



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**POLİMER MATRİSLİ DEMİR OKSİT TAKVİYELİ KOMPOZİT  
MALZEMENİN KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI**

**HAZIRLAYAN  
AHMET TAYFUN KİRAZ**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. M. SABRİ GÖK**

**BARTIN-2019**



**T.C.**  
**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POLİMER MATRİSLİ DEMİR OKSİT TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN**  
**KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN**  
**AHMET TAYFUN KİRAZ**

**JÜRİ ÜYELERİ**

Danışman : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi  
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU - Bartın Üniversitesi  
Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

**BARTIN-2019**

## KABUL VE ONAY

Ahmet Tayfun KİRAZ tarafından hazırlanan “POLİMER MATRİSLİ DEMİR OKSİT TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI” başlıklı bu çalışma, 28/08/2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.. Dr. M. Sabri GÖK (Danışman) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU .....

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL .....

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../2019 tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hatice Selma ÇELİKAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. M. Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum “POLİMER MATRİSLİ DEMİR OKSİT TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

28.08.2019

Ahmet Tayfun KİRAZ

## ÖNSÖZ

“POLİMER MATRİSLİ DEMİR OKSİT TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI” adlı bu çalışma, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tezinin bilimsel danışmanlığını üstlenen, konunun belirlenmesi ve çalışmanın hazırlanması ve laboratuvar ve tez çalışmalarım esnasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, sayın Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK’ e teşekkür ederim.

Laboratuvar ve tez çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mecit ÖĞE ve Arş. Gör. Dr. Azmi ERDOĞAN hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın, ileride bu konuda yapılacak olan çalışmalara ışık tutması ve ilgilienlere yol gösterici olmasını dilerim.

Ahmet Tayfun KİRAZ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **POLİMER MATRİSLİ DEMİR OKSİT TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI**

**Ahmet Tayfun KİRAZ**

**Bartın Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof.Dr. M. Sabri GÖK**

**Bartın- 2019, sayfa: 58**

Bu çalışmada polimer matrisli demir oksit takviyeli kompozit malzemenin kuru kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Deneysel oda sıcaklığında 5N ve 10N yükler altında 20x10 mm boyutunda hazırlanan numuneler üzerinde Pin On Disk aşınma cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Teste tabi tutulan numunelerin hacim kayıplarının belirlenmesinde 3D optik mikroskobundan faydalanılmıştır. Numunelerin aşınma yüzeylerinin morfolojisini belirleyebilmek için SEM (Scanning Elektron Microscopy) faydalanılmıştır. Sonuç olarak uygulanan yükün değişmesi sürtünme katsayısında belirgin bir değişime sebep olmayıp bir miktar artışa sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca artan yüke bağlı olarak numunelerdeki hacim kayıpları artmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en düşük hacim kaybı %5 demir oksit takviyeli numunede görülmüştür. En yüksek hacim kayıpları ise demir oksit takviye edilmemiş numunede görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer kompozit malzemeler; Kuru kayma; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC takviyeli

**Bilim Kodu:** 625.02.05

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DRY SHIP ABRASION BEHAVIOR OF IRON OXIDE REINFORCED COMPOSITE MATERIAL WITH POLYMER MATRIX**

**Ahmet Tayfun KIRAZ**

**Bartın University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. M. Sabri GÖK**

**Bartın-2019, pp: 58**

In this study, dry shear wear behavior of polymer matrix iron oxide reinforced composite material was investigated. The experiments were carried out on samples prepared at 20x10 mm size under 5N and 10N loads at room temperature with Pin On Disc abrasion device. 3D optical microscopy was used to determine the volume losses of the samples. SEM (Scanning Electron Microscopy) was used to determine the morphology of the wear surfaces of the samples. As a result, it was seen that the change of the applied load did not cause a significant change in the friction coefficient but caused some increase. In addition, volume losses in samples increased due to increasing load. As a result of the experiments, the lowest volume loss was observed in 5% iron oxide reinforced sample. The highest volume losses were observed in the non-iron oxide reinforced sample.

**Keywords:** Polymer composite materials; Dry gliding; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC reinforced

**Science Code:** 625.02.05

# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL VE ONAY .....	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1 Kompozit Malzemeler .....	1
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları .....	3
1.1.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
1.1.2.1 Metalik Matrisli Kompozitler .....	6
1.1.2.2 Polimer Matrisli Kompozitler.....	6
1.1.2.3 Seramik Matrisli Kompozitler .....	7
1.1.2.4 Partikül Takviyeli Kompozitler .....	8
1.1.2.5 Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler .....	8
1.1.2.6 Tabaka Yapılı Kompozitler .....	9
1.1.2.7 Karma (Hybrid) Yapılı Kompozitler .....	9
1.1.3 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri .....	10
1.1.3.1 Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri .....	10
1.1.3.2 Seramik matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri.....	10
1.1.3.3 Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri .....	10
1.2 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler .....	11
1.2.1 Kullanılan Matrisler .....	11
1.2.1.1 Termoset Polimerler .....	12



1.2.1.2 Termoplastik Polimerler .....	15
1.2.2 Fiberler .....	17
1.2.2.1 Cam Fiberler .....	17
1.2.2.2 Karbon Fiberler .....	18
1.2.2.3 Aramid Fiberler .....	18
1.2.2.4 Bor Fiberler .....	18
1.2.3 Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	18
1.2.3.1 Açık kalıplama yöntemleri .....	19
1.2.3.2 Kapalı Kalıplama Yöntemleri.....	22
1.3 Aşınma .....	24
1.3.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler .....	24
1.3.1.1 Malzeme seçimi.....	24
1.3.1.2 Sürtünme.....	25
1.3.1.3 Uygulanan yük.....	25
1.3.1.4 Yüzey sertliği.....	25
1.3.1.5 Yüzey pürüzlülüğü .....	25
1.3.1.6 Yağlama.....	25
1.3.2 Aşınma Türleri .....	26
1.3.2.1 Adhesiv Aşınma .....	26
1.3.2.2 Abrasiv aşınma .....	26
1.3.2.3 Yorulma aşınması.....	26
1.3.2.4 Korozyon aşınma .....	27
1.3.2.5 Erozyon aşınması.....	27
1.3.3 Aşınma Kaybı Ölçüm Yöntemleri.....	27
1.3.3.1 Ağırlık Farkı Metodu.....	27
1.3.3.2 Kalınlık Farkı Metodu .....	28
1.3.3.3 İz Değişim Metodu .....	28
<b>BÖLÜM 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>28</b>
<b>BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>34</b>

3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Elektron Microscopy).....	34
3.2 X- 3D Optik Profilometre İncelemeleri .....	34
3.3 Kuru-Kayma Aşınma Deneyleri .....	34
<b>BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>36</b>
4.1 Sürtünme Katsayısı Ölçüm Analizleri .....	36
4.2 Hacim Kaybı Analizi .....	42
<b>BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>58</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Kompozit malzemelerin iç yapı görüntüsü. ....	1
1.2: Değişik tipte fiber Kompozitler.....	8
1.3: Tabakalı kompozit malzemelerin şematik gösterimi. ....	9
1.4: Termoset Polimer Zincirlerin Çapraz Bağlanması.....	12
1.5: El yatırma yönteminin üretimi. ....	19
1.6: Püskürtme yönteminin şematik gösterimi. ....	19
1.7: Elyaf sarma yönteminin şematik gösterimi.....	20
1.8: Vakumlu kalıplama yöntemi. ....	21
1.9: Otoklav yöntemi şematik gösterimi. ....	21
1.10: Profil çekme yöntemi üretim şeması.....	22
1.11: RTM Kalıbı ile İmalat Yöntemi. ....	23
1.12: Ekstrüzyon Yöntemi Şematik Gösterimi.....	23
1.13: Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi. ....	24
3.1: 3D profil metre ile kesit yüzeyinin görüntüleri.....	35
4.1: Tufal takviye işlemi gerçekleştirilmemiş numunenin farklı yüklerde ve sabit kayma hızında ve zaman altında uygulanmış sürtünme katsayısı grafikleri.....	36
4.2: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ((a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20) sabit yük (5N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri. ....	37
4.3: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ((a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20) sabit yük (10N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri.....	38
4.4: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ((a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20 ) sabit yük (5N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri. ....	40
4.5: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ((a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20) sabit yük (10N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri. ....	41
4.6: Tufal takviye işlemi gerçekleştirilmemiş (saf numune) ve 33 µm tufal takviye işlemi gerçekleştirilmiş numunelere farklı yük (5N-10N) ve sabit kayma hızında (0,15 m/s) uygulanan deney sonucundaki hacim kayıpları grafiği. ....	42

<b>4.7:</b> Tufal takviye işlemi gerçekleştirilmemiş (saf numune) ve 91-125 µm tufal takviye işlemi gerçekleştirilmiş numunelere farklı yük (5N-10N) ve sabit kayma hızında (0,15 m/s) uygulanan deney sonucundaki hacim kayıpları grafiği.....	44
<b>4.8:</b> 5N yük ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulmuş tufal takviye edilmemiş numunenin 200x, 500x 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.....	45
<b>4.9:</b> 10N yük ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulmuş tufal takviye edilmemiş numunenin 200x, 500x'deki SEM görüntüleri verilmiştir.....	46
<b>4.10:</b> 33 µm boyutunda %5 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.....	46
<b>4.11:</b> 33 µm boyutunda %5 katkılı numuneye 10N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.....	47
<b>4.12:</b> 33µm boyutunda %20 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.....	48
<b>4.13:</b> 91-125µm boyutunda %5 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.....	49
<b>4.14:</b> 91-125µm boyutunda %5 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir. ....	50
<b>4.15:</b> 91-125 µm %20 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir. ....	50
<b>4.16:</b> 91-125 µm %20 katkılı numuneye 10N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir. ....	51

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>1.1:</b> Kompozit malzemenin sektörler arasında Dünya, Avrupa ve Türkiye açısından hacimsel olarak dağılımı.....	5

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

- dk : Dakika  
d : Yoğunluk (mgr/mm<sup>3</sup>)  
Fn : Uygulanan normal kuvvet (N)  
GPa : Ciga pascal  
g : Gram  
m : Metre  
mm : Milimetre  
N : Newton  
s : Saniye  
S : Aşınma mesafesi (m)  
Ws : Özgül aşınma miktarı (mm<sup>3</sup>/Nm),  
Δm : Ağırlık kaybı (mgr),  
μ : Mikro  
°C : Santigraderece

## **KISALTMALAR**

- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Alüminyum oksit  
ASTM : American Society for Testing and Materials  
Be : Berilyum  
Mg : Magnezyum  
MMC : Metallic Matrix Compozite  
SiC : Silisyum karbür  
SEM : Scanning electron microscope

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

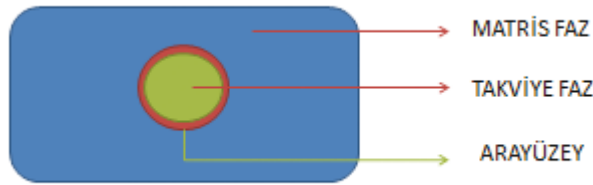
### 1.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; iki veya daha fazla sayıda, aynı ya da farklı tür malzemelerin belirli özelliklerini tek malzemede toplamak veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler genellikle özelliklerini korurlar.

Tarihsel olarak bakıldığında, kompozit malzemeler binlerce yıl önce, evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar şeklinde kullanılmıştır. Günümüzde ise malzemelerin yetersiz veya özelliklerinin değiştirilmesi gereken durumlarda özel olarak üretilip kullanılırlar (Sönmez, 2009).

Amerika’da 1930’lu yıllarda cam elyafın bulunmasıyla modern kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve dünya pazarında yerini almıştır.

Kompozit malzemeler genellikle düşük dayanıma sahip matris ana fazı ile bu faz içinde dağılmış halde bulunan takviye fazından meydana gelmektedir. Takviye ve ana malzeme olarak genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır.



Şekil 1.1: Kompozit malzemelerin içyapı görüntüsü.

Kompozit malzemelerin içyapıları incelendiğinde malzemeyi oluşturan bileşenler ayırt edilebilir. Kompozit malzemeler makro düzeyde homojen özellik gösterebilirler de mikro ölçekte heterojen yapıya sahiptirler. Kompozit malzemeler mikroskobik düzeyde homojen olan alaşımlardan bu özellikleriyle farklıdır (Sönmez, 2009).

Kompozit malzemeler, malzemenin;

- Mukavemet,
- Korozyon dayanımı,
- Termal dayanımı,
- Elektriksel iletkenliđi,
- Akustik iletkenlik,
- Ağırlık,
- Estetik görünüm,
- Fiyat.

gibi özelliklerinden bir veya birkaçını iyileştirmek amacıyla üretilirler (Sönmez, 2009).

Kompozitlerde takviye malzemesi olarak farklı morfolojilere sahip malzemeler kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin kullanımındaki temel amaç; malzeme üzerine gelen yükün taşınması, matrisin rijitliğinin ve dayanımının artırılmasının sağlanmasıdır. Kompozit malzeme içinde matrisin fonksiyonu ise, çoğu gevrek ve kırılğan olan takviye elemanlarını dış ve çevresel etkilere karşı korumak, kompozit malzeme üzerine gelen yükü takviye elemanlarına iletmek ve tüm kompozit yapıyı bir arada tutmak olarak sıralanabilir. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Avantajları;

- Yüksek mukavemet,
- Kolay şekillendirme,
- Elektriksel özellik,
- Isı ve ateşe dayanıklılık,
- Titreşim sönümlenme,
- Korozyona ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık,
- Kalıcı renklendirme.

Dezavantajları;

- Bazı hammaddelerin pahalı olması (uçaklarda kullanılan karbon kumaş vb.),
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir,
- Malzeme kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır,
- Kompozitler gevrek malzeme olduklarından kolaylıkla zarar görebilirler,
- Düşük süneklik.



### 1.1.1 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozitler;

- Uzay teknolojisi,
- Denizcilik sektörü;
  - Yelkenli ve motorlu tekneler,
  - Can kurtarma flikaları,
  - Şamandıralar,
  - Kanolar,
  - Dubalar ve iskeleler,
  - Deniz motosikleti,
  - Sörf tahtası,
  - Marina ekipmanları vs.
- Tıbbi cihazların imalatı,
- Robot teknolojisi,
- Kimya sanayisi;
  - Muhtelif amaçlı boru ve bağlantı parçaları,
  - Kimyasal tesis zemin ızgaraları,
  - Asit tank ve kaplamaları,
  - Eloksal ve galvano tankları,
  - Arıtma ekipmanları,
  - Endüstriyel platform ve korkuluklar,
  - Gaz yıkama kolonları,
  - Havalandırma kanalları vs.
- Elektrik-Elektronik teknolojisi,
- Müzik aletlerinin üretimi,
- İnşaat ve yapı sektörü;
  - Dış ve iç cephe kaplamaları,
  - Dekoratif uygulamalar,
  - Çatı kaplama levhaları ve çatı detay profilleri,
  - Taşıyıcı profiller,
  - Yağmur suyu taşıma sistemleri,
  - Muhtelif amaçlı izolasyon işleri,
  - Beton kalıpları,

- Prefabrik binalar,
- Su tankları, mazgal olukları, yeraltı boruları, gıda reyonu kaplamaları, rasathane kubbeleri, açık saha dolapları, ilan panoları vb.
- Otomotiv sektörü;
  - Otomobil kaportaları,
  - Kamyon ve otobüs yan panelleri,
  - Tır dorse yan çitaları,
  - Kamyon rüzgarlık ve ön panelleri,
  - Konteyner imalatı,
  - Karayolu işaret levhaları,
  - Karayolu kenar dikmeleri vs,
  - Formula 1 araçları.
- Savunma sanayi ve havacılık sektörü;
  - Uçak ve helikopter gövde parçaları,
  - Uçak burun ve kanat parçaları,
  - Havan topları gövdeleri ve sandıkları,
  - Kurşun geçirmez panel imalatı,
  - Miğferler,
  - Mayın ve hücum bot parça ve gövdeleri,
  - Barınaklar vs.
- Gıda ve Tarım sektörü;
  - Silolar,
  - Gıda depolama tankları,
  - Salamura tankları,
  - Kültür balıkçılığı ekipmanları,
  - Seralar,
  - Tahıl depoları,
  - Sulama kanalları vs.
- Spor malzeme imalatı (yüksek atlama sırtıkları, tenis raketleri, sörf, yarış tekneleri, kayak takımları vs.),
- Enerji sektörü;
  - İzolatörler,
  - Antenler,

- Devre kesiciler,
- Sigorta ve panel kutuları,
- Aydınlatma gövdeleri,
- Yalıtkan platformlar,
- Elektrik ve aydınlatma direkleri,
- Devre kesici kutular,
- Kablo taşıyıcılar ve kablo kanalları,
- Merdivenler, balast, kofralar vs.

gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

Tablo 1.1: Kompozit malzemenin sektörler arasında Dünya, Avrupa ve Türkiye açısından hacimsel olarak dağılımı.

Kompozit Malzemenin Sektörler Arasında Dünya, Avrupa ve Türkiye Açısından Hacimsel Olarak Dağılımı			
Sektörler	Dünya (%)	Avrupa (%)	Türkiye (%)
Yapı ve inşaat	24,5	20	22
Taşımacılık ve Otomotiv	21	30	20
Elektrik ve Elektronik	19	14	3
Tüketim Malları	6	3	2
Rüzgar Enerjisi	7	12	5
Boru Ve Tank	14	13,5	45
Uzay Ve Havacılık	0,5	0,5	-
Denizcilik	4	5	2
Diğer	4	2	1

### 1.1.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler iki şekilde sınıflandırılabilir;

- Matris malzemesinin türüne göre;
  - Metalik Matrisli Kompozitler,
  - Polimer Matrisli Kompozitler,

- Seramik Matrisli Kompozitlerdir.
- Yapı bileşenlerinin şekillerine göre;
  - Partikül (Parçacık) Takviyeli Kompozitler,
  - Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler,
  - Tabaka Yapılı Kompozitler ( Lamine Kompozitler),
  - Karma (hybrid) Yapılı Kompozitlerdir.

### **1.1.2.1 Metalik Matrisli Kompozitler**

Matris malzemesi olarak metallerin kullanılmasının başlıca nedenleri; yüksek sıcaklıkta çalışmaları, yüksek çekme-basma-eğme dayanımları, genellikle tokluklarının iyi olması ve yüksek dayanım ve yoğunluğa sahip olmaları, ısı ve elektrik iletimlerinin yüksek oluşu, nemden etkilenmemeleri ve yanmaz özellikte olmaları olarak sıralanabilir. Metal matrisli kompozitler getirdikleri bu avantajların yanında bazı dezavantajlara da sahiptirler. Bunlar dezavantajlar; metallerin çoğunun yüksek özgül ağırlıklara sahip olduklarından korozyon dayanımları düşüktür, malzeme ve üretim maliyetlerinin daha yüksek olması olarak gösterilebilir.

En çok kullanılan matris malzemeleri alüminyum, bakır, titanyum, magnezyumdur. Alüminyum, bakır ve titanyum genellikle bor ve silikon karbürler ile takviye edilirler. Magnezyum ve bakır için en sık kullanılan takviye malzemesi ise grafitir.

Metalik matrisli kompozitler uzay, havacılık, otomotiv, elektrik, tıp, spor malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **1.1.2 2 Polimer Matrisli Kompozitler**

Polimer matrisli kompozit malzemeler kompozitler arasında en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bunun nedenleri olarak, kolay işlenebilirlik, hafiflik, istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesi, hammaddelerin nispeten ucuz oluşu ve çok karmaşık ve büyük parçaların bile kolayca üretilebilir olması olarak gösterilebilir.

Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli Kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır;

Termoset matrisler; lif takviyeli kompozit yapımında daha fazla kullanılır ve sıvı halde bulunurlar. Katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılırlar.

