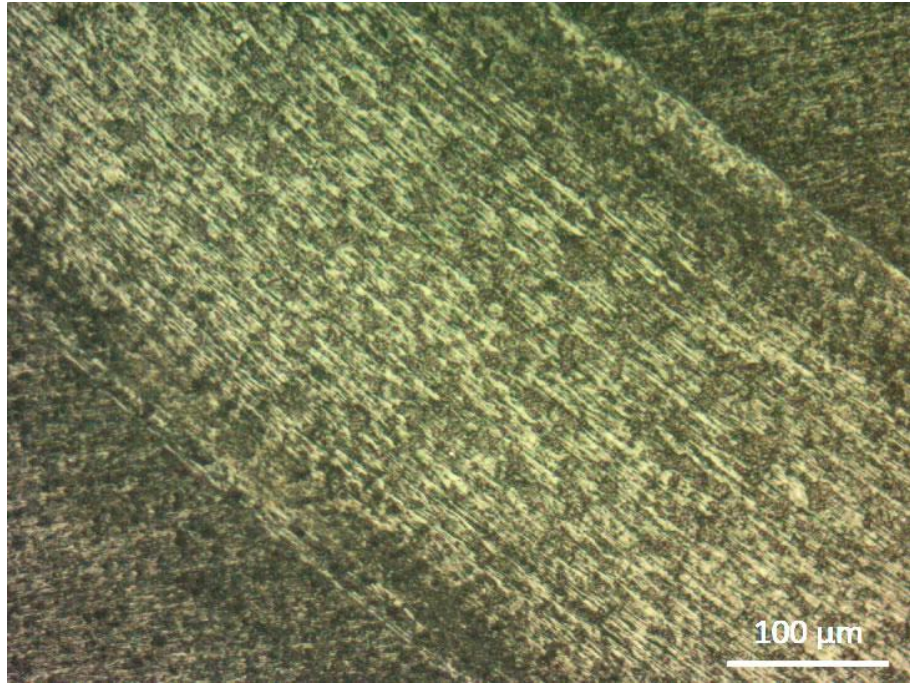


Şekil 3.19. PA30'un aşınma iz görüntüsü.

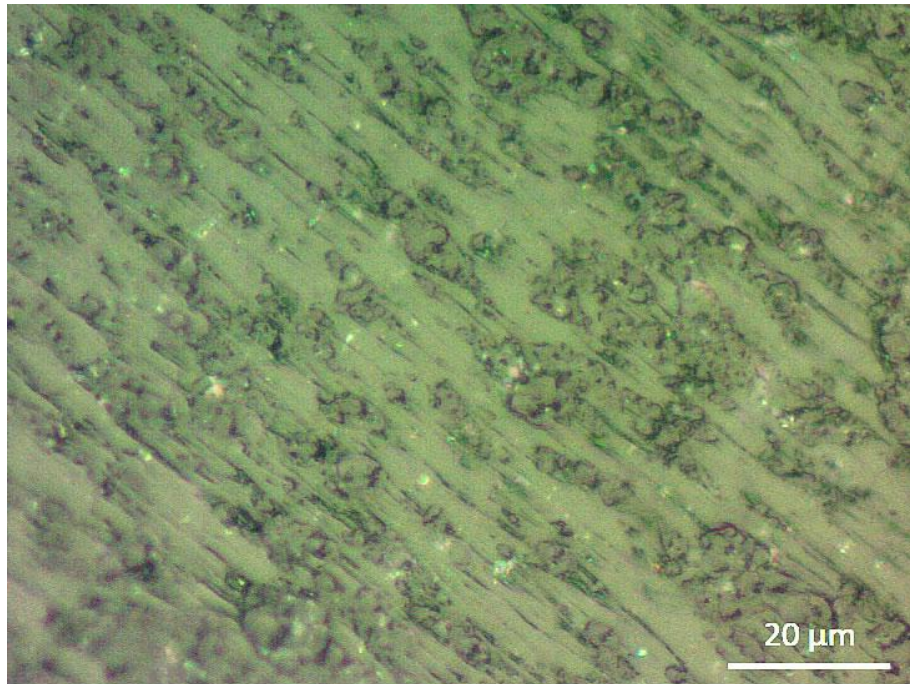


Şekil 3.20. PA30'un aşınma iz görüntüsü.