Termoplastik matrisler; genellikle sünek ve ısı ile eritilebilir, soğuma ile katılırlar. Bu da onlara tekrar şekil verilebilme kabiliyeti sağlar.

Polimer matrisli kompozitlerden bölüm 2 de detaylı olarak bahsedilecektir. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **1.1.2.3 Seramik Matrisli Kompozitler**

Seramiklerin, düşük yoğunluklu olmaları, çok yüksek sıcaklıklarda çalışabilmeleri (2000°C üzeri) ve elastiklik modüllerinin yüksek olması matris malzemesi olarak kullanılmasındaki en önemli sebeplerdendir. Fakat gevrek olmaları seramiklerin darbelere karşı olan direncini oldukça düşürür. Bunun yanında özelliklerinin değişkenlik göstermesi, mekanik ve termal şoklar ve gerilme dayanımlarının düşük olması seramiklerin diğer dezavantajlarıdır. Sık kullanılan seramik matrisli kompozitler;

- Karbürler (Silisyum karbür, SiC),
- Nitrürler (Silisyum nitrür, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>),
- Oksitler (Alümina mullit, Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>),
- Cam seramikler (lityum alüminasilikat).

Seramik matrisli kompozitlerin başlıca kullanım alanları olarak; roket motorlarında, uzay mekiklerinde, birçok tıbbi alanda (örn;tıbbi implant cihazlarında), türbin motorları, ısı değiştiriciler, otomotiv fren diskleri, motor yalıtım parçaları, egzoz valfleri ve askeri zırh parçaları olarak sınıflandırılabilir. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

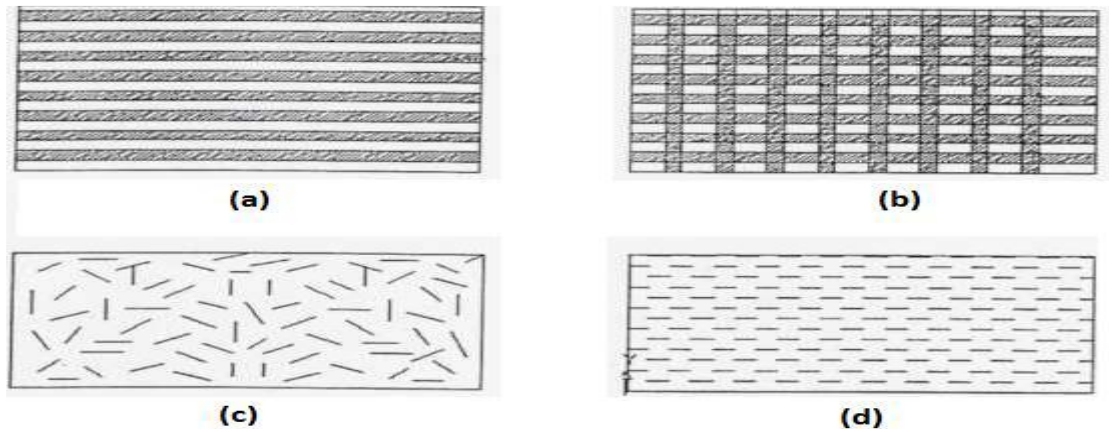
#### 1.1.2.4 Partikül Takviyeli Kompozitler

Partikül takviyeli kompozitler, matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunmasıyla elde edilir. En çok kullanılan parçacıklar ise  $Al_2O_3$  ve SiC'den oluşan seramiklerdir.

Bu kompozitler dayanımı iyileştirmek yerine alışılmışın dışında özellikler elde etmek için tasarlanırlar. Bu kompozitler, seramik, metal ve polimerlerin birleşiminden oluşabilirler. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip polimer matris içinde bulunan metal parçacıklardır. Metal matris içinde bulunan seramik matrisden oluşan yapıların sertlikleri ve yüksek sıcaklıklara dayanımı yüksektir. Bu yapılar kollar, kulplar, elektrik parçaları ve muhafazalar gibi küçük parçaların yapımında kullanılırlar. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

#### 1.1.2.5 Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler

Fiber takviyeli kompozitler, malzemelerin özelliklerinde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin takviyesiyle elde edilen kompozitlerdir. Bu şekilde üretilen malzemelerin mukavemet ve rijitlikleri normal çok üst düzeyde olabilir. Örneğin karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir. Günümüzde düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına kadar birçok alanda kullanılabilirler. Fiber takviyeli kompozitlerin avantajları; malzemenin çekme, eğilme gibi mukavemet değerlerini yükseltmesi, korozyon dayanımlarının yüksek olması, maliyetlerinin düşük olması, tasarım ve uygulamada kolaylık sağlamaları olarak sıralanabilir. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

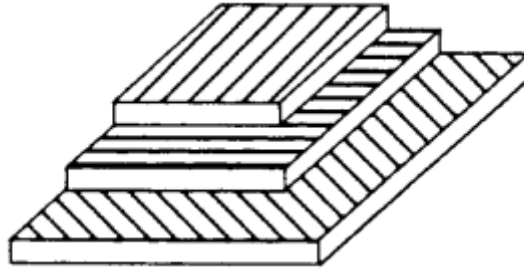


Şekil 1.2: Değişik Tipte Fiber Kompozitler.

- a) Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit,
- b) Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozitler,
- c) Rastgele yönlenmiş süreksiz fiber kompozit,
- d) Yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozit.

### 1.1.2.6 Tabaka Yapılı Kompozitler

Tabaka yapılı kompozitler, farklı özelliklerde birbirine yapışık en az iki farklı malzeme katmanlarından meydana gelirler. Tabakaların birleşimi ile yüksek mukavemette ısıya ve neme dayanıklı yapılar elde edilebilir. Metallere göre daha hafif ve daha mukavemetli olmalarından dolayı tercih edilirler. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).



Şekil 1.3: Tabakalı kompozit malzemelerin şematik gösterimi (Staab, 1999).

### 1.1.2.7 Karma (Hybrid) Yapılı Kompozitler

Bu kompozit türü bir malzemeyle başka bir malzemenin karışımından oluşabileceği gibi, aynı kompozit yapıda iki veya daha fazla takviye malzemesinin kullanılmasıyla da oluşabilen kompozit türüdür. Bu türün en bilinen örneği sandviç kompozitlerdir.

Bu Kompozitler diğer kompozit türlerine göre kısıtlı alanlarda kullanılsa da iyi ısı yalıtım özelliklerine sahip olduklarından özellikle inşaat sektöründe, çatı, duvar, panel ve zeminlerde, uçak gövdelerinde tercih edilmektedirler. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **1.1.3 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri**

Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, matris malzemesine, takviye elamanının cinsine, üretilecek parçanın şekline ve üretim sonunda istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere bağlı olarak belirlenir. Kompozit malzemeler üretim aşamasında iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluştuklarından diğer malzemelere göre üretim teknikleri farklılık gösterir. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri matris cinsine göre farklılık göstermektedir ( Sönmez, 2009; Eker, 2019).

#### **1.1.3.1 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri katı faz ve sıvı faz olmak üzere iki gruba ayrılır. Katı faz üretim yöntemleri, toz metalürjisi tekniği ve difüzyon bağı yöntemi olarak iki gruba ayrılırken sıvı faz üretim yöntemi ise, sıvı metal infiltrasyon, sıkıştırma döküm, sıvı-metal karıştırma ve plazma püskürtme olarak dört gruba ayrılır. Üretim yöntemlerinde üretilecek malzemenin çalışma sıcaklığı aralığı, takviye malzemesinin şekli, takviye edilecek malzemenin matris içinde homojen dağılması, üretilecek malzeme ile takviye malzemesinin uyumu gibi parametreler dikkate alınarak üretim yöntemi belirlenir ( Sönmez, 2009; Eker, 2019).

#### **1.1.3.2 Seramik Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

Seramik matrisli kompozitlerde de kullanılacak takviye malzemesinin türü, malzemenin özelliklerinde ki gibi üretim yöntemlerinde de belirleyicidir. Takviye elamanı olarak genellikle alümina ( $Al_2O_3$ ) ve silisyum karbür (SiC) kullanılır. Seramik malzemelerin üretim yöntemleri, ergitilmiş matrisin sızdırılması ve sıcak preslenmesi, kimyasal buhar kaplama ve sızdırma, kimyasal reaksiyonla bağlama ve toz metalürjisi üretim yöntemleri olarak dört gruba ayrılır ( Sönmez, 2009; Eker, 2019).

#### **1.1.3.3 Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

Polimer matrisli kompozitlerin üretimi, takviye malzemesinin uygun basınç ve sıcaklıkta uygun yöntemlerle matris malzemesine karıştırılması ve matris malzemesinin sertleştirilmesi esasına dayanır. Üretim esnasında takviye malzemesinin yeterince ısıtılması ve matris içinde homojen şekilde dağılması da dikkat edilmesi gereken noktalardan biridir.



Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri açık ve kapalı kalıpla üretim olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bu üretim yöntemlerinden bölüm 2’de detaylı olarak bahsedilecektir.

Polimer; birçok basit birimin tekrarlanmasıyla oluşan büyük yapıli moleküllerdir. Polimerler karbon ağırlıklı olduklarından kovalent bağ içerirler. Polimer yapısını oluşturan moleküller arası bağlar zayıf olduğundan mukavemetleri zayıf ve ergime noktaları düşüktür ( Sönmez, 2009; Eker, 2019).

## **1.2 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler**

Polimer matrisli kompozit malzemeler anlaşılacağı üzere matris malzemesi olarak polimerlerin kullanıldığı kompozit türüdür. Polimer matrisli kompozitler oda sıcaklığındaki özellikleri, düşük üretim maliyetleri ve kolay üretilebilmelerinden dolayı birçok kullanım alanına sahiptirler.

Polimer matrisli kompozit malzemeler kullanılan matrislere ve kullanılan fiberlere göre 2 ana başlığa ayrılabilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Kullanılan Matrisler**

- Termosetler,
- Termoplastikler.

### **Kullanılan Fiberler**

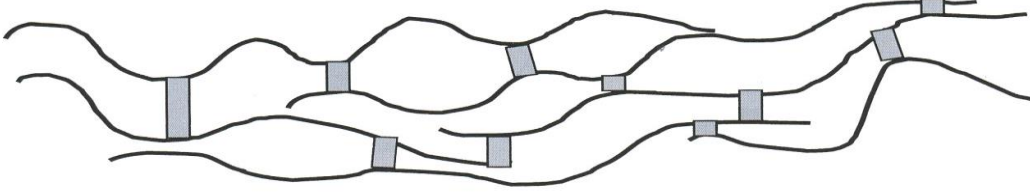
- Cam Fiberler,
- Karbon Fiberler,
- Aramid Fiberler,
- Bor Fiberler.

### **1.2.1 Kullanılan Matrisler**

Termoset polimerler, monomerlerden veya kısa zincirlerden oluşur ve ısıtıldıklarında sert ve rijit hale gelirler. Termoplastikler ise, uzun molekül zincirlerinden oluşan ve ısıtıldıklarında zincirlerin kayma eğilimi gösterdiği polimerlerdir. Bir başka ifadeyle, termosetler ısıyla bir kez şekillendirilirken termoplastikler ısıtılarak birden fazla şekillendirilirler (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### 1.2.1.1 Termoset Polimerler

Termoset polimerler; monomerlerden veya kısa zincirlerden oluşur. Yüksek sıcaklıklarda zincirlerin aralarında karşılıklı bağlar oluşur ve bu bağlar büyük bir moleküle dönüşerek katılışırlar. Termoset polimerler katı hale gelmeden önce bağımsız moleküller içerir ve sertleşme sonrası 3 boyutlu çapraz bağlar oluştururlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).



Şekil 1.4: Termoset Polimer Zincirlerin Çapraz Bağlanması (Biron, 2007).

Termoset matrisler, en çok kullanılan matris malzemeleridir. Termoset matris malzemelerin üretiminde kullanılan malzeme tipleri dört gruba ayrılır. Bunlar;

- Epoksi Reçine,
- Polyester Reçine,
- Vinilester Reçine,
- Fenolik Reçine'dir.

#### Epoksi Reçine

Başlıca polimer matris malzemelerinden biridir ve her türlü elyaf ile kullanılabilir. Kopma mukavemetlerinin yüksek olmaları, yüksek aşınma direncine sahip olmaları, düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşme özelliğine sahip olmaları başlıca avantajları olarak söylenebilir. Bunun yanında maliyetlerinin yüksek olması ve yüksek viskoziteye sahip olmaları gibi dezavantajları da vardır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

#### Polyester Reçine

Polyester reçineler organik asitler ve alkoller arasındaki reaksiyonla üretilirler. Polyester reçine, doymuş ve doymamış polyester olarak ikiye ayrılır. Doymuş polyester reçineler, ısıtıldığında erir ve tekrar şekillendirilebilir. Doymamış polyester reçineler ise, ısıtılıp

sertleştirildiklerinde tekrar şekillendirilmezler. Polyester reçineler, düşük viskozite, düşük maliyet, kolay imal edilme gibi avantajlara sahiptirler. Dezavantajları olarak ise, gevrekleşme eğilimleri ve zayıf kimyasal dirençleri gösterilebilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Vinilester Reçine**

Vinilester reçineler, epoksi reçineler ile akrilik veya meta akrilik asidin reaksiyona sokulması üretilirler. Yapı olarak polyesterlere benzerler fakat polyesterlere göre daha dayanıklı ve esnektirler. En önemli avantajları olarak mekanik dayanımlarının yüksek olması ve çok iyi korozyon dayanımına sahip olmaları gösterilebilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Fenolik Reçine**

Fenolik reçineler, fenol ve formaldehitin reaksiyona girmesiyle oluşur. Isı ve basınç altında üretildiklerinde, iyi ısı ve kimyasal direnç, iyi elektriksel kuvvet sağlarlar. En önemli avantajları yüksek sıcaklıkta dirençli olmaları ve maliyetlerinin düşük olması iken dezavantajları ise mekanik özelliklerinin düşük olmasıdır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Termoset Polimerlerin Avantajları Ve Dezavantajları**

- Termoset polimerler ısıtıldıklarında sıvı hale geçmeden bozunurlar. Bu özellikleri termoset polimerlere ateş ve ısıya karşı koruyucu bir özellik kazandırdığından tercih edilmelerini kolaylaştırır,
- Zincirler arası bağlardan dolayı sürtünme özellikleri daha iyidir,
- Termoplastiklerle kıyaslandıklarında daha yüksek dayanıma sahiptirler.

Termoset polimerlerin bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlar;

- Yapılarında ki çapraz bağlardan dolayı üretim sürelerinin uzun olması,
- Tekrar kullanılmamaları,
- Üretim süreci takip işleminin termoplastiklere kıyasla zor olması,
- Eritilemediklerinden kaynaklanma işleminin yapılamaması. (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

## **Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Termoset Polimerler**

### **Epoksiler**

Likit olarak metalik ve metalik olmayan yüzeylere uygulanan ve çok iyi yapışma özelliğine sahip, suya, asitlere ve alkalilere karşı direnç gösteren kimyasaldır. Epoksiler mekanik ve elektriksel özelliklerinin yüksek olması, korozyona karşı dayanıklılığından dolayı yüksek performanslı kompozitlerin üretiminde kullanılırlar. Laminant ve dökümlerde, yer döşemelerinde, yapıştırıcılarda, denizcilik ve otomotiv sektörü gibi alanlarda kullanılırlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Polyesterler**

Bir alkol ile organik bir asidin tepkimesinden oluşan ürünün polimerleşmesiyle oluşan polyesterler en yaygın polimerik kompozit matris malzemelerdendir. Hem yüksek sıcaklıkta hem de oda sıcaklığında işlenebilme özelliklerinin yanında üretimleri sırasında modifiye edilebildiklerinden kompozit alanında çok yaygın olarak kullanılırlar. Genellikle kumaş üretimindeki liflerde, otomotiv endüstrisinde, inşaat ve gemi endüstrisi gibi alanlarda kullanılırlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Fenolikler**

Fenolik maddeler sert ve gevrek yapıda olmalarının dışında kimyasal direnci ve kararlılığı yüksek malzemelerdir. Oksijen ve ışığa maruz kaldıklarında renklerini kaybettiklerinden dolayı diğer polimerlere göre renklendirilme özellikleri düşüktür. Yüksek ses dayanımı, korozyon dayanımı, ses geçirmezlik ve yüksek alev dayanımı gibi özelliklere sahiptirler. Otomotiv sektöründe, havacılıkta ve yalıtım malzemesi gibi alanlarda kullanılırlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Silikonlar**

Silikonlar silisyum içeren sentetik bileşiklerin genel adıdır. Silikonlar plastikler gibi dirençlidirler ve istenilen şekle sokularak kullanılabilirler. Ayrıca cam gibi ısıya ve rutubete karşı dayanıklıdırlar. Su ve hava geçirmezlik gibi özelliklere de sahiptirler. Silikonlar, elektrik-elektronik, otomotiv, tekstil, medikal, kozmetik, inşaat gibi birçok sektörde kullanılabilirler (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

## **Poliüretanlar**

Poliüretanlar çok çeşitli özelliklere sahip olacak şekilde ekzotermik reaksiyon sonucu elde edilirler. Poliüretanların kimyasal toz ve nem dirençleri çok yüksektir. Metal ve plastik malzemelerin arasında elektrik yalıtımı ve iyi derecede yapışma sağlar. Poliüretanlar, otomotiv, elektrik-elektronik gibi sektörlerde kullanılabilirler (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **1.2.1.2 Termoplastik Polimerler**

Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunurlar ve ısıtıldıklarında eriyebilen ve tekrar kullanılabilen polimerlerdir. Soğutulup sertleştirilen termoplastikler kolayca şekillendirilirler ve bu şekillendirme sırasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Termoplastikleri oluşturan kristalleşebilen zincirler tam anlamıyla bir kristal yapı kuramayabilirler. Bunun yerine içeriğinde hem amorf hem de kristal yapıyı bulunduran yarı kristaller oluştururlar. Yarı kristalin içerisinde bulunan amorf yapı malzemelerin ısıtıldıklarında yapının çözünmesine ve viskoz bir sıvıya dönmesine yol açarken kristal yapı ise mukavemeti sağlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Termoplastik Polimerlerin Avantajları Ve Dezavantajları**

- Tekrar tekrar ısıtılıp şekillendirildiklerinden dolayı geri dönüştürülürler,
- Hemen hemen her türlü şekilde kalıplanabilirler,
- Termosetlere göre üretimde süreci takip etmek daha kolaydır,
- Yapılarında çapraz bağlar bulunmadığından üretimlerinde çevrim süreleri kısadır.

Termoset polimerlerin avantajları yanında başlıca dezavantajları olarak;

- Yapılarında çapraz bağların olmaması ısıya karşı dirençlerini düşürür,
- Termoset polimerlere göre sürtünme özellikleri kötüdür,
- Termosetlerle kıyaslandığında ısıya karşı dayanıklı değildirler (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

## **Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastikler**

### **Selüloz**

Selüloz bitkilerde bulunan doğal bir polimerdir ve genellikle pamuk veya ağaçtan elde edilir. Ham selüloz tabakasının bükülebilme özelliği çok az olduğundan plastikleştirilmesi gerekir. Bunun için en iyi madde sudur ve plastik olan tabakanın gliserin içerisine daldırılmasıyla % 1 oranında su selüloza girer. Burada gliserin plastikleştirici etkisinin yanında suyu da plastiğin bünyesinde tutar. Alet sapları, şalter kolları, mobilya, direksiyon kaplamaları, oyuncak vb. alanlarda kullanılırlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Polietilen**

Polietilenler, düşük yoğunluğa ve düşük ergime noktasına sahip polimerlerdir. Sıcaklığa, kristallik derecesine ve yoğunluğa göre mekanik özellikleri değişkenlik gösterir. Deformasyona, neme karşı dayanımları yüksek ve kolay olarak işlenebilirler. Elektriksel özellikleri de oldukça yüksektir. Bunların yanında ısıya ve çevresel faktörlere karşı dayanımı düşük olduğundan kolayca çatlamalara yol açabilirler. Ayrıca yapışkanlık özellikleri de düşüktür. Paketleme sektöründe, ev eşyalarında, oyuncak sektöründe ve boru yapımında kullanılabilirler (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Poliamid**

Poliamidlerin en yaygın olarak bilinenleri naylonlardır. Naylonlar aminoasitlerin yoğunlaşma polimerleşmesiyle elde edilirler. Sürtünme katsayıları düşük fakat mekanik özellikleri ve aşınma dirençleri iyidir. Naylonların kendi kendini yağlama özellikleri vardır ve bundan dolayı özellikle düşük sürtünmenin gerekli olduğu dişli parçalarında tercih edilirler. Dezavantajları olarak nem alma ve yüksek maliyet gösterilebilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

### **Polikarbonat**

Termoplastiklerin özel bir grubudur. Boyutsal kararlılığı ve darbe dayanımı oldukça yüksek sert ve pahalı bir polimerdir. İşlenmesi ve kalıplanması kolaydır. Ayrıca polikarbonatlar oldukça şeffaf ve ışığı geçiren bir yapıdadırlar. UV ışınlarına karşı dayanımı düşüktür. Işık geçirgenliğinden dolayı özellikle aydınlatma cihazlarında optik cihazlarda otomotiv aydınlatma parçalarında kullanılırlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

## **Polipropilen**

Polipropilen sert, sağlam ve özgül ağırlığı düşük bir polimerdir. Ayrıca maliyeti düşük, yorulmaya karşı dirençli, sürtünme katsayısı düşük ve çok iyi elektrik yalıtımına sahiptir. Bu avantajlarının yanında UV ışınlarına karşı dayanımı düşüktür ve düşük sıcaklıklarda çatlayabilirler. Otomotiv parçalarında, beyaz eşyalarda ve boru ürünlerinde kullanılırlar (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

## **Poliviklorür (PVC)**

PVC tuz ve petrol bazında üretilen termoplastik bir üründür. İşleme kolaylığı ve ucuz olması PVC'yi en çok kullanılan polimerlerden biri yapar. Sert ve gevrek bir malzeme olan PVC eriyik halde yüksek viskozite değerine sahiptir. Ayrıca aşınma direnci yüksek, kimyasal ve nem direnci iyi ve titreşim sönümleme özelliğine sahiptir. PVC çok yüksek sıcaklıklarda kolaylıkla bozulur ve açığa hidroklorik asit ortaya çıkarır. PVC inşaat sektöründe, ambalaj ve paketleme sektöründe, çeşitli tıbbi parçalarda, elektrik-elektronik parçalar gibi alanlarda kullanılabilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018).

## **1.2.2 Fiberler**

### **1.2.2.1 Cam Fiberler**

Cam fiberler (eylaflar), çok ince cam telciklerinden üretilen maddelerdir. Fiber takviyeli kompozitler arasında en yaygın olarak kullanılan çeşittir. Yüksek çekme mukavemeti, kimyasal maddelere karşı yüksek direnç, elektriği iletmemeleri ve maliyetlerinin düşük olması gibi avantajları yanında ısı dirençlerinin düşük olması, düşük elastik modülü, özgül ağırlıklarının yüksek olması ve düşük yorulma dirençleri gibi dezavantajları da vardır.

Cam fiberlerin en yaygın olarak kullanılan türleri E-Cam ve S-Cam olanlarıdır. E-Cam türü elektrik uygulamalarında kullanılırken S-Cam ise daha yüksek sıcaklık ve mukavemet değerleriyle beraber daha yüksek yorulma dayanımına da sahip olduğundan uzay uygulamalarında tercih edilir.

### **1.2.2.2 Karbon Fiberler**

Karbon fiber, katron, naylon ve orlondan oluşur ve çeliklerden 4.5 kat daha hafif ve 3 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca cam elyaflara göre de daha güçlü ve hafiftir. Karbon fiberler hafif ve dayanıklı olmasının yanında uzun ömürlü olmasından dolayı da tercih edilir. Karbon fiberlerin en önemli dezavantajı yüksek üretim maliyetleridir. Özellikle hafiflik istenilen havacılık, uzay, spor araç üretimi gibi alanlarda sıkça tercih edilir. Bu alanların yanında elektrik-elektronik, inşaat, telekominikasyon gibi kullanım alanları da vardır (Saffet, 2018).

### **1.2.2.3 Aramid Fiberler**

Aramid kelimesi “aromatik poliamid” in kısaltılmış halidir. Kevlar adı ile de bilinir ve çeliğe yakın bir sertliğe sahiptir. Aramid elyaflar, hafif, yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklara ve kimyasallara karşı yüksek direnç gibi özelliklere sahiptir. Bunun yanında asit ve alkalilerden etkilenme, düşük basma mukavemeti, kesme ve işleme zorluğu gibi dezavantajları da vardır. Aramid fiberler, uçak yapılarında, koruyucu kask ve kıyafetlerde, ateşe karşı dayanıklı giysilerde ve spor malzemeleri gibi alanlarda kullanılırlar (Saffet, 2018).

### **1.2.2.4 Bor Fiberler**

Bor fiberler, çekirdek olarak isimlendirilen ince bir flamanın üstüne bor kaplanarak üretilirler. Bor elyafı çekme dayanımı açısından karbon elyafa eşdeğer olup basma mukavemeti açısından ise karbonun elyafın yaklaşık iki katıdır. Bor fiberlere silisyum karbür ya da bor karbür gibi kaplamalar yapılarak yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı artırılabilir. En önemli dezavantajı maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bunu yanında çok iyi mekanik özelliklere sahip olduğundan havacılık ve uzay sanayii ile spor malzeme üretimlerinde kullanılır (Saffet, 2018).

## **1.2.3 Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

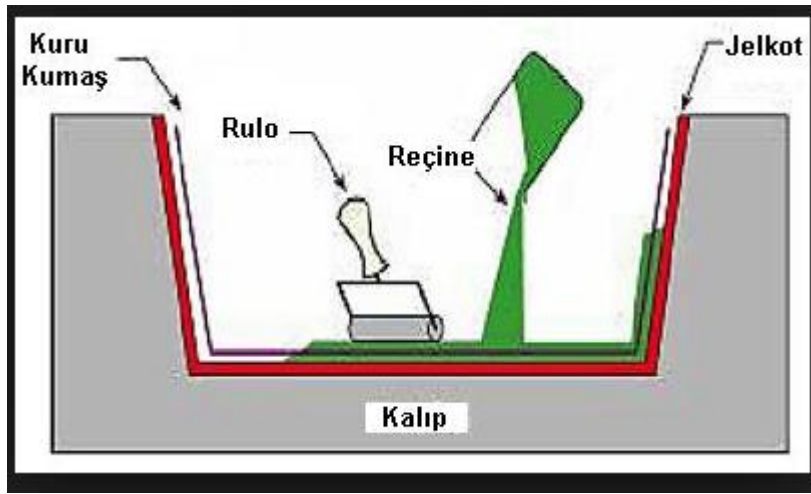
Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri açık kalıplama ve kapalı kalıplama olarak iki gruba ayrılır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



### 1.2.3.1 Açık kalıplama yöntemleri

#### El Yatırma Yöntemi

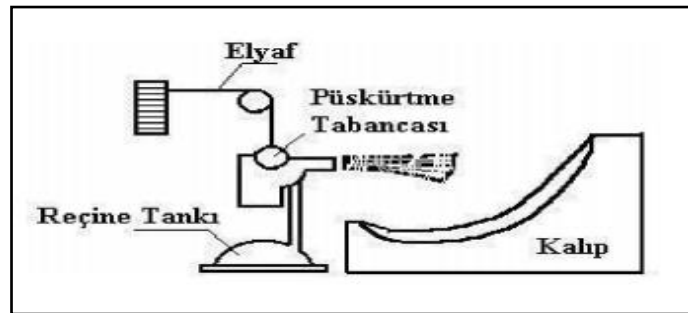
Bu yöntemde, elyaf malzeme daha önceden hazırlanan kalıp içine yerleştirilir ve reçine fırça gibi bir aletle elyafın üzerine sürülür. Elyaf malzeme olarak genellikle keçe veya dokuma biçimli elyaf kullanılır. Bu işleme istenilen kalınlık elde edilinceye kadar devam edilir. Reçine içinde kalan hava bir rulo yardımı ile çıkarılır. Bu işlemde en çok kullanılan reçine türleri; polyester ve epoksidir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



Şekil 1.5: El yatırma yönteminin üretimi.

#### Püskürtme yöntemi

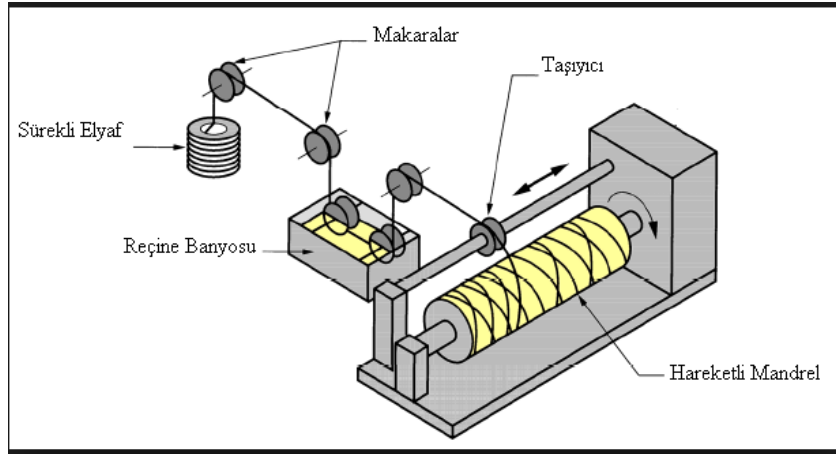
Prensip olarak el yatırma yöntemiyle benzerdir. El yatırma yönteminden farkı ise reçinenin elyaf üzerine sürülmesi elle değil bir püskürtme tabancası ile yapılır. El yatırma yöntemine göre hem daha hızlı hem de daha ucuz bir yöntemdir. Oto kaportası, kayık, küvet ve yüzme havuzlarının iç yüzeyleri bu yöntem ile kaplanır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



Şekil 1.6: Püskürtme yönteminin şematik gösterimi.

## Elyaf Sarma Yöntemi

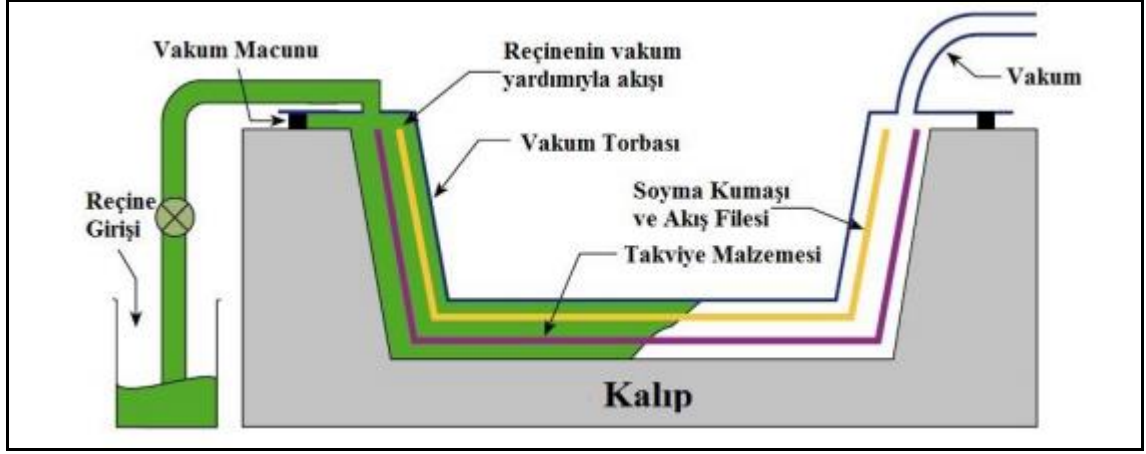
Elyaf sarma yöntemi, elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makara yardımıyla dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Genellikle silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, roket motor kasaları bu yöntem kullanılarak üretilir. Polyester, epoksi ve silikon reçineler kullanılabilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



Şekil 1.7: Elyaf sarma yönteminin şematik gösterimi.

## Vakumlu Kalıplama Yöntemi

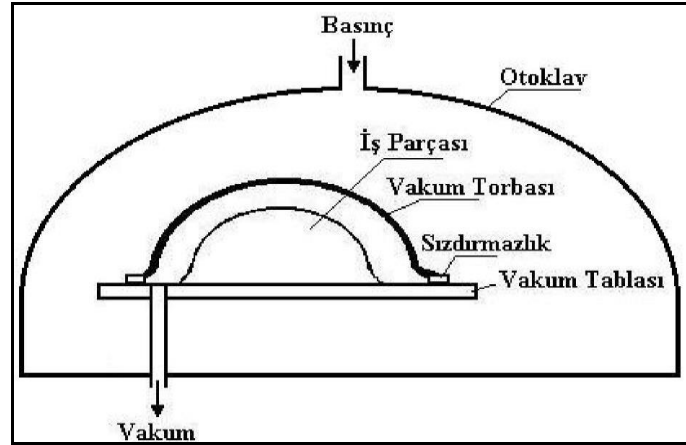
Kompozit malzeme önceden hazırlanan bir kalıba yerleştirilir ve kalıbın üzeri vakum torbası ile kapatılır. Daha sonra torbanın içerisinde bulunan hava emilmeye başlanır. Hava emildikçe vakum torbası malzemenin üzerine basınç uygulayarak aşağıya doğru çekilir. Burada oluşan basınç parçanın şekillenmesini ve içerisinde oluşabilecek hava kabarcıklarının uzaklaşmasını sağlar. İşlem sırasında vakum torbası olarak genellikle selefona veya naylon kullanılır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



Şekil 1.8: Vakumlu kalıplama yöntemi.

### Otoklav Yöntemi

Otoklav yöntemi uygulama olarak vakumlu kalıplama yöntemine benzemekle beraber vakumlu kalıplamadan farkı düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın parça üzerine uygulanabilmesidir. Burada düzenli ve kontrol edilebilir bir basınç için bir dışsal basınca ihtiyaç duyulur ve ihtiyaç duyulan bu basınç azot gazı ile sağlanır. Kullanılan otoklav sayesinde özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit malzemeler üretilebilir. İşlem olarak uzun ve pahalı bir yöntemdir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).

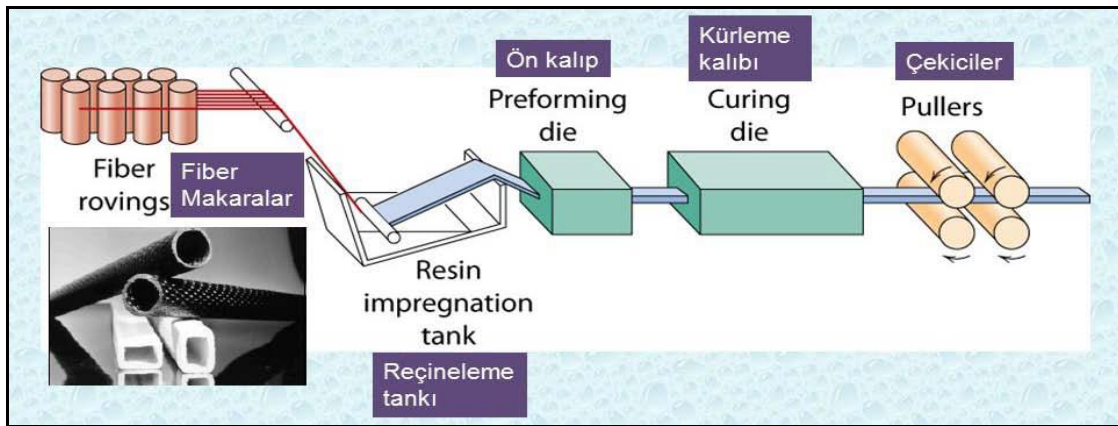


Şekil 1.9: Otoklav yöntemi şematik gösterimi.

### 1.2.3.2 Kapalı Kalıplama Yöntemleri

#### Pultruzyon Yöntemi

Bu yöntemde takviye malzemesi olan fiberler daha önceden ısıtılmış bir kalıptan geçirilerek sertleştirilir ve şekillendirilir. Bu yöntemin avantajları olarak düşük maliyet ve yüksek hacimdeki parçaların üretilebilmesi gösterilebilir. Bu yöntem ile profiller, levhalar, korkuluklar gibi parçalar üretilebilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).

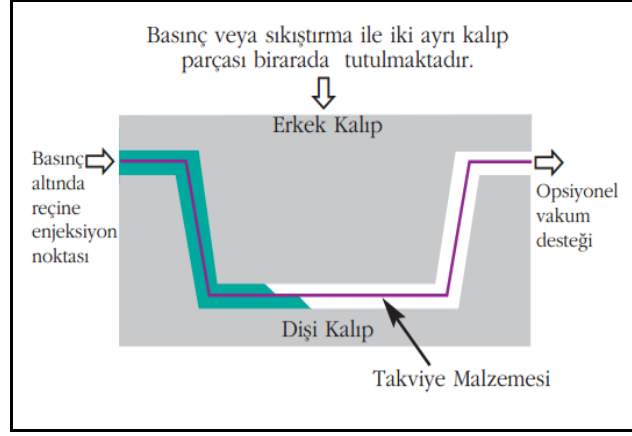


Şekil 1.10: Profil çekme yöntemi üretim şeması.

#### Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi

Bu kompozit üretim yönteminde iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir ve her iki yüzeyinde düzgün olması istenilen durumlarda kullanılır. En önemli avantajları olarak düşük maliyet ve kompleks parçaların üretilebilmesi gösterilir.

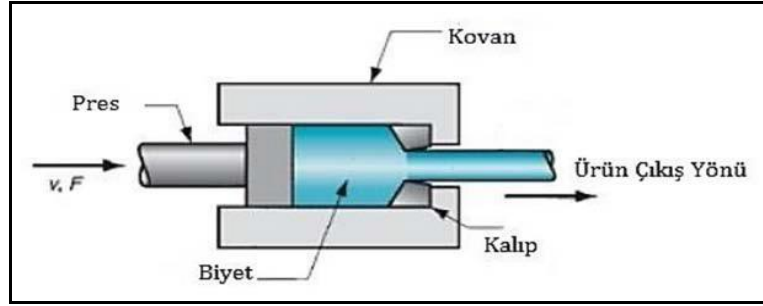
Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğunu dolduracak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyafın matris içinde sürüklenmesini önlemek için geç çözünen reçinelerle kaplanır. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Matris işlemi genellikle soğuk, ılık veya en çok 80 °C'ye kadar ısıtılmış kalıplarda uygulanabilir. Bu yöntemle ile karmaşık şekilli bazı uçak ve spor araba parçaları üretilebilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



Şekil 1.11: RTM Kalıbı ile İmalat Yöntemi.

### Ekstrüzyon yöntemi

Ekstrüzyon işlemi, bir metalin ısıtılarak akışkan hale getirilip daha sonra bir kuvvet yardımıyla kalıp içerisinden geçirilerek şekillendirilmesi işlemidir. Bu yöntem ile, tel, çubuk, boru, profil vb. parçaların imalatı yapılabilir. En önemli avantajları ise ucuz olmasıdır (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



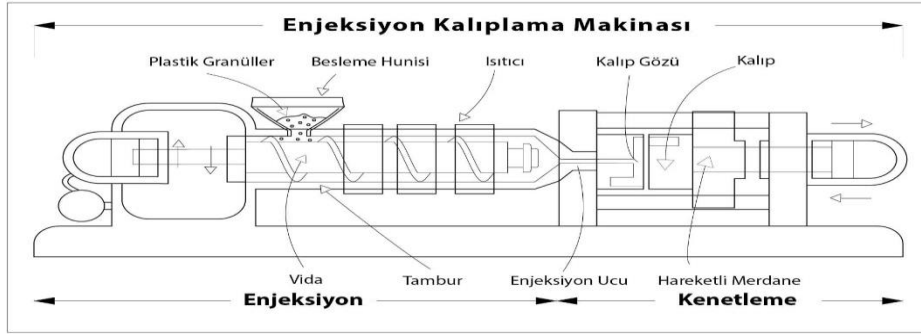
Şekil 1.12: Ekstrüzyon Yöntemi Şematik Gösterimi.