Şekil 3.21. PA40'ın aşınma iz görüntüsü.



Şekil 3.22. PA40'ın aşınma iz görüntüsü.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

#### 4.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, 3M SM'lere başarılı şekilde silanlama işlemi uygulanmış, ardından farklı konsantrasyonlara (%ağ. 10, 20, 30 ve 40) sahip PA6/SM kompozitler ergiyik harmanlama yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiş, enjeksiyon kalıplama sonrasında da kompozitlerin farklı mekanik ve aşınma direnci özellikleri incelenmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- SM'lerin yapıya ilavesi ile PA6'nın kristalinitesi azalmakta ve nispeten amorf bir yapıya yaklaşılmaktadır. Bununla birlikte, SM'lerin yapıya girişiyle birlikte yaklaşık 28°'de birbirine çok yakın olan kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve müllit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$  veya  $2\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ) yapılarının oluşmaya başladığı tespit edilmiştir.
- SM takviye oranı artışıyla paralel olarak çekme dayanımı ve çekme modülü özelliklerinde de artış gözlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı ve modülü değerleri PA40 için sırasıyla 52 MPa ve 1.4 GPa olarak bulunmuştur. Bu değerler PA0 ile kıyaslandığında sırasıyla %10 ve %25 daha yüksektir. Kopma uzaması değerleri ise PA0 ve PA40 için sırasıyla %358'den %22'ye düşme eğilimi göstermiştir.
- Kompozitlerin Shore D sertlik değerlerinin de artan SM konsantrasyonu ile birlikte arttığı bulunmuştur.
- Eğme özellikleri artan rijitlikten dolayı çekme testi sonuçlarına benzerdir. En yüksek eğme dayanımı ve modülü değerleri %40 SM konsantrasyonlu kompozitte sırasıyla 95 MPa ve 4 GPa olarak bulunmuştur. PA40'ın eğme

dayanımı ve eğme modülü değerleri saf PA6'ya kıyasla sırasıyla %38 ve %80 daha yüksektir. DMA sonuçlarında çok belirgin farklılıklar gözlenmese de SM içeriği ile birlikte rijitliğin de arttığı söylenebilir.

- Kompozitlerde artan SM oranı ile aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın belki de en önemli sonucu olarak PA40'ın aşınma direncinin saf PA6'dan %60 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum SM ilavesiyle artan rijitliğin, numunelerin kayma ve abrazyon aşınma dirençlerini geliştirmesine bağlanabilir ve birçok uygulamada faydalı sonuçlar verecek şekilde kullanılabilir.

## 4.2. Öneriler

Çalışmadaki sonuçlar ve değerler göz önüne alındığında daha çok boya sanayinde çizik ve aşınma direncini iyileştirmek için tercih edilen alkali alümina silikat yapıları seramik mikro küreciklerin, polimer matris içerisinde yüksek mekanik ve aşınma direnci gereksinimleri için kullanılabileceği düşünülmektedir. Çalışmayla, piyasada hâlihazırda mevcut bir malzemenin farklı uygulamalardaki kullanım potansiyeline ışık tutulmuştur.

## KAYNAKÇA

1. Bajsić, E.G., Smit, I., Leskovic, M., 2007. Blends of thermoplastic polyurethane and polypropylene. I. Mechanical and phase behavior. **Journal of Applied Polymer Science**, **104**:3980–3985.
2. Di, Y., Kang, M., Zhao, Y., Yan, S., Wang, X., 2006. Morphology and mechanical properties of blends of thermoplastic polyurethane and polyolefins. **Journal of Applied Polymer Science**, **99**:875-883.
3. Chuayjuljit, S., Ketthongmongkol, S., 2013. Properties and morphology of injection and compression-molded thermoplastic polyurethane/polypropylene-graft-maleic anhydride/wollastonite composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, **26**:923-935.
4. Bajsić, E., Rek, V., 2004. Dynamic mechanical study of thermoplastic polyurethane/polypropylene blends, in: S. Agarwal, A. Greiner (Eds.). **E-Polymers, Germany**, pp. 837–846.
5. Keskin, S., 1989. Plastik isleme Teknikleri ve Kalite Kontrol, **Kimya Mühendisleri Odası**, İstanbul, pp 142-145.
6. Kukureka, S.N. Hooke., C.J. Rao, M.Liao, Chen, P., Y.K., 1999. The effect of fibre reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry rolling-sliding contact. **Tribology International** **32**:107–16.