### Hazır Kalıplama Yöntemi

Hazır kalıplamada içerisinde, cam elyaf, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri bulunduran ve kalıplama işlemi için hazır tutulan kompozit malzemelerin ısıtılmış metal kalıplar yardımıyla ürün haline getirilmesidir. En önemli avantajları karmaşık şekilli parçaların üretilmesi ve farklı cidar kalınlıklarına sahip parçaların üretilebilmesi olarak gösterilebilir. Dezavantajları olarak ise kalıpların saklanması gerekmesi, diğer yöntemlere göre maliyetinin yüksek olması gösterilebilir (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).

## Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyonla kalıplama yönteminde, ısıtılarak erimiş hale getirilen plastik malzeme yüksek basınç yardımıyla bir kalıp içine doldurulur ve şekillendirildikten sonra soğutulur ve kalıptan çıkarılır. Bu yöntem ile çok çeşitli boyutlarda ve kategorilerde parçalar kısa sürelerde üretilebilir. Yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı yüksek sayıdaki üretimler için daha uygundur (Sönmez, 2009; Saffet, 2018; Eker, 2008).



Şekil 1.13: Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi.

## 1.3 Aşınma

Aşınma, malzeme yüzeyinden mekanik etkiler sonucunda mikro parçacıkların ayrılması ve malzemede istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesi olayıdır (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### 1.3.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

#### 1.3.1.1 Malzeme seçimi

Malzeme seçimi aşınma olayını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Malzeme seçiminin yanlış yapılması aşınma oranını arttırabileceği gibi ciddi anlamda da maddi kayıplara sebep olabilmektedir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.1.2 Sürtünme**

Genel olarak sürtünme ile aşınma arasında doğru bir orantı kurulabilir. Sürtünme katsayısı arttıkça aşınma oranı artabileceği gibi bazı metaller düşük sürtünme katsayısına sahip olmalarına rağmen aşınma oranları yüksektir. Bazen de sürtünme katsayısının yüksek olduğu metallerde düşük aşınma oranına sahip olabilirler (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.1.3 Uygulanan yük**

Aşınma miktarı ile uygulanan yük arasında da doğru bir orantıya sahiptir. Uygulanan yük miktarı arttıkça aşınma artarken tersi durumda da aşınma miktarının düştüğü gözlenir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.1.4 Yüzey sertliği**

Yüzey sertliği de aşınmayı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yüzey sertliği ile aşınma arasında ters bir orantı vardır. Yüzey sertliğinin artırılması aşınma miktarı ile beraber yüzeyde meydana gelen deformasyon oranını da azaltabilir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.1.5 Yüzey pürüzlülüğü**

Yüzey pürüzlülüğünün özel durumlar dışında genellikle belli bir değerde olmasına dikkat edilir. Yüzeyin çok temiz olması yüzeyler arasında soğuk kaynak oluşumuna sebep olurken yüzey pürüzlülüğü fazla olan yüzeylerde ise aşınmanın artmasına sebep olur (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.1.6 Yağlama**

Yağlama aşınmaya karşı alınabilecek en önemli önlemlerden biridir. Sürtünen yüzeylere uygulanan yağlama işlemi ile parçaların teması ve aşınma önlenir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.2 Aşınma Türleri**

Aşınma türleri dört ana başlık altında sınıflandırılabilir;

- Adhesiv Aşınma,
- Abrasiv Aşınma,
- Yorulma Aşınması,
- Korozif Aşınma,
- Erozyon Aşınmasıdır (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

#### **1.3.2.1 Adhesiv Aşınma**

Adhesiv aşınma, iki yüzeyin kayma hareketi sırasında birbirleriyle etkileşimi sonucunda yüzeydeki pürüzlerin bağlanması ile malzeme kaybı meydana gelmesi olayıdır. Temas halindeki yüzeylerde zamanla meydana gelen kesme gerilmelerinin sonucunda bağlantı noktalarında kopma ve aşınma meydana gelir. Burada kopmayı meydana getiren yüzeydeki pürüzlerin birbirine kaynamasından dolayıdır. Adhesiv aşınmayı önlemek için alınacak önlemler olarak, malzeme çiftleri uygun olarak seçilmeli, iyi bir yağlama sağlanmalı ve yüzey sertleştirme işlemleri yapılabilir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

#### **1.3.2.2 Abrasiv aşınma**

Abrasiv aşınma çizilme ya da yırtılma aşınması olarak da bilinir. Bu aşınma, malzeme yüzeyinden malzemedeki daha sert bir parçanın basınç altında yüzeyden talaş kaldırması işlemidir. Abrasiv aşınma sistemde hızlı bir hasara yol açmaktadır. Meydana gelen aşınma malzeme çifti arasındaki sertlik farkından dolayı oluşuyorsa iki cisimli aşınma, eğer dışarıdan aşındırıcı parçacıklar da aşınmayı etkiliyorsa buna da üç cisimli aşınma adıyla tanımlanmaktadır. Abrasiv aşınmayı önlemek için, yüzey sertliğini arttırmak, aşınmaya neden olabilecek parçacıkları uzaklaştırmak gibi önlemler (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

#### **1.3.2.3 Yorulma aşınması**

Yorulma aşınması, bir iz üzerinde tekrarlanan kayma veya yuvarlanma sırasında meydana gelir. Değişken yükler altında maksimum kayma gerilmelerinin olduğu bölgeler de plastik deformasyon sonucunda küçük boşluklar meydana gelir ve bu boşluklar zamanla



büyüyerek yüzeyde küçük boşlukların oluşmasına neden olurlar buda yorulma aşınmasını oluşturur. Bu aşınmanın adhesiv ve abrasiv aşınmadan farklı çevrimsel bir temasın sonucunda oluşmasıdır. Yorulma aşınması genellikle, dişli çarklarda, rulmanlı yataklar ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

#### **1.3.2.4 Koroziif aşınma**

Koroziif aşınma kayma aşınmasının koroziif bir ortamda meydana gelmesiyle oluşur. Koroziif aşınma kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleriyle beraber de oluşabilir. Birbirine temas eden yüzeylerde korozyon ürünleri yüzeyler üzerinde bir film tabakası oluşturur ve bu film tabakası koroziif aşınmayı yavaşlatır. Fakat kayma işlemi zamanla bu filmi kaldırır ve koroziif aşınma devam eder. Koroziif aşınmaya neden olan en önemli faktör oksijenin neden olduğu pastır. Koroziif aşınmayı önlemek için, oksitten korumaya yardımcı kaplama yapmak ve oksijenle reaksiyona girmeyecek malzemeler kullanmak gerekir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

#### **1.3.2.5 Erozyon aşınması**

Erozyon aşınması, parçanın yüzeyine katı partiküller, sıvı damlacıkları veya gaz kabarcıklarının çarpması sonucu oluşan aşınma türüdür. Bu aşınma diğer aşınma türlerinden farklı olarak malzemenin dayanımına bağlı olmayabilir. Erozyon aşınması, partiküllerin çarpma açısına, çarpma hızına ve partikül boyutu gibi parametrelere bağlıdır. Erozyon aşınması, gaz türbinleri pervaneleri, uçak pervaneleri gibi alanlarda meydana gelebilir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### **1.3.3 Aşınma Kaybı Ölçüm Yöntemleri**

#### **1.3.3.1 Ağırlık Farkı Metodu**

Ağırlık farkı metodu, ölçüm yöntemleri içerisinde hem ekonomik hem de hassas sonuçlar edilmesinden dolayı en çok tercih edilen yöntemdir. Aşınma kaybının ölçülmesinde  $10^{-3}$  veya  $10^{-4}$  gr. oldukça hassas bir terazi kullanılmaktadır. Meydana gelen aşınma kaybı, gram veya miligram cinsinden ifade edildiğinde, sürtünme mesafesine karşılık gr/km veya

mgr/km cinsinden eğer birim alan için ifade edilecek ise gr/cm<sup>2</sup> cinsinden ifade edilir. Eğer ağırlık kaybı hacimsel olarak ifade edilecek ise, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yükün ağırlığı hesaba katılarak birim yol ile birim yük ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı değerinden aşınma miktarı hesaplanabilir.

Ağırlık farkı metodunda aşınma miktarı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

$$W_s = \Delta_m / d F_n S = \Delta_v / F_n S \quad (1)$$

Ws: Özgül aşınma miktarı (mm<sup>3</sup>/Nm),

d: Yoğunluk (mgr/mm<sup>3</sup>)

$\Delta_m$ : Ağırlık kaybı (mgr),

$F_n$ : Uygulanan normal kuvvet (N)

S: Aşınma mesafesi (m)

### 1.3.3.2 Kalınlık Farkı Metodu

Kalınlık farkı metodunda aşınma miktarı, aşınma sırasında oluşan boyut değişikliğinin ölçülüp, başlangıçtaki boyut değeri ile kıyaslanmasıyla hesap edilir. Elde edilen kalınlık farkından hacimsel kaybın değeri hesap edilerek birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

### 1.3.3.3 İz Değişim Metodu

İz değişim metodunda, aşınan yüzeyde oluşan plastik deformasyon kullanılarak geometrisi belli olan bir iz oluşturulur. Bu izin oluşumunda Brinell veya Vickers sertlik ölçüm uçlarından yararlanılır. Bu uçların oluşturduğu iz boyutlarındaki değişim bir mikroskop yardımıyla ölçülerek aşınma miktarı belirlenir (Gür, vd., 2006; Bağcı, 2005; Yılmaz, 2013).

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sharifi vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada açık hücreli Al-Mg / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-Mg / SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün kuru kayma aşınma davranışı. Basınçsız sızma tekniği ile üretilen kompozit preformlar adlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Al-Mg / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al-Mg / SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitleri basınçsız sızma ile hazırlanmıştır. Oksit film oluşumunu önlemek için titreşim kullanılmıştır. Alüminyum eriyik 850°C seramik preformlardır. Kompozit aşınma davranışı disk üzerine pin yöntemi ile incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki kompozit aşınma davranışı malzeme türüne ve takviyenin ppi sayısına bağlıdır. Çeşitli faktörler hücre boyutu, yoğunluğu ve aşınma mekanizmalarını etkileyen farklı aşınma yükleri dahil olmak üzere, anket uygulanmıştır. Ortaya çıkan sonuçta daha küçük hücre boyutlarına ve daha yüksek yoğunluklara sahip olan kompozitlerin daha düşük aşınma oranlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Tüm kompozit numunelerde, abrasiv aşınma mekanizması 6.5 N yükte, adhasiv ve delaminasyon aşınma mekanizması ise sırasıyla 18 ve 30 N yüklerde görülmüştür.

Shi vd. (2004) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı Nano- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren farklı ön işlemlere sahip epoksi parçacıkların kayma aşınma davranışının incelenmesidir. Geliştirmek için dolgu maddeleri ve matris polimer arasındaki arayüz etkileşimi, nanopartiküller, silan birleştirme maddesi veya aş polimerizasyonu kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, sürtünme katsayısı ve epoksi aşınma oranının oldukça düşük bir oranda azaltılabileceğini göstermiştir. nano- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün konsantrasyonu ve ayrıca taneciklerin ön muameleleri, bu olumlu etkiye neden olmuştur. En düşük spesifik aşınma oranı doldurulmamış epoksi değerinde kıyasla, Poliakrilamid ile aşınmış, % 0.24 hacim nano- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozitlerde  $1.6 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup> / Nm gözlenmiştir. Her ne kadar nano- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin eklenmesi, artmış bükülme modülüne yol açsa da epoksi bükülme mukavemeti olan kompozitlerin aşınma performansı bu statik mekanik özelliklerle ilişkili değildir. Tersine, aşınma direnci ile darbe dayanımı arasında pozitif bir ilişki vardır.

Pan, vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı nanometre  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  ile güçlendirilmiş PEEK kompozitlerinin aşınma davranışlarının incelenmesidir. Bu çalışmada  $Al_2O_3$  partiküllerin çapının ve içeriğinin yıpratma aşınması altındaki tribolojik davranışlara etkisi araştırılmıştır. Aşınma izinin topografyasını tanımlamak ve kimyasal elementlerin sürtünme içindeki dağılımını analiz etmek için sırasıyla PEEK kompozitin ve çelik bilyenin yüzeyi SEM ve EDS tarafından incelenmiştir.  $Al_2O_3$  tozunun doldurulmasının sürtünme aşınmasını iyileştirdiği görülmüştür. PEEK kompozitinin direnci  $Al_2O_3$  çapının artmasıyla numunede aşınma alanı önce artar ve sonra azalır. Bununla birlikte,  $Al_2O_3$  içeriğinin artırılmasıyla kompozitlerin aşınması monoton olarak artar. Her ne kadar PEEK içinde ağırlıkça % 10 ve 200 nm PTFE tozunun doldurulmasına rağmen tüm örneklerde en az aşınma,  $Al_2O_3$  ve PTFE PEEK içerisinde birlikte bulunduğu sinerjistik etki bulunamamıştır. PEEK kompozit ve çelik bilyalı sürtünme çifti, aşındırıcı aşınma ve yapıştırıcılar için aşınma sırasında aşınma mekanizmasına hakimdir. Yıpratma sırasında termal etki çok önemli bir rol oynar; bu nedenle polimer malzeme için sıcaklık dayanımı özelliği, aşınma izi yüzeyindeki aşınma direncini etkiler.

Ahmed vd. (2012) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı SiC /  $Al_2O_3$  dolgulu jüt / epoksi kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışının incelenmesidir. Jüt / epoksi kompozitlerin % 5, % 10 ve % 15 dolgu maddesi içeren laminatları reçine ağırlığına dayalı olarak el yatırma tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Kuru kayma aşınma testleri, disk üzerinde pim aşınma test cihazı kullanılarak yapılmıştır. 1800 m. ve 50 mm'lik sabit bir kayma mesafesi için testler yapılmıştır. Her bir bileşim için, 30 N, 40 N ve 50 N normal yüklerin uygulanmasıyla farklı kayma hızları (3 m / s, 4.5 m / s ve 6 m / s) için aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma kaybı ve sürtünme katsayısı; her iki tip dolgu maddesiyle kompozitler için normal yüke ve kayma hızına karşı çizilmiştir. Sonuçlar, dolgu maddelerinin kullanılmasının, jüt / epoksi kompozitinin aşınma direncinde önemli bir iyileşmeye yol açtığını ortaya koymaktadır.  $Al_2O_3$  dolgulu kompozitin, SiC dolumundan daha iyi aşınmaya dayanıklı olduğu gözlenmiştir. Seçilen numunelerin aşınmış yüzeyleri, ince bir altın tabakası ile püskürtülerek kaplanmış ve daha sonra aşınma mekanizmasını analiz etmek için taramalı elektron mikroskopisine tabi tutulmuştur.

Umanath vd. (2013) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı Al6061 / SiC / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hibrit metal matriks kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışının analiz edilmesidir. Bu makale, Al6061-T6'nın silisyum karbür (SiC) ve alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kompozit ile sürekli olarak takviye edilmiş aşınma davranışını sunmaktadır. Test örnekleri ASTM standardına göre hazırlanır ve test edilir. Deneyler, disk aşınma test cihazında bir pim kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel regresyon analizi ve varyans analizi (ANOVA) kullanılarak aşınmayı tahmin etmek için ampirik ilişki kurulur. Sonuçlar, % 15'lik karma kompozitin aşınma direncinin % 5'lik kompozitten daha iyi olduğunu göstermiştir. Kompozitlerin kırılma yüzeyi sünek yırtılma sırtlarını gösterir ve hem sünek hem de kırılma kırılma mekanizmasını gösteren kırılmış SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarını gösterir.

Bhaskara vd. (2017) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı takviye ve aşınma parametrelerinin alüminyum kompozitlerin kuru kaygan aşınması üzerine etkisinin incelenmesidir. Alüminyum alaşımlı kompozitler, yüksek mukavemet, yüksek sertlik, yüksek ağırlık / ağırlık oranı ve daha iyi aşınma direnci gibi mükemmel mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle uçak, havacılık, otomobil ve diğer çeşitli alanlar gibi mühendislik uygulamalarında kullanılır. Otomobil sektöründe fren kampanası, silindir, silindir gömlekleri, pistonlar, piston segmanları gibi bileşenler, kuru kayma aşınmasının baskın bir süreç olduğu alüminyum kompozitler tarafından üretilmektedir. Alüminyum kompozitlerin oda sıcaklığında kuru kayma aşınma özellikleri, Disk üzerinde Pin aşınma test cihazı kullanılarak incelenmiştir. Kuru kayma aşınma oranını etkileyen parametreler; yük, kayma mesafesi, kayma hızı ve donatıdır. Bu yazıda alüminyum alaşımlı kompozitlerin mekanik ve kuru kayma aşınma davranışını çeşitli etki aşınma parametreleri ile incelemek için bir girişimde bulunulmuştur.

Pramoda vd. (2017) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile ilgili bir çalışma Yapay Sinir Ağları kullanarak Al7075 Metal Matriks Kompozitlerin aşınma davranışının güçlendirilmesidir. Aluminuim metal matris kompozitleri [MMC'ler], deniz, havacılık ve otomotiv uygulamaları için mükemmel aşınma direnci ve mekanik özellikleri nedeniyle geleneksel malzemeler üzerinde geniş çapta aranmaktadır. Al7075 alaşımı yüksek mukavemet ve tokluğa sahip olmasına rağmen, aşınmaya karşı zayıf direnç sergilerler ve bu özelliği geliştirmek için matris Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik partikülleriyle takviye edilmiştir. MMC, matrisi, ağırlık yüzdesi %2 ila %6 arasında değişen ortalama 150 um'lik Alümina partikülleriyle takviye edilerek vakum destekli karıştırma tekniği kullanılarak üretilmiştir.

Aşınma sonucu, makine bileşenlerinin zarar görmesine neden olur ve bu karmaşık olguyu analiz etmek için ASTM G99 standartlarına göre L27 ortogonal dizi tekniği kullanılarak deney yapılmıştır. Baz alaşımı Al7075 ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin aşınma-yüksekliği bakımından malzeme kaybının, uygulanan yük ve kayma mesafesi arttıkça arttığı, benzer bir eğilimin matris malzemesinde takviye Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Yoğunluk, aşınma yüksekliği kaybı, kayma mesafesi ve partikül takviyesinin ağırlık yüzdesi arasında doğrusal olmayan bir ilişki kurmak için Al7075- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin tribolojik özelliklerinin tahmini için Levenberg-Marquardt optimizasyon tekniği kullanılarak bir Yapay Sinir ağı [ANN] kurulmuştur. Deneysel ve YSA model sonuçları arasında iyi bir anlaşmaya varılmıştır. YSA tahmininden sonra, doğrulama için deneysel sonuçlar için doğrulama testleri yapılmıştır.

Bhaskar vd. (2012) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı Taguchi Metodu kullanılarak alüminyum / Be<sub>3</sub>Al<sub>2</sub> (SiO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> kompozitinin kuru kayma aşınma davranışının incelenmesidir. Bu çalışma, kayma hızı, uygulanan yük ve kayma mesafesi gibi aşınma parametrelerinin, alüminyum metal matriks kompozitlerin kuru kayma aşınması üzerindeki etkisine ilişkin araştırma ile ilgilidir. Taguchi metodu kullanılarak verilerin kontrollü bir şekilde elde edilmesi için deney yaklaşımının tasarımı kullanılmıştır. Kuru kayma aşınması testini gerçekleştirmek için disk üzerinde bir pim kullanılmıştır. Alüminyum ve kompozitin aşınma davranışını araştırmak için ortogonal bir dizi, sinyal-gürültü oranı ve varyans analizi kullanılmıştır. Alüminyum ve kompozitin aşınma oranını belirlemek için matematiksel model elde edilmiştir. Deney sonuçlarını doğrulamak için doğrulama testleri yapılmıştır. Be<sub>3</sub>Al<sub>2</sub> (SiO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>'nın alüminyum matris malzemesinde takviye malzemesi olarak kullanılması, tribolojik özellikleri geliştirmiştir.

M.Parchovianský vd. tarafından yapılan bu çalışmanın amacı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -SiC nanokompozitlerin % 3-20 hacimce SiC ile mekanik özellikleri ve kayma aşınma davranışlarının incelenmesidir. Farklı hacimli fraksiyonlar (% 3, 5, 10, 15 ve% 20) SiC parçacıklarını içeren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / SiC kompozitler, alümina ve silisyum karbür tozlarının konvansiyonel karıştırılmasıyla üretilmiştir. Ardından 1740 ° C'de 1 saat süreyle sıcak presleme yapılmıştır. Ar atmosferinde 30 MPa'nın basıncı. SiC partiküllerinin hacim fraksiyonunun ve boyutunun (ortalama SiC partikül büyüklüğü 40 ve 200 nm boyutunda iki farklı toz kullanılmıştır) ve disk üzerindeki topun düzeninde kuru kayma aşınması davranışı üzerindeki mekanik özellikler ve son kayma davranışı değerlendirilmiştir

Kompozitlerin özellikleri, monolitik bir  $Al_2O_3$  referansı ile ilgilidir. Kompozitlerin mikro yapıları, ilave SiC'nin hacim fraksiyonundan önemli ölçüde etkilenmiştir, ortalama alümina matris taneciklerinin büyüklüğü, SiC parçacıklarının içeriğinin artmasıyla azalmaktadır. SiC ilavesi Vickers sertliğini orta derecede iyileştirmiştir. Kırılma tokluğu, SiC partiküllerinin hacim fraksiyonu ve boyutuna bakılmaksızın monolitik  $Al_2O_3$ 'e göre daha düşüktür.  $Al_2O_3$  / SiC nanokompozitleri, hafif kuru kayma aşınması koşulları altında aşınma davranışı açısından önemli yararlar sağlamıştır. Alümina referansının aşınma direnci, özellikle 50 N uygulanmış yükte zayıftır. Kompozitlerin aşınma oranları, SiC'nin artan hacim oranı ile belirgin şekilde azalmıştır. Kompozitlerin aşınması, benzerleri daha düşük aşınma oranlarına neden olacak şekilde, benzerleri, özellikle sertlikleri olmak üzere, meslektaşların malzemesinden de etkilenmiştir. Tüm kompozitler, kanal açma ve mekanik aşınmaya (mikro kırılma) küçük bir katkıyla ilişkili plastik deformasyon ile tane çekme işleminin bir kombinasyonu ile aşınmıştır. SiC'nin aynı hacim kesirlerine sahip malzemelerde, SiC partikül boyutunun aşınma oranı veya aşınma mekanizması üzerinde hiçbir etkisi gözlenmemiştir.

Lakshmiathy vd. (2014) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı 6061Al /  $Al_2O_3$  kompozitlere kıyasla 7075Al / SiC'nin karşılıklı aşınma davranışının incelenmesidir. Bu çalışmada, sıvı metalurji yolu ile hazırlanan 7075Al / SiC kompozitlerin ve 6061Al /  $Al_2O_3$  kompozitlerin pistonlu aşınma davranışları, sabit bir vuruştaki takviye ve yük ağırlık yüzdesinin pistonlu bir aşınma üzerindeki etkilerini bulmak için analiz edilmiştir. Metal Matrix Kompozit (MMC) pimleri, 36  $\mu m$  büyüklüğünde farklı ağırlık yüzdelerinde (% 10, 15 ve 20) SiC ve  $Al_2O_3$  parçacıklarıyla hazırlanır. Bu kompozitlerin sertliği, donatı ağırlığının % artmasıyla artar. Bununla birlikte, donatı içeriğindeki artışla darbe dayanımı azalır. Deneysel sonuç MMC örneklerinin hacim kaybının matris alaşımından daha düşük olduğunu göstermektedir. Ancak, 6061Al /  $Al_2O_3$  kompozitlerde hacim kaybı, 7075Al / SiC kompozitlere kıyasla daha yüksektir. MMC numunelerinin temas yüzeyine yakın sıcaklık artışı, donatı ve uygulanan yükün % ağırlık artışında artar. Her iki durumda da yükte artışla sürtünme katsayısı azalır.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, farklı takviye boyutlarında (33  $\mu$ , ve 91-125  $\mu$ ) ve farklı takviye yüzdelerinde (%5, 10, 15, 20) demir oksit takviye içeren polypropilen kompozit malzemenin kuru kayma aşında davranışları incelenmiştir.

#### 3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Elektron Microscopy)

Kuru-kayma aşınma deney testine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinden fotoğraflar alınarak, numune yüzeyinde meydana gelen aşınma tipinin tespit edilmesinde faydalanılmıştır.

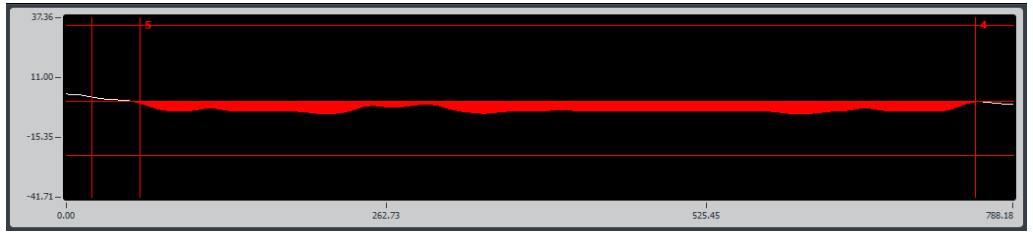
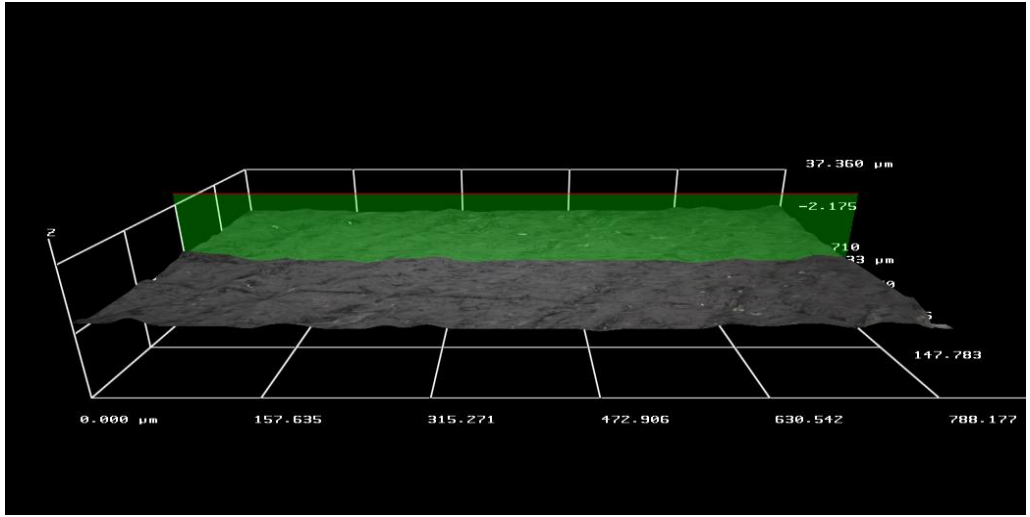
#### 3.2 X- 3D Optik Profilometre İncelemeleri

Numunelerin aşınma hacim kayıplarının belirlenmesinde ve yüzey profillerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır.

#### 3.3 Kuru-Kayma Aşınma Deneyleri

Kuru-kayma aşınma testleri oda sıcaklıklarında 6 mm çapında wolframkarbür bilye kullanılarak Ball-on-disk tribometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan sert karbür bilye sertlikleri 19 GPa'dır. Polypropilen malzemedan hazırlanmış olan 20 mm çapında, 10mm kalınlığındaki daire kesitli numuneler deney cihazının döner tablasına yerleştirilerek sabitlenmiştir. Aşınma testleri 0,15 m/s kayma hızında, 5 ve 10N'luk yükler altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden doğru ve geçerli sonuçlar alabilmek için geçerliliğini arttırabilmek için her bir deney 3 defa gerçekleştirilerek ortalama değer alınmıştır. Yapılan aşındırma testlerinden sonra Aşındırma işleminden sonra numunelerin hacim kayıplarını belirlemek için aşınma izinin oluşunun kesit görünüşünde 3D profil metre ile kesit yüzeyinin görüntüleri (Şekil 3.1) alınmıştır. Aşındırıcı bilyenin numune üzerinde meydana getirdiği dairesel kesitli iz üzerinden 90 derecelik açılarla toplamda 4 bölgenin kesit yüzeyi alınarak bunların ortalama değeri hacim kaybı hesabında kullanılmıştır.



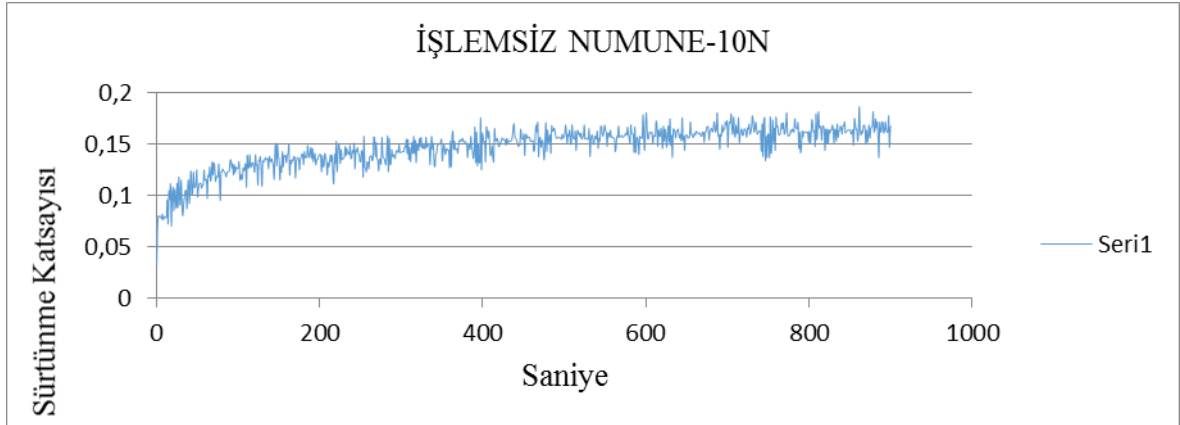
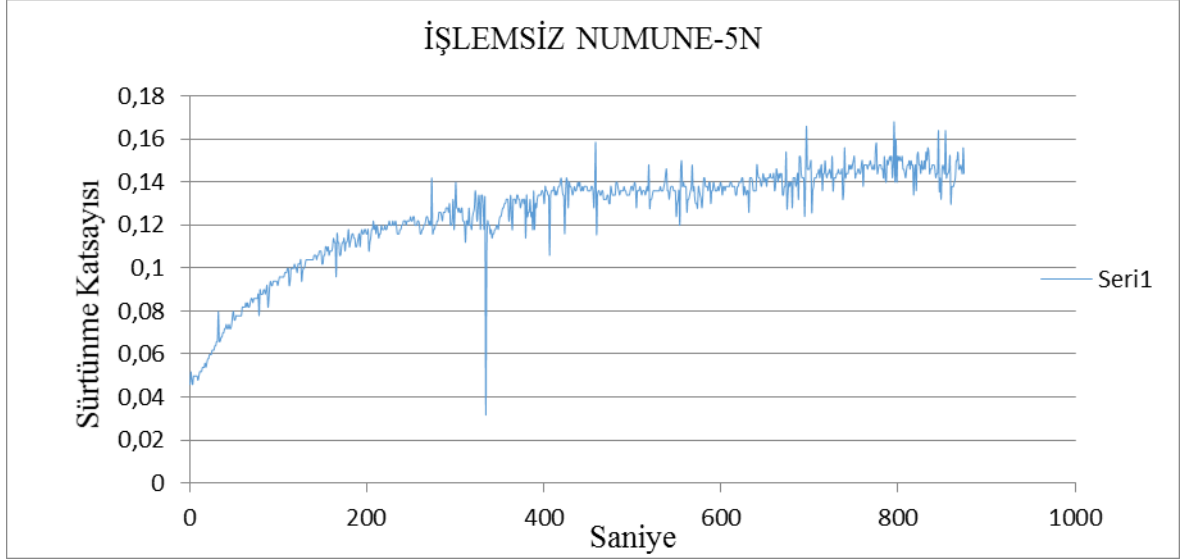


Şekil 3.1: 3D profil metre ile kesit yüzeyinin görüntüleri.

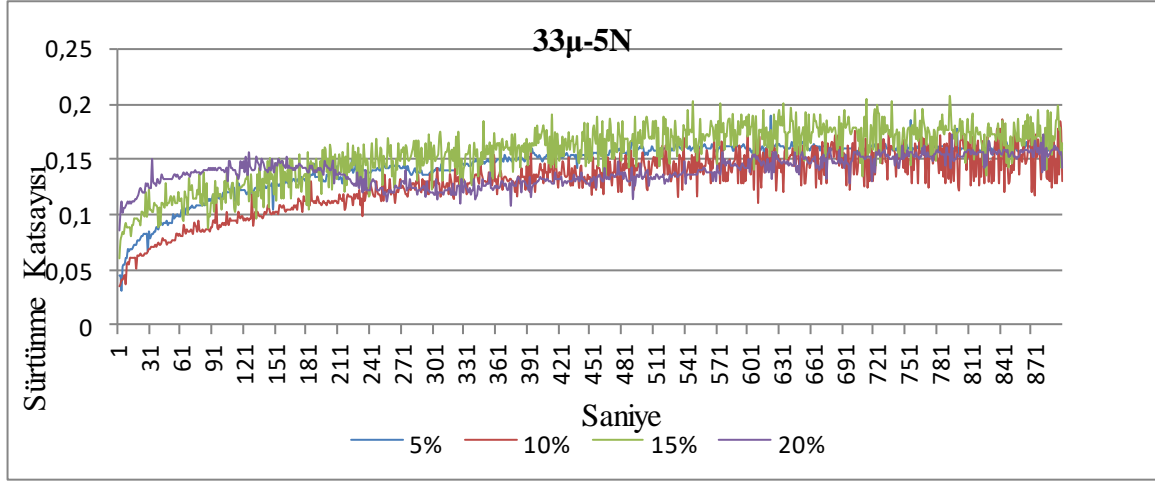
## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 Sürtünme Katsayısı Ölçüm Analizleri



Şekil 4.1: Tufal takviye işlemi gerçekleştirilmemiş numunenin farklı yüklerde ve sabit kayma hızında ve zaman altında uygulanmış sürtünme katsayısı grafikleri.

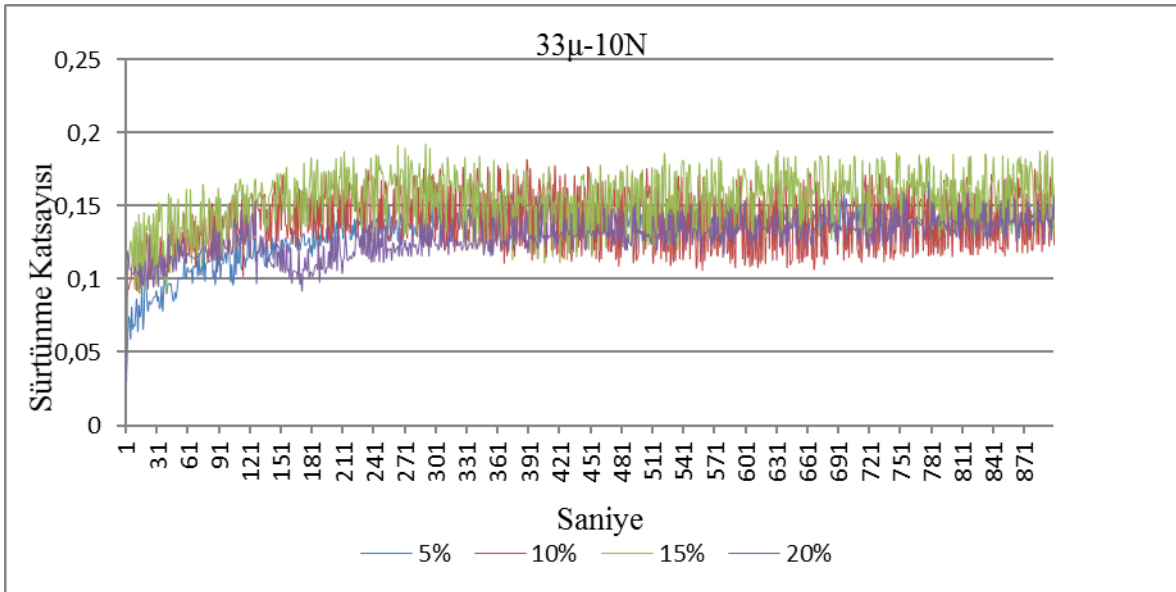


Şekil 4.2: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ((a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20) sabit yük (5N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri.

Şekil 4.2’de 5N’luk yük altında 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. %5 demir oksit katkılı malzemeye devir ve 5N’luk yük uygulanan deneyde ilk 226 saniyelik zaman dilimi boyunca sürtünme katsayısında artış meydana gelmiştir. 0,13 puanlık bir artışla sürtünme katsayısının 0,14 olduğu gözlemlenmiştir. 226-323 saniyelik zaman dilimleri arasında sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. 323-530 saniyelik zaman dilimleri arasında ise sürtünme katsayısı 0,02 puanlık bir artış ile 0,16 olduğu gözlemlenmiştir. 530. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. Başlangıçta meydana gelen sürtünme katsayısındaki ani artışlar genellikle yüzey pürüzlülüklerinin temizlenmesinden kaynaklanmaktadır. %10 demir oksit katkılı malzemeye devir ve 5N’luk yük uygulanan deneyde ilk 25 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında ani bir artış görülmektedir. 0,058 puanlık bir artışla sürtünme katsayısının 0,06 olduğu gözlemlenmiştir. 25. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısının 0,09 puanlık bir artışla 0,15 olduğu görülmektedir. 400.saniyeden itibaren piklerde dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise yapıda meydana gelen dökülmelerdir. %15 demir oksit katkılı malzemeye devir ve 5N’luk yük uygulanan deneyde ilk 78 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında ani bir artış meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısının 0,06 puanlık bir artışla 0,12 olduğu görülür. 78-253 saniyelik zaman dilimleri arasında 0,03 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,15 olduğu görülmektedir. 253-395 saniyelik zaman dilimleri arasında sürtünme

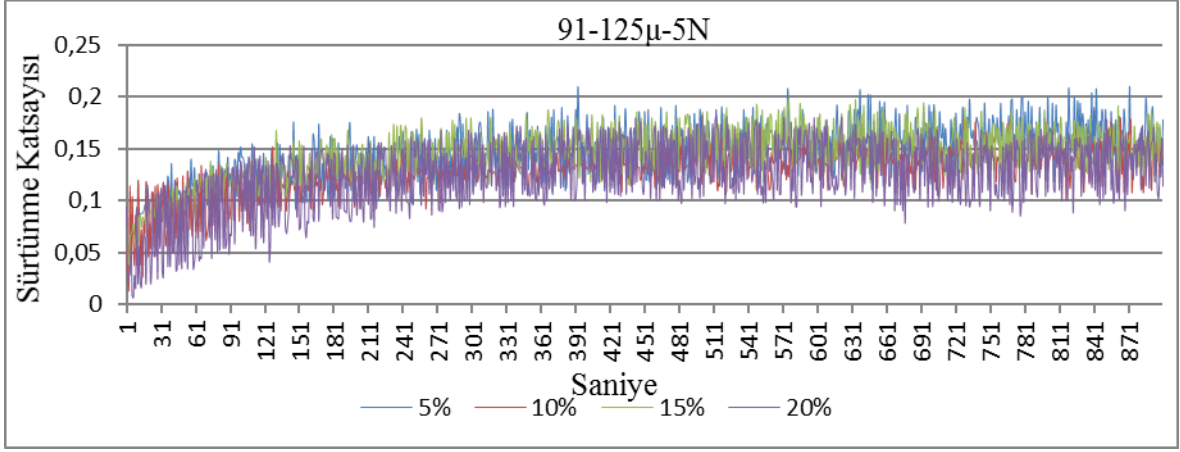
katsayısının stabil olarak devam ettiği görülür. 395-586 saniyelik zaman dilimleri arasında ise sürtünme katsayısının 0,01 puanlık bir artış ile 0,17 olduğu görülür.