7. Chang, L. Zhang, Z. H. Zhang, A. Schlarb, K. 2006. On the sliding wear of nano particle filled polyamide 66 composites. **Composites Science and Technology** **66**:3188–3198.
8. Savaşçı, T., Kısa Açıklamalarıyla En Yaygın Kullanılan Fiziksel Nitelikli Standart Plastik Testleri, TMMOB, *Plastik Teknolojisi 1 seminer notları*, İstanbul, pp, 52-77 1996.
9. Billmeyer, F., 1990. Textsbook of Polymer Science, **John Wiley & Sons Inc.** Canada, pp, 407-413.
10. Srinivas, Ch, L. Sarcar, K, Suman, N, S., Abrasive Wear Properties Of Graphite Filled PA 6 Polymer Composites. **İnternational Journal Of Mechanical Engineering And Robotic Resaarch, Vol. 1**, No. 3, 2012.
11. Andó, M. Sukumaran, j.Rodríguez, V. Neis P. Kalácska, G. Czıgany, T.Beats, P, 2011. D. Development Of New PA6 Composites. **Mechanical Engineering Letters**, Szent István University, Volume 5.
12. Du-Xin, Wen-Juan, Ying, X., Xiang-Xiang, 2012. Effects of Solid Lubricants on Friction and Wear Behaviors of Polyamide 6. **Journal of Applied Polymer Science, Vol. 124**, 4239–4248.
13. Nie,W, Z. Li, J. 2010. Effect of carbon fibre content on friction and wear properties of carbon fibre reinforced PA6 composites. **Plastics, Rubber and Composites** **39**. p.2-3.
14. You, Y, L. L, Du-Xin. Deng, X.Li, W, J.Xie,Y. 2013. Effect of Solid Lubricants on Tribological Behavior of Glass Fiber Reinforced polyamide 6. **Polymer Composites** 10.1002/ p.1784 - 1793.

15. Kumar, S., S. Kanagaraj. 2016. G. Investigation on Mechanical and Tribological Behaviors of PA 6 and Graphite-Reinforced PA6 Polymer Composites. **Arab J Sci Eng.** 10.1007/s13369-016- 2126-2.
16. Hlebanja, G. Japić, D. Kulovec, S. Huskić, M. Kalin, M. The Influence Of Expanded Graphite and Polydimethylsiloxane on Mechanical and Tribological Properties of Polyamide 6/Glass Fiber Composites, **1st International Conference on Polymer Tribology** 11th- 12th september 2014, Bled, Slovenia.
17. Ünal, H., Yetgin, S, H., Katı Yağlayıcı Katkılı Poliamid Mühendislik Polimerinin Mekanik ve Tribolojik Performanslarının İncelenmesi, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 3 pp, 117-124 2015.
18. Li, J., Xia, Y, C., The Influence of Carbon Fiber Content on the Tribological Properties of PA 6 Composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, vol. 00, No. 00/2009.
19. Z. Shaofeng, Z. Qiaoxin, W. Chaoqun, , H. Jin, “Effect of Carbon Fiber Reinforcement on the Mechanical and Tribological Properties of Polyamide6/Polyphenylene Sulfide Composites,” **Materials and Design** (44) (2013) 493.
20. Tanaka, K., Kawakami. S., 1982. Effect of Various Fillers on the Friction and Wear of Polytetrafluorethylene-Based Composites. **Wear** (79) 221.