586.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. %20 demir oksit katkılı malzemeye devir ve 5N'luk yük uygulanan deneyde ilk 15 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında ani bir artış görülmüştür. Sürtünme katsayısının 0,08 puanlık bir artış ile 0,11 olduğu görülmektedir. 15-137 saniyelik zaman dilimleri arasında 0,03 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,14 olduğu görülmektedir. 137-259 saniyelik zaman dilimleri arasında bir düşüş görülmektedir. Sürtünme katsayısının 0,03 puanlık bir düşüş ile 0,11 olduğu görülür. Bunun nedeni sürtünme katsayısının plastik deformasyonda meydana gelen düşüş ve artışa bağlı olarak doğru orantılı devam etmesidir. 259-754 saniyelik zaman dilimleri arasında 0,04 puanlık artış ile sürtünme katsayısının 0,15 olduğu görülür. 754. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir.



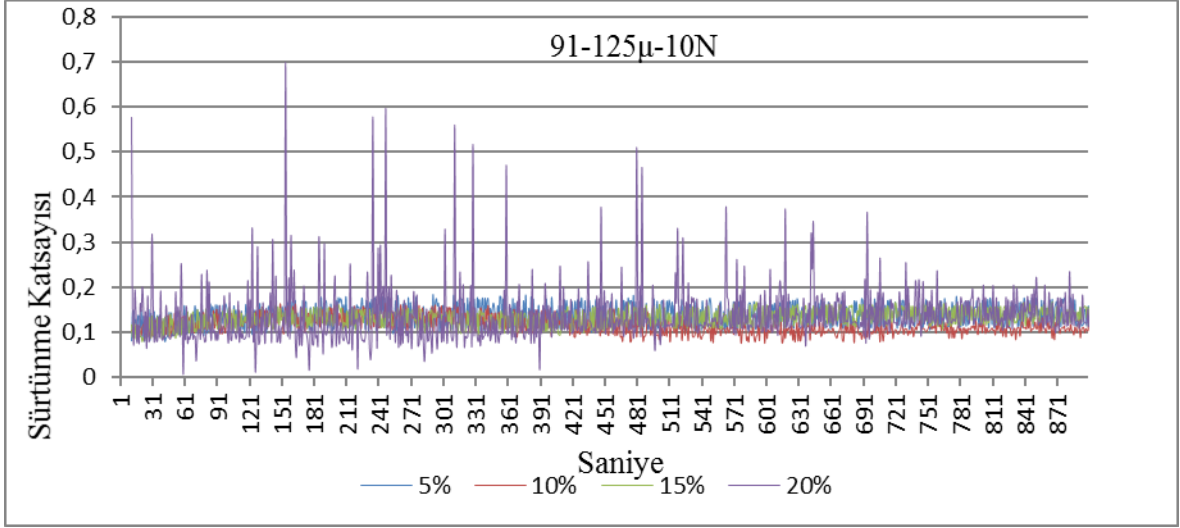
Şekil 4.3: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ((a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20) sabit yük (10N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri.

Şekil 4.3’de 10N’luk yük altında 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. %5 demir oksit katkı malzemeye devir ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 13 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında ani bir artış gözlemlenmiştir. 0,05 puanlık artış ile sürtünme katsayısının 0,08 olduğu görülmektedir. 13-300 saniyelik zaman dilimleri arasındaki sürtünme katsayısının 0,06 puanlık artış ile 0,14 olduğu görülür. 300.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısı stabil olarak devam etmektedir. %10 demir oksit katkı malzemeye devir ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 227 saniyelik zaman diliminde 0,06 puanlık artış ile sürtünme katsayısının 0,15 olduğu görülmektedir. 227-382 saniyelik zaman dilimleri arasındaki sürtünme katsayısının 0,03 puanlık bir düşüş ile sürtünme katsayısının 0,12 olduğu görülmektedir. 382.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde sürtünme katsayısı stabil olarak devam etmektedir. %15 demir oksit katkı malzemeye devir ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 6 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısının 0,07 puanlık ani bir artış ile 0,11 olduğu görülmektedir.6-219 saniyelik zaman dilimlerinde 0,05 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,16 olduğu görülmektedir. 219-409 saniyelik zaman dilimleri arasında sürtünme katsayısının 0,02 puanlık bir düşüş ile 0,14 olduğu görülmektedir. 400-481 saniyelik zaman dilimleri arasında ise tekrar 0,02 puanlık artış ile sürtünme katsayısının 0,016 olduğu görülür ve 481.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. %20 demir oksit katkı malzemeye devir ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 6 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında ani bir artış meydana gelmiştir. 0,07 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,10 olduğu görülmektedir. 6-119 saniyelik zaman dilimleri arasında 0,03 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,13 olduğu görülür. 119-170 saniyelik zaman dilimleri arasında sürtünme katsayısının tekrar 0,03 puanlık bir düşüş ile 0,10 olduğu görülür. 170-473 saniyelik zaman dilimleri arasında 0,03 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,13 olduğu görülür. 473.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde 0,01 puanlık artış ile sürtünme katsayısının 0,14 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ( (a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20 ) sabit yük (5N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri.

Şekil 4.4'de 5N'luk yük altında 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. %5 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 5N'luk yük uygulanan deneyde ilk 709 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısının plastik deformasyon artışına bağlı olarak sürekli arttığı ve 0,11 puanlık artış ile 0,16 olduğu görülmüştür. 709. saniyeden sonraki zaman diliminde ise sürtünme katsayısı stabil olarak devam etmiştir. %10 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 5N'luk yük uygulanan deneyde ilk 530 saniyelik zaman diliminde daha önce belirttiğimiz gibi plastik deformasyona bağlı olarak 0,12 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,14 olduğu görülmektedir. 530.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmüştür. Piklerdeki dalgalanmaların sebebi ise yapıdaki dökülmelerdir. %15 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 5N'luk yük uygulanan deneyde ilk 290 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında 0,11 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,15 olduğu görülmektedir. 290. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. %10 katkılı malzemede olduğu gibi piklerde dalgalanmalar mevcuttur. %20 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 5N'luk yük uygulanan deneyde ilk 340 saniyelik zaman diliminde 0,134 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,14 olduğu görülmüştür. 340. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. Malzemeye genel olarak bakıldığında grafiklerin hepsinde piklerde dalgalanmalar mevcuttur.



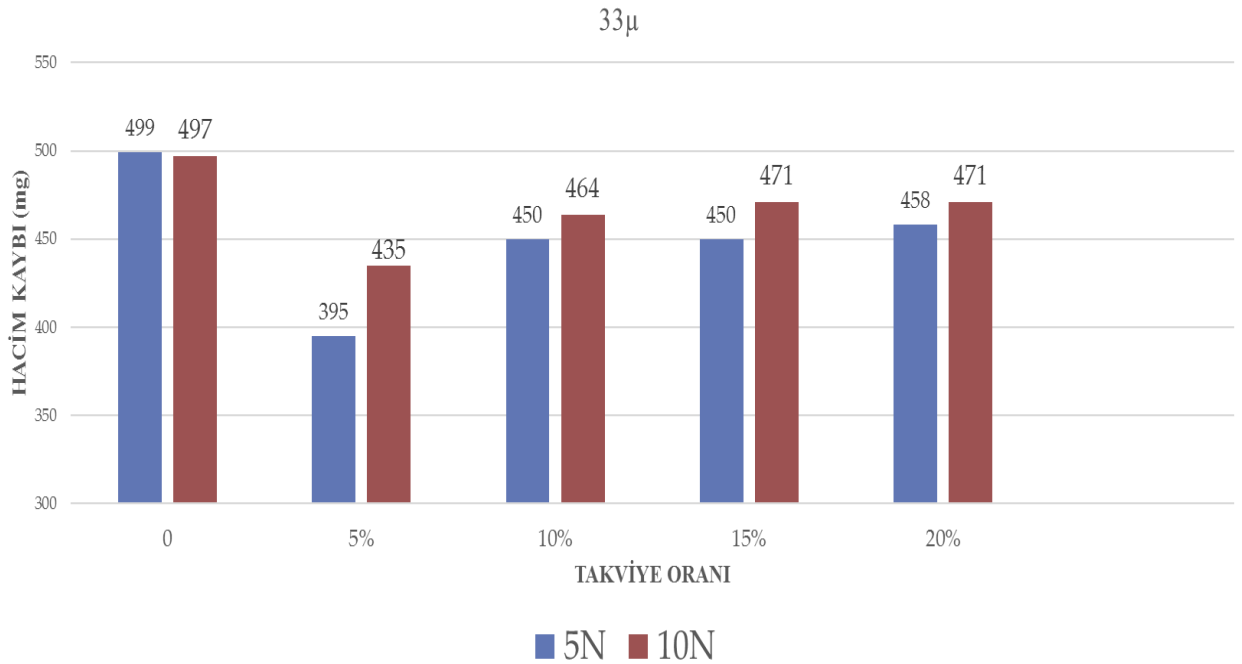
Şekil 4.5: Demir oksit katkılı polimer matrisli kompozit malzemeye ( (a) %5, (b) %10, (c) %15, (d) %20 ) sabit yük (10N), sabit devirde ve zaman (sn) altında kuru kayma aşınma işlemi uygulanması sonucundaki sürtünme katsayısı değer grafikleri.

Şekil 4.5’de 10N’luk yük altında 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. %5 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 162 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısı 0,03 puanlık artış ile 0,14 olduğu görülmüştür. 162. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmüştür. Piklerdeki dalgalanmalar ise yapıda meydana gelen dökülmelerdendir. %10 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 12 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısında ani artış meydana gelmiştir. 0,06 puanlık bir artış ile sürtünme katsayısının 0,1 olduğu görülmüştür. 12-143 saniyelik zaman dilimlerinde 0,04 puanlık artış ile sürtünme katsayısının 0,14 olduğu görülmektedir. 143-320 saniyelik zaman dilimlerinde sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmüştür. 320-562 saniyelik zaman dilimleri arasında 0,03 puanlık bir düşüş ile sürtünme katsayısının 0,11 olduğu görülmüştür. 652. saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısının stabil olarak devam ettiği görülmektedir. %15 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 10N’luk yük uygulanan deneyde ilk 177 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısının 0,04 puanlık bir artış ile 0,14 olduğu görülmektedir. 177-396 saniyelik zaman diliminde 0,02 puanlık bir düşüş ile sürtünme katsayısının 0,12 olduğu görülmektedir. 396-589 saniyelik zaman diliminde 0,02 puanlık

bir artış ile sürtünme katsayısının tekrar 0,14 olduğu görülmektedir. 589.saniyeden sonraki zaman dilimlerinde ise sürtünme katsayısı stabil olarak devam etmektedir. %20 demir oksit katkılı malzemeye 0,15 m/s kayma hızında ve 10N'luk yük uygulanan deneyde ilk 4 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısının 0,05 puanlık bir artış ile 0,11 olduğu görülmektedir. 4. saniyeden sonraki zaman diliminde ise sürtünme katsayısı stabil olarak devam etmiştir.

Grafikler incelendiğinde görülmüştür ki, uygulanan yükün değişmesi sürtünme katsayısında belirgin bir değişime sebep olmayıp bir miktar artışa sebep olmuştur. Ayrıca takviye edilen tufal oranındaki değişimin de sürtünme katsayısında belirgin bir değişime sebep olmadığı görülmektedir. Tüm numuneler incelendiğinde sürtünme katsayısının %5 takviye içeren numunelerde görülmüştür. Saf numune incelendiğinde ise sürtünme katsayısının sürekli bir artış gösterdiği görülmektedir.

#### 4.2 Hacim Kaybı Analizi



Şekil 4.6: Tufal takviye işlemi gerçekleştirilmemiş (saf numune) ve 33  $\mu$ m tufal takviye işlemi gerçekleştirilmiş numunelere farklı yük (5N-10N) ve sabit kayma hızında (0,15 m/s) uygulanan deney sonucundaki hacim kayıpları grafiği.

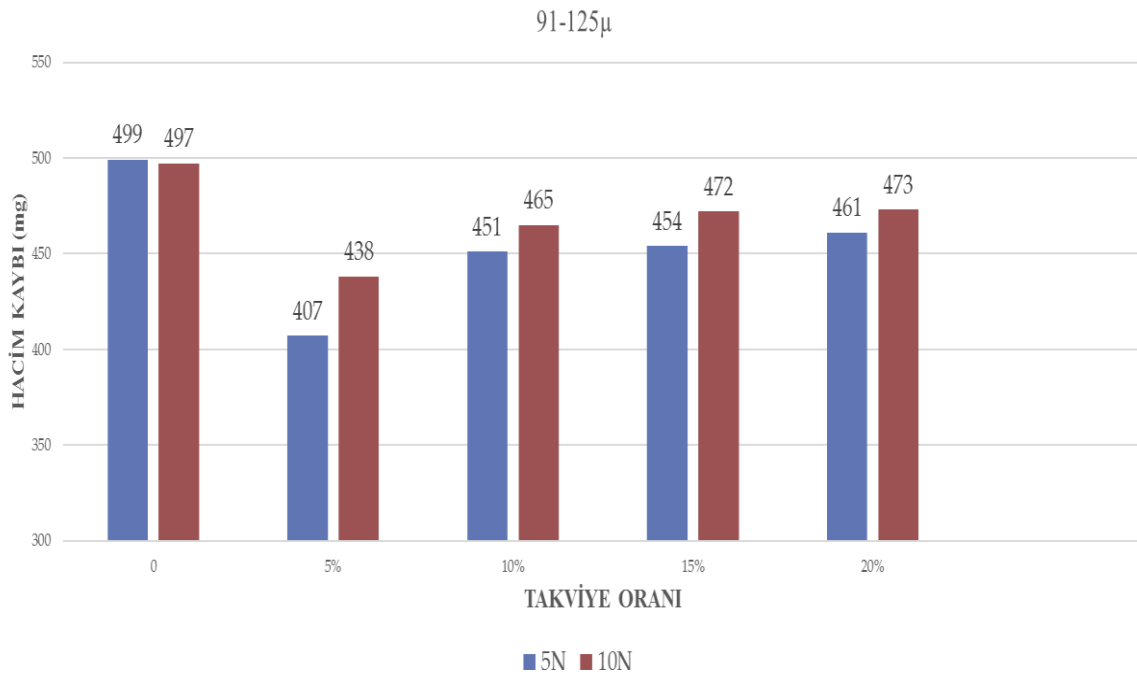
33  $\mu$ m altı tufal ile farklı oranlarda takviye edilen Polypropylen kompozit malzemenin 5N ve 10N'luk yükler altında gerçekleştirilen kuru kayma aşınma davranışlarının sonucunda elde edilen hacim kayıplarının grafiği şekil 4.6'da verilmiştir. İlk olarak görülmektedir ki



uygulanan yükün artması ile kompozit numunelerde hacim kayıpları artmıştır. Grafikte de görüleceği gibi 5N ile teste tabii tutulan numunelerin hacim kayıpları 10N'a göre daha düşük olmuştur. Ancak, hacim kayıplarında doğru bir orantı görülmemiştir. Yani, 10N'luk yük altındaki hacim kayıpları oransal olarak daha az gerçekleşmiştir. Artan yüke bağlı olarak numunelerdeki hacim kayıplarındaki artış yorumlanacak olursa aşındırıcı bilya ile karşı yüzey arasında aşındırma işleminin gerçekleşmesi için iki kuvvet etkin rol oynamaktadır. Bunlardan biri normal kuvvet ki bu kuvvet aşındırıcı bilyanın karşı yüzeye batmasına sebebiyet verir. Diğeri ise kesme kuvvetidir. Bu kuvvet ise bilyanın önündeki karşı yüzey malzemesini ana malzemeden koparmaya yarar. Sertlik bir cismin kendisine batmaya çalışan başka bir cisme gösterdiği direnç olarak tanımlanırsa artan yüklerle birlikte numunenin kendisine batmaya çalışan cisme göstereceği direnç azalacağından yani, bilya yüzeyden itibaren aşağıya doğru daha çok batacak ayrıca önünde biriken malzeme oranı da daha fazla olacağından hacim kaybı artmış olacaktır. Yine dikkat çeken bir sonuç da yükün artmasıyla takviyesiz malzeme de meydana gelen hacim kaybının diğer numunelerde olduğu gibi artış göstermemesidir. Bu durum aşınma sonrası SEM mikroskobu ile elde edilen aşınma yüzey morfolojileri ile açıklanabilir. Sünek polimerik malzemede sürtünme sırasında açığa çıkan aşınan parçalar tekrar yüzeye sıvanarak aşınma direncini arttırmış olabilir. Yapıya katılan takviye edici partiküller sebebiyle kompozit malzemelerin hacim kayıplarında azalma meydana geldiği görülmüştür.

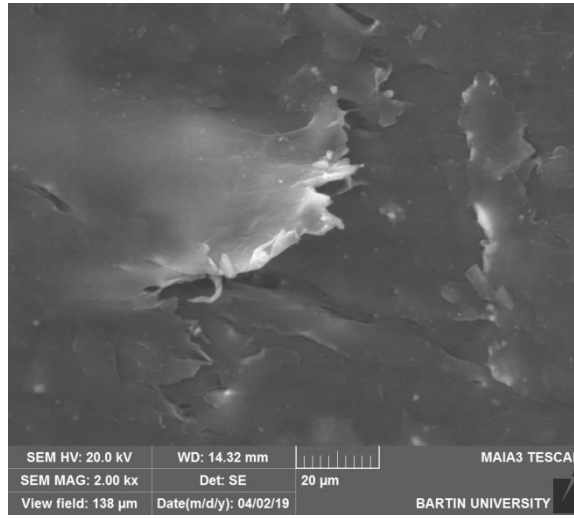
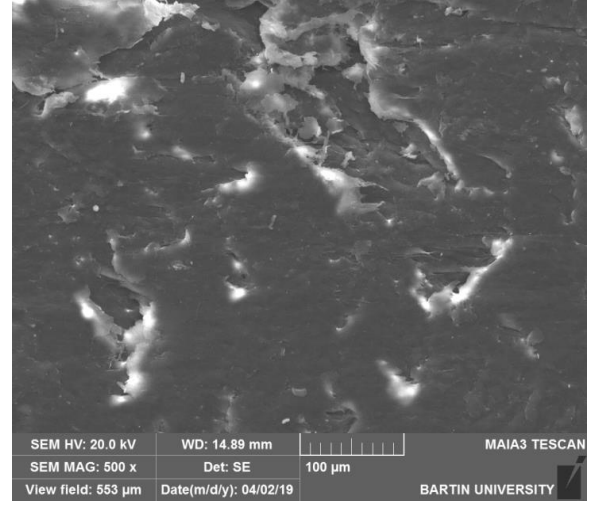
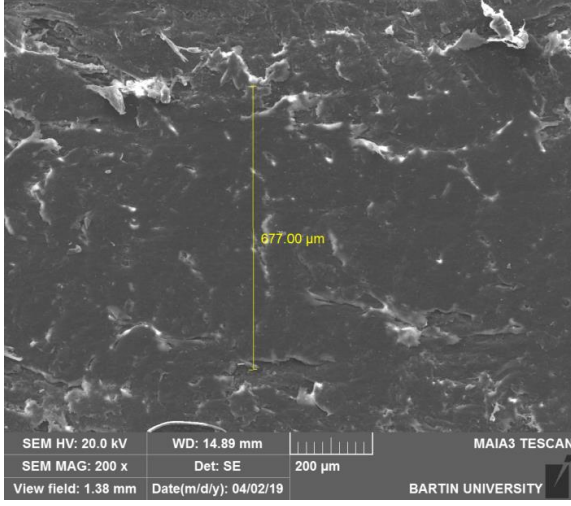
Hacim kayıpları incelendiğinde görülmüştür ki en düşük hacim kaybı %5 takviyeye sahip kompozitte meydana gelmiştir. Buna rağmen saf polypropylen numuneyle kıyaslandığında yapıda takviye edici partikül bulunması malzemenin aşınma dayanımında artışa sebep olmuştur. Yapıya takviye edilen partikül bilyanın batmasına karşı direnç sağlar. Yapıya katılan sert yapılu takviye ile birlikte bilyanın yüzeye batma oranı düşer. Bunun nedeni sert yapıya sahip takviye edilen partiküllerin bilya ile polypropylene malzeme arasında yatak görevi görmesi ve bilyanın malzeme yüzeyinde daha derine inmesine karşı direnç sağlamasıdır. Buna ek olarak takviye edilen partiküller polimer matris malzeme içinde bulunduğu malzemenin yüzeyini daha sert ve dayanıklı hale getirerek aşınmaya karşı daha dirençli olmasını sağlar. Her ne kadar takviye edilen partiküller saf polypropylen malzemeye göre aşınmaya karşı bir direnç sağlasa da oransal olarak artan takviye oranına göre aşınma dayanımına katkısı azalmıştır. Polimer matris malzeme ile takviye edilen partiküllerin arasında meydana gelen bağlanma dayanımı malzemenin aşınma direncini arttırmada önemli bir role sahiptir. Düşük takviye oranına sahip matrislerde takviye edilen

partiküller matris içinde yüksek takviye oranına göre daha homojen olarak dağılım gösterebilirler ve bu homojen dağılım matrisin aşınma oranını azaltır. Bazı durumlarda takviye edilen partiküller yüzeyde topraklanabilir. Bu topraklanma sonucunda partiküller yüzeyden daha kolay olarak ayrılır ve bunun sonucunda aşınma dayanımına olan katkı azalır veya artan takviye edici oranıyla birlikte sert ve keskin yüzeye sahip bu partiküllerin kuru kayma aşınması esnasında abrasiv partikül olarak davranarak numuneye hasar verdiği düşünülebilir.



Şekil 4.7: Tufal takviye işlemi gerçekleştirilmemiş (saf numune) ve 91-125  $\mu$ m tufal takviye işlemi gerçekleştirilmiş numunelere farklı yük (5N-10N) ve sabit kayma hızında (0,15 m/s) uygulanan deney sonucundaki hacim kayıpları grafiği.

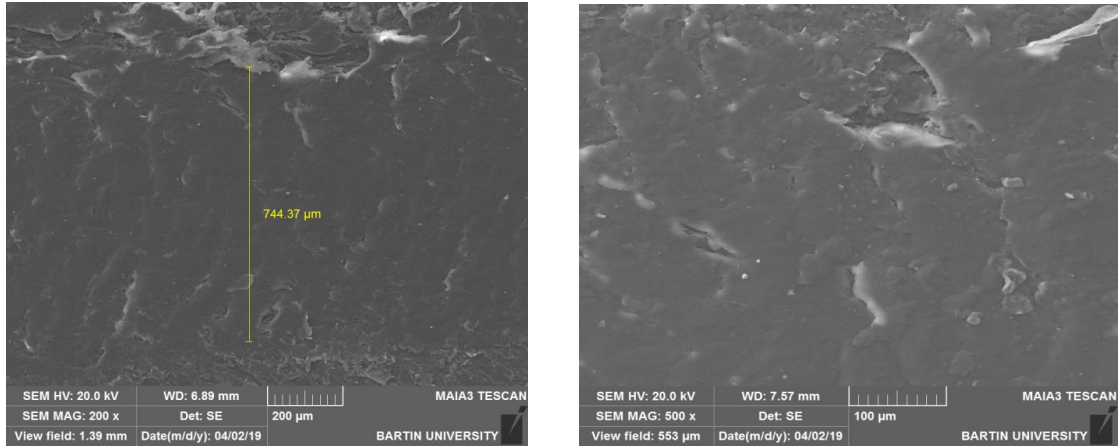
Şekil 4.7’de ise 91-125  $\mu$ m tufal ile takviye edilen Polypropylen kompozit malzemenin 5N ve 10N yük altında gerçekleştirilen kuru kayma aşınma davranışlarından elde edilen hacim kayıpları verilmiştir. Hacim kayıpları incelendiğinde görülen değişimlerin 33 $\mu$  tufal içeren numuneye benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Bununla beraber 91-125 $\mu$  takviye içeren numunede meydana gelen hacim kayıpları 33 $\mu$  takviye içeren numuneye göre bir miktar daha fazla olarak gerçekleşmiştir.



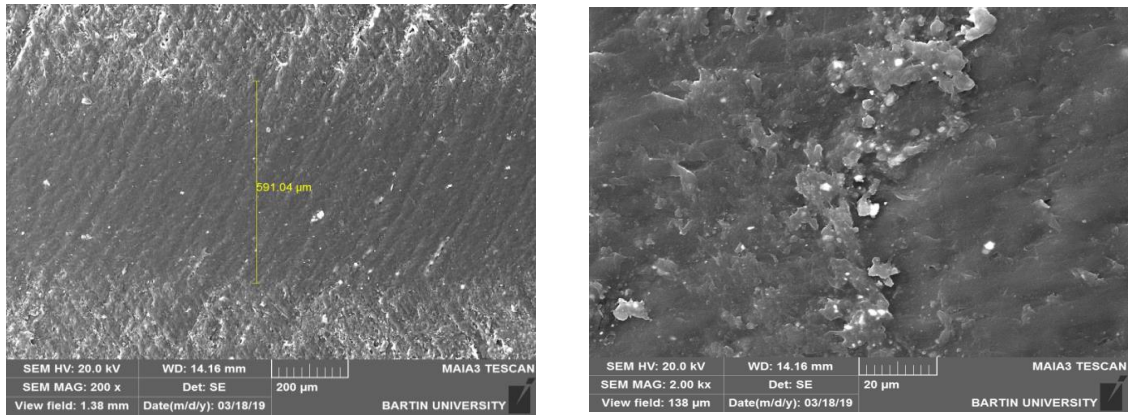
Şekil 4.8: 5N yük ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulmuş tufal takviye edilmemiş numunenin 200x, 500x 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.8'de takviyesiz polypropilen numunenin kuru kayma aşınma testine tabii tutulduktan sonra aşınma izi üzerinden alınan SEM mikroskop fotoğrafı farklı büyüklükler verilmiştir. Deneyler 5N'luk yük altında gerçekleştirilmiştir. Yüzey üzerinde aşırı plastik deformasyon izleri görülmektedir. Nispeten takviyeli numunelere göre daha düşük hacim sertliğine sahip bu numunede sürtünmenin etkisiyle de meydana gelen adezyon kuvvetleri numune yüzeyinden küçük plakalar şeklinde ve bazı yerlerde boyutları 100µm bulan parçaların koptuğu görülmüştür. Özellikle 2.00x de verilen SEM görüntüsünde bu yırtılmanın adezyon kuvvetlerine bağlı geldiği daha net anlaşılmıştır.

Şekil 4.9’da aynı numunenin 10N yük altındaki SEM mikroskop fotoğrafı farklı büyüklükler de verilmiştir. Artan yük ile birlikte iz genişliğinin arttığı ancak yüzeydeki yırtılmaya bağlı dökülmelerin daha az meydana geldiği görülmektedir. Burada artan yükün altındaki polypropilen malzemeyi kompakt bir hale getirdiği anlaşılmaktadır.



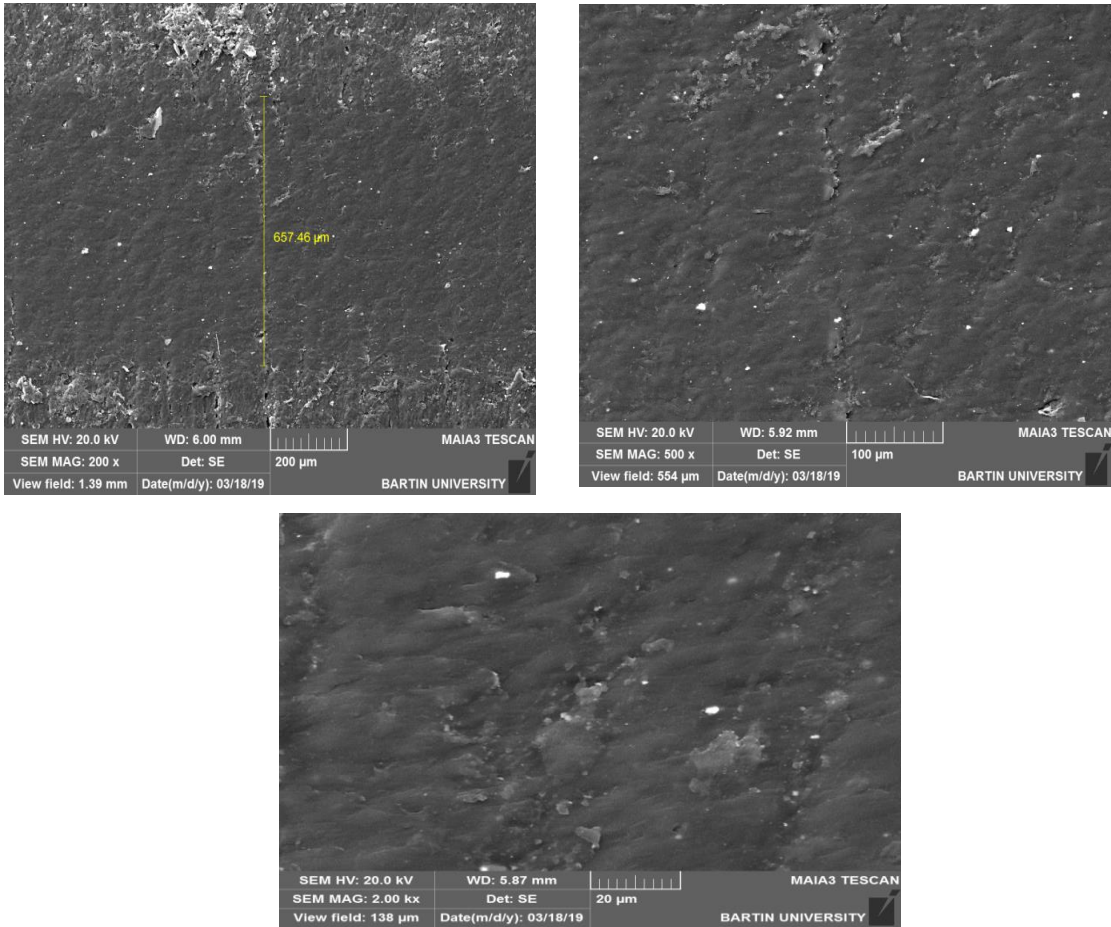
Şekil 4.9: 10N yük ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulmuş tufal takviye edilmemiş numunenin 200x, 500x’deki SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.10: 33 µm boyutunda %5 katkı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx’deki SEM görüntüleri verilmiştir.

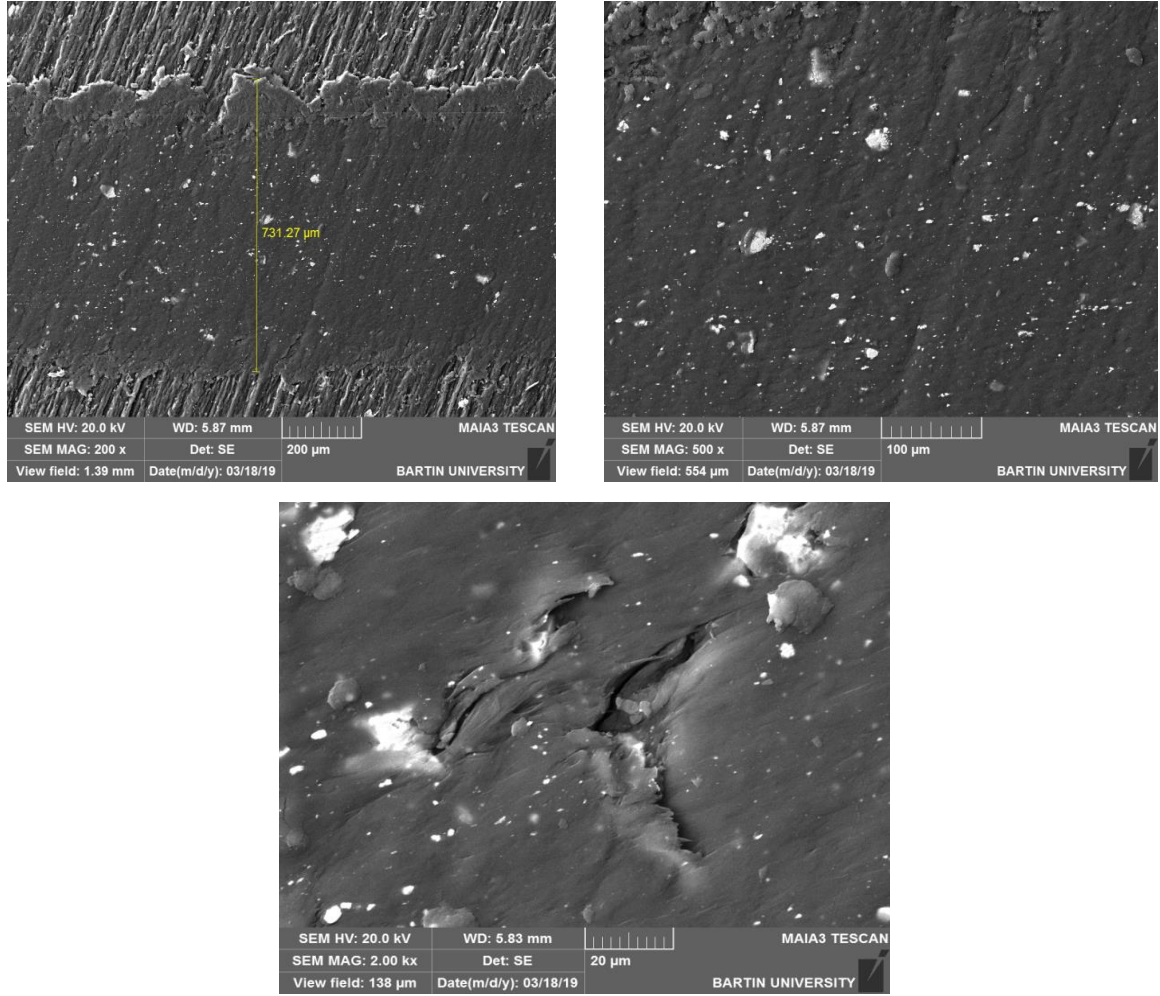
Şekil 4.10’da 33 µm boyutundaki tufal ile takviye edilen numunenin 5N’luk yük altında kuru kayma aşınma davranışına tabii tutulduktan sonra aşınma izi üzerinden alınan farklı büyüklüklerdeki SEM mikroskop görüntüleri verilmiştir. Aşınma performansı en iyi

numunelerden biri olan %5 katkıli bu numunenin yüzeyinde çok fazla hasar oluşmadığı, yüzeyin nispeten pürüzsüz ve kısmi aşınma atıklarından oluştuğu görülmüştür.



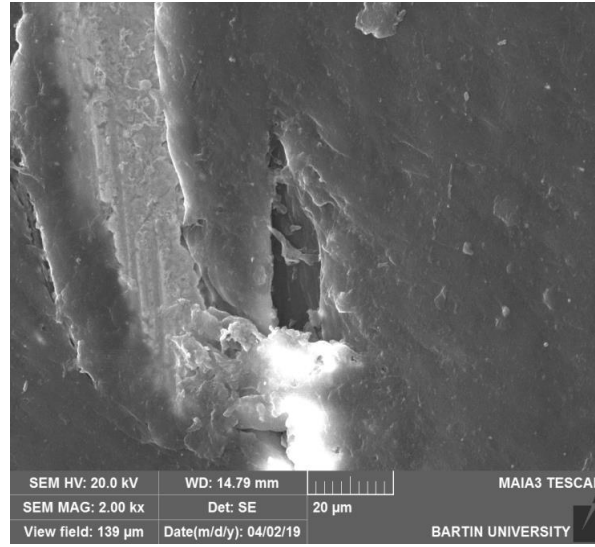
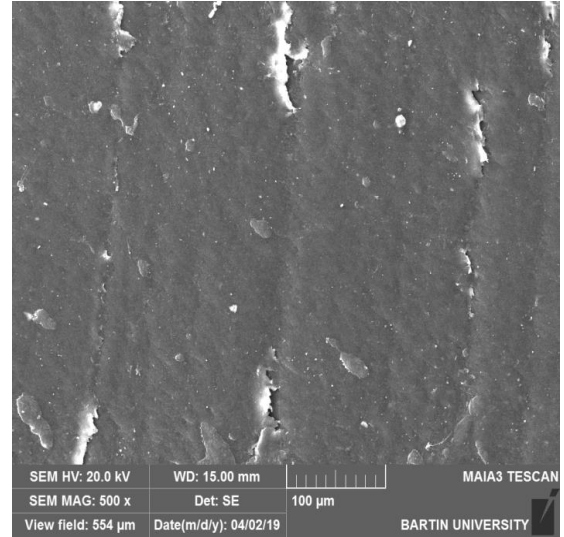
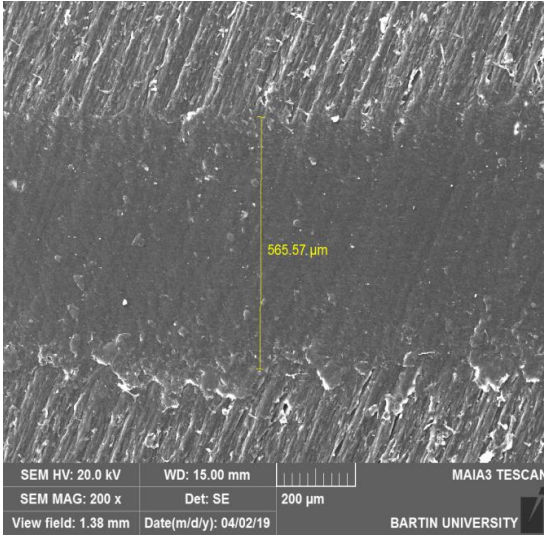
Şekil 4.11: 33 µm boyutunda %5 katkıli numuneye 10N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.11'de ise yine 33 µm boyutundaki tufal ile takviye edilen ancak 10N'luk yük altında kuru kayma aşınma davranışına tabii tutulan numunenin yüzeyinden alınan SEM mikroskop aşınma görüntüleri verilmiştir. Bu numunenin yüzey morfolojisinde de benzer durum görülmüştür. Sadece numune daha fazla hacim kaybına uğramıştır.