21. Yan, F., Wang, W., Xue, Q., Long, W. 1996. The Correlation of Wear Behaviors and Microstructures of Graphite-PTFE Composites Studied by Positron Annihilation. **J. Appl. Polym. Sci. (61)** 1231.
22. Xian, G., Zhang, Z., 2005. Sliding Wear of Polyetherimide Matrix Composites: I. Influence of Short Carbon Fibre Reinforcement. **Wear (258)** 776.
23. Kang, SC., Chung, DW., 2003. Improvement of Frictional Properties and Abrasive Wear Resistance of Nylon/Graphite Composite By Oil Impregnation. **Wear (254)** 103.
24. Kang, SC., Chung, DW., 2000. The Synthesis and Frictional Properties of Lubricant-İmpregnated Cast Nylons. **Wear (239)** 244.
25. Xin-R. Zhang, Xian-Q. Pei, Qi-H. Wang, 2009. Friction and Wear Studies of Polyimide Composites Filled with Short Carbon Fibers and Graphite and Micro SiO<sub>2</sub>. **Materials and Design (30)** 4414.
26. Kaştan, A., Salman, S., Ünal. H., 2016. Grafit Katkılı Poliamid 6'nın Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. **Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 4 Sayı 2** 50-55.
27. Chakraborty, I. 2015. "Fabrication of Multifunctional Graphenebased Polymer Composite Materials Using Different Fillers". Open Access Dissertations. University of Rhode Island, USA, pp 335.
28. Saçak, M., ,2004. **Polimer Kimyası . 2. Baskı**. Gazi Kitapevi, Ankara.

29. Kurbanova, R., Mirzaoğlu, R., Karataş, İ., Uçan İ., 1997. **Polimer ve Plastikler Teknolojisi**, S.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, Konya.
30. Yaşar H., 2001. **Plastikler Dünyası**, Tmmob Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
31. Demirci, M., 2009. Polimer Esaslı Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 102 s.
32. Kodal ,M., 2009. Polipropilen Ve Dolgu Maddeleri İle Hazırlanan Karışımların Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 160 s.
33. Ambrogioa, R. Contea, F. Gagliardia, L. De Napolia, L. Filicea, P. Russob. (2018), “A new approach for forming polymeric composite structures”. **Composite Structures**, 204 :445–453.
34. Antunes, P.V., Ramalho, A., Carrilho. E.V.P. 2014. Mechanical and wear behaviours of nano and microfilled polymeric composite: Effect of filler fraction and size. **Materials and Design** 61: 50–60.
35. Hull. D, and Clyne, T.W., 1996: An Introduction to Composite Materials, Cambridge University Pres, Cambridge, UK.



36. Durand, J.M., Vardavoulias, M., Jeandin. M. 1995. Role of reinforcing ceramic particles in the wear behaviour of polymer-based model composites. **Wear**, **181-183**: 833-839.
37. Clyne, T. W., Withers, P. J. 1993. An Introduction to Metal Matrix Composites. Cambridge University Press, Cambridge.
38. Schröder, J., Kainer, K. U., 1991. Magnesium Base Hybrid Composites Prepared by Liquid Infiltration. **Mater. Sci. Eng.** **135**: 33–36.
39. Neera, S., Ranabrata, M., Pallav, G., Devendra, K. 2017. Ceramic Matrix Composites: Processing Techniques and Recent advancements. **JMES Volume 8**, Issue 5, p. 1654-1660.
40. Russell H. J., C. H. Henager., Charles A. Lewinsohn, Charles F. W. 2001. Ceramic Matrix Composites. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington p. 1-3.
41. Url-3 <<http://www.designinsite.dk/htmsider/m0805.htm>>, 1998.
42. Gaurav K.G. 2015. Investigation into Mechanical and Tribological Behaviour of Hollow Glass Microsphere (HGM) Reinforced Epoxy Composite. National Institute of Technology, India. p. 17-20.

43. Rodney W. N. 1988. Advanced Materials by Design. **Polymer matrix composites**. chapter 3, pp. 78-84.
44. Rahul R. N. 2016. Composite materials-history, types, fabrication techniques, advantages and applications. **International Journal of Advances in Science Engineering and Technology, Vol-4, Iss-3, Spl. Issue-2**, p.1-6.
45. Jae S. J. 2012. Particle size effect on mechanical and thermal properties of SiO<sub>2</sub> Particulate polymer composites. University of Delaware, p.11-14.
46. Johnsen, B.B., Kinloch, A.J., Mohammed, R.D., Taylor, A.C., Sprenger, S. 2007. Toughening mechanisms of nanoparticle-modified epoxy polymers. **Polymer, 48**: 530-541.
47. Shao Y. F., Xi Q. F., Bernd L., Yiu W. M. 2008. Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites. **Composites, Part B, 39**: 933–961.
48. Ying G., Guisheng Y. 2009. Manufacturing and physical properties of all-polyamide composites. **J Mater Sci, 44** : 4639–4644.
49. Url-3 <[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~/All-3M-Products/Advanced-Materials/Ceramic-Microspheres](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/All-3M-Products/Advanced-Materials/Ceramic-Microspheres)>.

50. Liu, T ., Wood, W., Li, B., Lively, B., Zhong, W., 2012. Effect of reinforcement on wear debris of carbon nanofiber/high density polyethylene composites: Morphological study and quantitative analysis. **Wear**, **294–295**, 326–335.
51. Zhang, L. , Zarudi, I., Xiao, K., 2006. Novel behaviour of friction and wear of epoxy composites reinforced by carbon nanotubes. **Wear**, **261**, 806–811.
52. Devaraju, A., Perumal, A., Alphonsa, J., Kailas, S., Venugopal, S., 2012. Sliding wear behavior of plasma nitrided Austenitic Stainless Steel Type AISI 316LN in the temperature range from 25 to 400 °C at 10–4 bar. **Wear**, **288**,17–26.
53. Gabor M., Sanjay K., Barnabas C., Rakesh K., Zoltan M., Adam R., Ferenc M., Akos D. (2014) “Control of geopolymer properties by grinding of land filled fly ash,” **International Journal of Mineral Processing** s.1-9.
54. Rafael A. B., Rodrigo F. C. M., Francisco J. S., Juliano A. C., Miguel J. 2011. Synthesis and functionalization of magnetite nanoparticles with different amino-functional alkoxysilanes. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** s.1-6.
55. Zheng. X., Lin, Q., Pan, J., Yongjin, L., Jingye, L. 2018. Ionic liquids incorporating polyamide 6: miscibility and physical properties. **Polymers** **10:562**, p. 1-19.
56. Zhou, S., Zhang, Q., Huang, J., Ding, D. 2014. Friction and wear behaviors of polyamide-based composites blended with polyphenylene sulfide. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, **Vol. 27:977–991**, p.1-15.

57. Savas, L.A., Tayfun, U. and Dogan, M. 2016. The Use of Polyethylene Copolymers as Compatibilizers in Carbon Fiber Reinforced High Density Polyethylene Composites. **Composite Part B-Engineering**, **99** : 188–195.
58. Menard K. P., 1999. Dynamic Mechanical Analysis, **A Practical Introduction**, CRC, USA.
59. Crawford, D.M. and Escarsega, J.A., 2000. Dynamic mechanical analysis of novel polyurethane coating for military applications, **Thermochimica Acta**, **357-358**, 61-168.
60. Ramesh, B. N., and Suresha, B. 2014. Optimization of Tribological Parameters in Abrasive Wear Mode of Carbon-Epoxy Hybrid Composites. **Materials and Design**, **59**, pp 38-49.
61. Parikh, H, H., and Gohil, P. P. 2015. Tribology of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites-A Review. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, **0** (0), pp 1-7.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Hilal PEÇENEK

Uyruğu: T.C

Doğum Tarihi ve Yeri: 12 Temmuz 1993, Kayseri

Medeni Durumu: Bekar

E-posta: hilal.pcnk@gmail.com

Adres: Mimarsinan Bahçelievler Mah. 2170. Sokak Eras Sit. F.blok 42/29  
Melikgazi/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Müh.	
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Müh.	2016

### YABANCI DİL

İngilizce