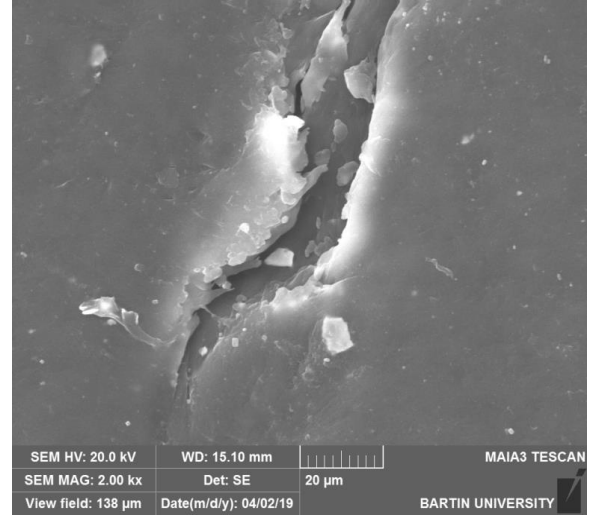
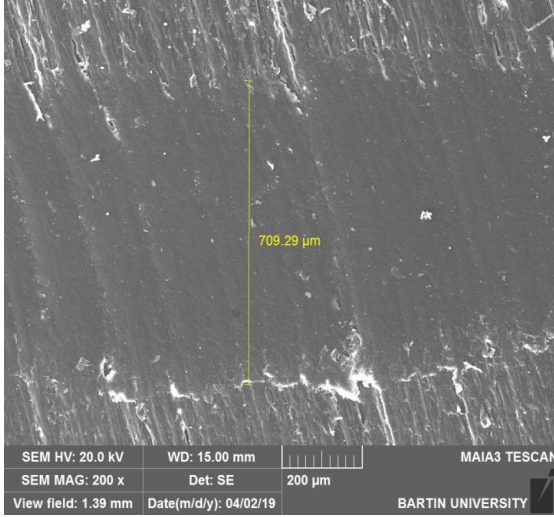
Şekil 4.12: 33 µm boyutunda %20 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.12'de 33 µm boyutundaki %20 tufal ile takviye edilen numunenin 5N'luk yük altında kuru kayma aşınma davranışına ait SEM mikroskop görüntüleri verilmiştir. %20 katkı içeren bu numune incelendiğinde yüzeyde çok fazla hasar meydana gelmediği ancak bazı bölgelerde boyutları 20µ bulan kopmaların meydana geldiği görülmüştür. Uygulanan takviye edicinin oranının artması ile birlikte numunede daha fazla hacimsel kayıp meydana geldiği görülmüştür çünkü takviye oranının artması yüzeyde birçok partikülün ortaya çıktığı aynı zamanda bu partiküllerin daha öncede belirtildiği gibi 3 cisimli abrazyonda olduğu gibi aşındırıcı yönde rol oynadığı söylenebilir. 2.00x olan görüntü incelendiğinde bu aşınmanın daha fazla olduğu görülmüştür. 10N'luk yük altında gerçekleştirilen kuru kayma deneylerinde de aynı mekanizmalar görülmüştür.



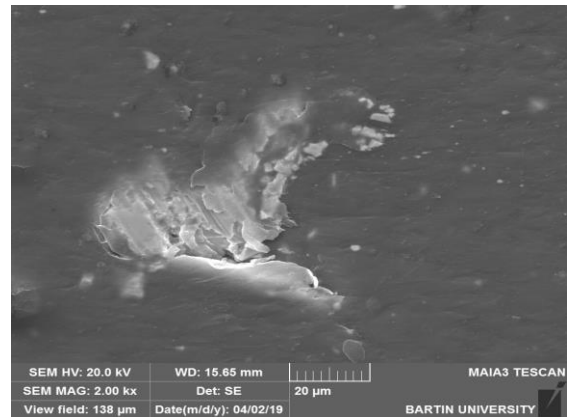
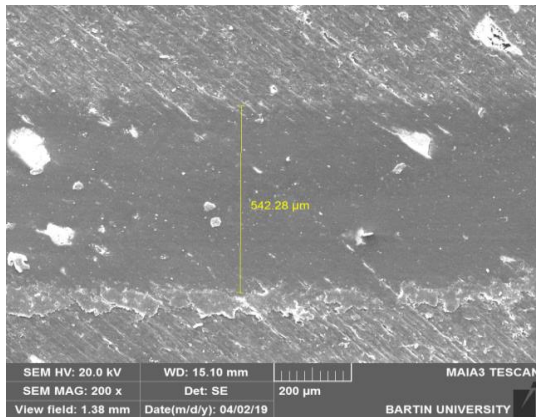
Şekil 4.13: 91-125 µm boyutunda %5 katkıli numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.13'de 91-125 µm boyutundaki %5 tufal ile takviye edilen numunenin 5N'luk yük altında kuru kayma aşınma davranışlarının SEM mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde aşınmanın çok fazla olmadığı yüzeyin kısmen pürüzsüz ancak bazı bölgelerde ise kopmalar meydana geldiği ve yüzeyde oluklanmalar meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca takviye boyutunun artması ile numune de daha az hacimsel kaybın meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.14: 91-125  $\mu\text{m}$  boyutunda %5 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.

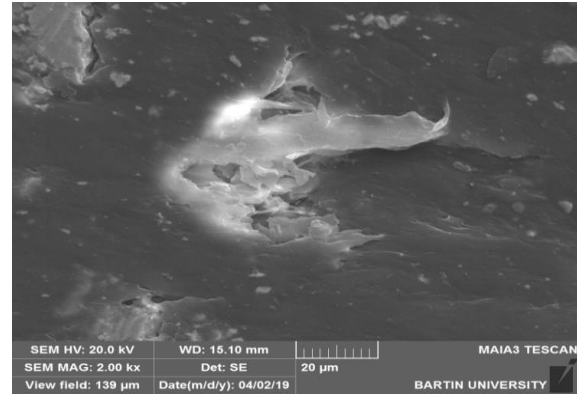
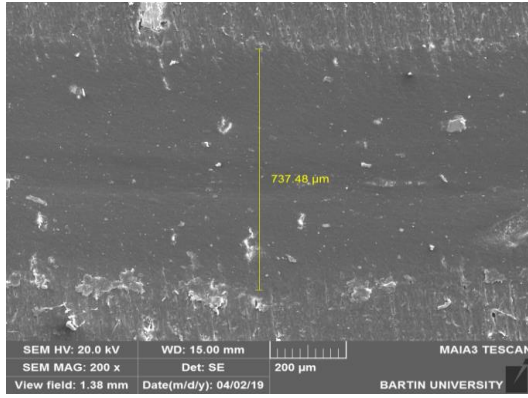
Şekil 4.14'de ise 91-125  $\mu\text{m}$  boyutundaki %5 tufal ile takviye edilen numunenin 10N'luk yük altında kuru kayma aşınma davranışlarının SEM mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde numunenin yüzeyinde meydana gelen aşınma davranışlarının 5N ile benzer olduğu farklı olarak baskı kuvvetinin artmasından dolayı yüzeyin daha fazla pürüzsüz olduğu görülmektedir. Bazı bölgelerde 20 $\mu$  boyutlarında kopmalar meydana geldiği de görülmektedir. Ek olarak 5N'luk yük ile kıyaslandığında daha fazla hacimsel kayıp meydana geldiği de görülmüştür.



Şekil 4.15: 91-125  $\mu\text{m}$  boyutunda %20 katkılı numuneye 5N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx'deki SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.15’de 91-125 µm boyutundaki %20 tufal ile takviye edilen numunenin 5N’luk yük altında kuru kayma aşınma davranışlarının SEM mikroskop görüntüleri verilmiştir. Ancak bu numunede 33µ ve %20 takviye içeren numunede görülen durum görülmemiştir. 33µ ve %20 takviye içeren numune incelendiğinde takviye yüzdesinin artmasıyla numunede meydana gelen hacimsel kaybın arttığı görülmektedir. Ancak 91-125µ ve %20 takviye içeren numune incelendiğinde ise takviye yüzdesinin artması hacimsel kayıpta bir azalmaya neden olmuştur. Bunun sebebini büyüyen takviye edici boyutuyla ilişkilendirmek mümkündür. Çünkü matris içerisinde bulunan sert fazın yüzey alanının genişlemesi öncelikle takviye edicilerin matrise daha iyi tutunmasını sağlayacaktır. Ayrıca birim alanda aşındırıcı bilyaya karşı koyacak yüzey alanı genişlediği için aşındırıcının malzemeye batması daha zor olacaktır.



Şekil 4.16: 91-125 µm boyutunda %20 katkılı numuneye 10N yük altında ve 0,15 m/s kayma hızında kuru kayma işlemine tabi tutulduktan sonraki 200x, 500x, 2.00 kx’deki SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.16’da 91-125 µm boyutundaki %20 tufal ile takviye edilen numunenin 10N’luk yük altında kuru kayma aşınma davranışlarının SEM mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde 10N yükün yüzeyde daha fazla oranda bozulmalara neden olduğu ve numunede meydana gelen hacimsel kayıpta bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Numune yüzeyinde geniş takviye edici partiküllerin oluşturduğu oluk meydana gelmiştir. Deformasyonunda takviye edici partiküllerin yanında meydana geldiği görülmüştür.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı takviye boyutlarında (33 $\mu$ , ve 91-125 $\mu$ ) ve farklı takviye yüzdelerinde (%5, 10, 15, 20) demir oksit takviye içeren polypropilen kompozit malzemenin kuru kayma aşında davranışları incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar 5N ve 10N yük altında gerçekleştirilmiş, aşınma testlerinin sonucunda numunelerde meydana gelen hacimsel kayıplar incelenerek numunelerin aşınma performansları analiz edilmiş ve numunelerin detaylı analizleri için SEM görüntüleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Tufalin polypropilen matris içerisinde homojen şekilde dağıldığı görülmüştür.
2. Artan takviye edici oranına bağlı olarak kompozit numunelerde sertlik değeri artmıştır.
3. Polypropilen malzeme içindeki takviye oranının artması aşınma direncinin artmasında etkili olmamıştır. En iyi aşınma direnci %5 oranında tufal ile takviye edilen numunelerde görülürken takviye edici oranının artması numunelerde aşınma direncinin düşmesine sebebiyet vermiştir.
4. Takviyesiz numune ile kıyaslandığında ise %20 oranında arttığı görülmüştür.
5. Artan takviye edici oranına bağlı olarak çekme dayanımında bir azalma meydana geldiği görülmüştür.
6. Numune içindeki takviye oranının artması sürtünme katsayısı değerlerinde belirgin bir değişime sebep olmadığı, takviye boyutları içinde en düşük sürtünme katsayısının %5 takviye içeren numunelerde olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar esas alınarak bundan sonra yapılacak çalışmalara yol göstermesi açısından aşağıdaki öneriler verilebilir.

En iyi aşınma direncinin %5 takviye oranına sahip numunede olduğundan daha iyi aşınma direnci elde etmek için %5 takviye oranına yakın değerlerde takviye yapılabilir.

Numuneler başka aşınma deney metodları ile işleme tabii tutularak bu yöndeki aşınma performansları değerlendirilebilir. Takviye edici partiküller nano boyuta getirilerek bu şekilde kompozit numunenin özelliklerini nasıl değiştirdiği incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ahmed, K.S., Khalid, S.S, Mallinatha, V., Kumar, S.J.A., (2012). Dry sliding wear behavior of SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filled jute/epoxy composites. *Materials and Design*, 36: 306–315.
- Alpas, A.T. ve Zhang, J. (1994). “Effect of microstructure (particulate size and volume fraction) and counterface material on the sliding wear resistance of particulate-reinforced aluminum matrix composites”, *Metall. Mater. Trans. A*, 25 969–983.
- Ameen, H.A., Mubarak, H.K.S., (2001) E.M.M Effect of loads, sliding speeds and times on the wear rate for different materials. *American Journal of Scientific and Industrial Research* , 2.99.106’.
- Anitha, P. ve Shrinivas, B.U. (2017) Dry sliding wear performance of Al/7075/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/Grp hybrid metal matrix composites. *Mater Today Proc*, 4:3033–42.
- Bağcı, M. (2005). CuZn10 Pirinç Malzemedede Kayma Hızının Aşınmaya Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 94 s.
- Bai, M., Xue, Q., Wang, X., Wan, Y., Liu, W., (1995). “Wear mechanism of SiC whisker-reinforced 2024 al-alloy matrix composites in oscillating sliding wear tests”. *Wear*, 185:197–202.
- Bauri, R. ve Surappa, M.K. (2008). Sliding wear behavior of Al–Li–SiCp composites. *Wear*, 265(11–12): 1756–66.
- Bhaskar, K.V, Sundarrajan, S., Rao, B.S. ve Ravindra, K., (2018). Effect of Reinforcement and Wear Parameters on Dry Sliding Wear of Aluminum Composites-A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5: 5891–5900.
- Bhaskar, H.B. ve Sharief, A. (2012). Dry Sliding Wear Behaviour of Aluminium /Be<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> Composite Using Taguchi Method. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11, 679-684.
- Dhanabalakrishnan, K.P. (1956). L9 Orthogonal array analysis on wear behaviour of AL20124 Alloy reinforced with Sic Particulars. *IJESR/Dec 2012/Volume-2/Issue-12/Article No-1*
- Gülmez, S. (2018). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler. Tezsiz Yüksek Lisans Programı, T.C. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 74 s
- Hamida, A.A., Ghoshb, P.K., Jain, S.C. ve Ray, S., (2007) “The influence of porosity and particles content on dry sliding wear of cast in situ Al(Ti)– Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (TiO<sub>2</sub>) composite”, *Wear* 265 14–26.

- Köymen, Ç P., Doğru, A., ve Yalkın, H.E. (2016). Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Üretimi Ve Ürünlerin Tahribatsız Muayenesi. *UHUK*, 150.
- Kuo, M.C., Tsai, M.C., Huang, J.C. ve Chen, M. (2005). PEEK composites reinforced by nanosized SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particulates, *Mater. Chem. Phys.* 90 185–195.
- Kumar, G.B.V, Rao, C.S.P. ve Selvaraj N. (2012). “Mechanical and dry sliding wear behavior of Al7075 alloy-reinforced with SiC particles”, *Journal of Composite Materials* 46 (10) 1201–1209.
- Kwok, JKM. ve Lim, SC., (1999). High-speed tribological properties of some Al/SiCp composites. II. Wear mechanism. *Compos Sci Technol* ;59:65–75.
- Lakshmipathy, J. ve Kulendran, B. (2014). Reciprocating wear behavior of 7075Al/SiC in comparison with 6061Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 137-144.
- Lee, J.M. Kang, S.B. ve Han, J. (2008). “Dry sliding wear of MAO-coated A356/20 vol.% SiCp composites in the temperature range 25–180OC”, *Wear*, 264: 75–85.
- Mahandiran, S.B. ve Nataraj, M. (2013). Dry sliding wear behaviour of Al-Sic composites using Design of Experiments, *National Conference on Manufacturing Innovation Strategies&Appeling advancementsMISAA*.
- Nair, SV., Tien, JK. ve Bates, RC. (1985). SiC-reinforced aluminium metal matrix composites. *Int Mater Rev*, 30(6):275–90.
- Palanikumar, K. ve Karthikeyan, R. (2007). Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of Al/SiC particulate composites. *Mater Des* :1559–84.
- Pan, G., Guo Q., Zhang, W. ve Tian, A. (2009). Fretting wear behaviors of nanometer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> reinforced PEEK composites. *Wear*, 266:1208–1215.
- Parchovianský, M., Balko, J., Švančárek, P., Sedláček, J., Dusza, J., Lofaj, F. ve Galuse, D. (2017), Mechanical properties and sliding wear behaviour of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC nanocomposites with 3–20 vol% SiC.
- Pramoda, R., Kumar, G.B.V., Gouda, P.S.S ve Mathew, A.T. (2018), A Study on the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al7075 Metal Matrix Composites Wear behavior using Artificial Neural Networks.
- Qiao, H.B, Guo, Q., Tian, A.G., Pan, G.L. ve Xu, L.B. (2007). A study on friction and wear characteristics of nanometer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PEEK composites under the dry sliding condition, *Tribol. Int.* 40 105–110.
- Rosenberger, MR., Forlerer, E. ve Schvezov, C.E. (2009). Wear behavior of AA1060 reinforced with alumina under different loads. *Wear*, 266(1–2):356–9.

- Sannino, A.P. ve  
Rack, H.J (1995). “Dry Sliding Wear of Dis-continuously Reinforced Aluminium Composites: Review and Discussion,” *Wear*, Vol. 189, No. 1-2, pp. 1-19.
- Sahin, Y. (2003). Wear behavior of aluminum alloy and its composites reinforced by SiC particles using statistical analysis. *Mater Des*, 24:95–103.
- Sharifi, H., Ostovan, K., Tayebi, M. ve Rajae A. (2017). Dry sliding wear behavior of open-cell Al-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al-Mg/SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite preforms produced by a pressureless infiltration technique. *Tribology International*, 116: 244–255.
- Shi, G., Zhang, M.O., Min Zhi Rong, M.Z., Wetzel, B. ve Friedrich, K. (2004). Sliding wear behavior of epoxy containing nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles with different pretreatments. *Wear*, 256: 1072–1081.
- Shipway, PH., Kennedy, AR. ve Wilkes, AJ. (1998). Sliding wear behaviour of aluminium-based metal matrix composites produced by a novel liquid route. *Wear* ;216(2):160–71.
- Shorowordi, KM., Laoui, T. ve Asma, H. et al. (2003). Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al matrix composites: a comparative study. *J Mater Process Technol*, 142:738–43.
- Staab, G.H. (1999). *Laminar Composites*. Heinemann: Butterworth- Heinemann.
- Sönmez, M. (2009). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, İstanbul, 183 s.
- Swamy, N.R.P., Ramesh, C.S. ve Chandrashekar, T. (2012). “Effect of Heat Treatment on Strength and Abrasive Wear Behaviour of Al6061-SiCp Composites,” *Bulletin of Materials Science*, Vol. 33, No. 1, 2010, pp. 49-54.
- Umanath, K., Palanikumar, K. ve Selvamani, S.T (2013). Analysis of dry sliding wear behaviour of Al6061/SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hybrid metal matrix composites.
- Umanath, K., Selvamani, S.T. ve Palanikumar, K. (2011). Friction and wear behaviour of Al6061 Alloy (SiCp+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Hybrid Composites. *Intrnational journal of Engineering science and Technology* Vol.3 No.7 .
- Wang, Q.H., Shen, W., Xu, J. ve Xue, Q. (1997). The effect of nanometer SiC filler on the tribological behavior of PEEK. *Wear*, 209 316–321.
- Wang, A. ve Rack, H.J. (1991). Dry sliding wear in 2124 Al–SiCw/17-4 PH stainless steel systems. *Wear*, 147 355–374.
- Yıldız, T. ve Gür, A.K. (2006). Aşınma Sistemleri. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü 23119, Elazığ, 6 s.

Zongyi, M., Jing, B., Yuxiong, L., S. Hongwei, S. ve Yinxuan, G. (1991). Abrasive wear of discontinuous SiC reinforced aluminium alloy composites. *Wear*, 148 287-293.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ahmet Tayfun KİRAZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : ZONGULDAK - 16.08.1990

## Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Uludağ Üniversitesi  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce  
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Farklı Çeliklerin Kaynağında Isıl İşlemlerin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi  
Tufal Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitin Kuru-  
Kayma Aşınma Davranışları

Aldığı Ödüller :

## İş Deneyimi

Stajlar : Sanko Bartın Çimento A.Ş.- Hattat Enerji A.Ş.  
Projeler ve Kurs Belgeleri : Mekanik Tesisat Belgesi- Şantiye Şefliği Belgesi  
Çalıştığı Kurumlar : Kiraz Mühendislik

## İletişim

E-Posta Adresi : ahmet\_tayfun67@hotmail.com

Tarih : 28/08/2019 (Tez Savunma Tarihi)



