



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ALÜMİNYUM MATRİSLİ SERAMİK  
PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT-HİBRİT  
MALZEMELERE NANO GRAFEN  
KATKISININ MİKROYAPI-SERTLİK VE  
AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI

Alper NAMALAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Alper NAMALAN

Tarih: 17.12.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ALÜMİNYUM MATRİSLİ SERAMİK PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT-HİBRİT MALZEMELERE NANO GRAFEN KATKISININ MİKROYAPI-SERTLİK VE AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Alper NAMALAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE

2022, 94 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE

Doç. Dr. Şaban BÜLBÜL

Doç. Dr. Uğur GÖKMEN

Gelişen imalat yöntemleri ile birlikte, metal, demir ve seramik tozlarının elde edilmesi kolaylaşmıştır. Bu gelişmeden dolayı kompozit malzemelere olan önem giderek artmıştır. Mikro düzeyde birleşme ile elde edilemeyen mekanik özellikler ve kimyasal özellikler, makro düzeyde birleşme sonucu olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte havacılık sektöründeki gelişmeler ve tekrar kullanılabilen roketlerde, taşıyıcı yapının hafif ve dayanıklı olması gerekmektedir. Bu sayede faydalı yük taşıma kapasitesi artırılır veya aynı yük kapasitesinde daha az yakıt tüketimi sağlanır. Kullanılan kompozit yapı, tüm sistemlerde ana taşıyıcı sistemi oluşturacağından mikro yapı, sertlik ve aşınma gibi önemli mekanik özelliklerinin iyi bir şekilde tespit edilip, istenilen kompozit yapısının elde edilmesi gerekir. Bu değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda üstün ve öne çıkan özelliklerinden dolayı çoğunlukla alüminyum metal matris kompozitler tercih edilir hale gelmiştir.

Havacılık ve uzay sektörü uygulamalarında çoğunlukla AA7020 Alüminyum alaşımı tercih edildiğinden, bu tez çalışmasında kompozit malzeme üretimine yönelik olarak bu malzeme toz parçacıkları matris olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda takviye fazı olarak ise SiC seramik parçacıkları ve yağlayıcı olarak nano grafen toz malzemesi kullanılmıştır. Özellikle kompozit malzeme üretimi, mikro yapı ve mekanik özellikleri açısından, yağlayıcı özelliği, hafif olması ve boyutsal olarak matris ve takviye elamanından küçük olması sebebi ile nano grafen parçacıkları tercih edilmiştir.

Bu kapsamda AA7020 matrisli SiC ve Nano grafen takviyeli kompozit malzemenin üretimi bakımından matris malzemesine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında SiC seramik faz takviyesi gerçekleştirilmiştir. Özellikle kompozit malzeme yapısında Nano grafen parçacık takviyesinin etkisini incelemek amacıyla SiC seramik takviye fazı sabit tutularak sırasıyla %0.25, %0.50, %1.0 Nano grafen deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Hassas terazide başlangıç matris ve takviye elemanlarının toz tartım ölçümleri sonrası hazırlanan toz karışımları, matris/takviye homojen dağılımının elde edilmesi için 300 RPM ve 30 dakika süre ile yüksek enerjili bilyeli değirmende karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra hazırlanan toz karışımları 650 MPa basınç altında oda sıcaklığında preslenmiştir. Presleme sonrası elde edilen deney numunelerine 600°C sıcaklıkta 60 dakika sinterleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra deney numunelerine sırasıyla yoğunluk ölçümü, mikroyapısal karakterizasyon, sertlik ve aşınma testi uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AA7020, Aşınma, Metal matrisli kompozit, Nano grafen, Seramik, SiC

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NANO GRAPHEN ADDITIVE TO ALUMINUM MATRIX CERAMIC PARTICLE REINFORCED COMPOSITE-HYBRID MATERIALS ON MICROSTRUCTURE-HARDNESS AND ABRASION BEHAVIOR**

**Alper NAMALAN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan GÖKMEŞE**

**2022, 94 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Hakan GÖLMEŞE**

**Assoc. Prof. Dr. Şaban BÜLBÜL**

**Assoc. Prof. Dr. Uğur GÖKMEN**

With the developing manufacturing methods, it has become easier to obtain metal, iron and ceramic powders. Due to this development, the importance of composite materials has gradually increased. Mechanical properties and chemical properties that could not be obtained by incorporation at the micro level were obtained as a result of incorporation at the macro level. However, developments in the aviation industry and reusable rockets require that the carrier structure be light and durable. In this way, the useful load carrying capacity is increased or less fuel consumption is provided at the same load capacity. Since the composite structure used will form the main carrier system in all systems, important mechanical properties such as microstructure, hardness and wear should be well determined and the desired composite structure should be obtained.

Since AA7020 Aluminum alloy is mostly preferred in aerospace applications, this material has been determined as a matrix of powder particles for the production of composite materials in this thesis. At the same time, SiC ceramic particles were used as reinforcement phase and nano graphene powder material was used as lubricant. Particularly in terms of composite material production, microstructure and mechanical properties, nano graphene particles have been preferred because of their lubricating property, light weight and size smaller than matrix and reinforcement element.

In this context, 5%, 10% and 15% by weight SiC ceramic phase reinforcement was applied to the matrix material for the production of AA7020 matrix SiC and Nano graphene reinforced composite material. Especially in order to examine the effect of nano graphene particle reinforcement in composite material structure, SiC ceramic reinforcement phase was kept constant and 0.25%, 0.50%, 1.0% Nano graphene was used in experimental studies, respectively. The powder mixtures prepared after the powder weighing measurements of the initial matrix and reinforcement elements on a precision balance were subjected to the mixing process in a high-energy ball mill for 300 RPM and 30 minutes in order to obtain a homogeneous matrix/reinforcement distribution. Then, the prepared powder mixtures were pressed at room temperature under a pressure of 650 MPa. The test samples obtained after pressing were sintered at 600°C for 60 minutes. After these processes, density measurement, microstructural characterization, hardness and abrasion tests were applied to the test samples, respectively.

**Keywords:** AA7020, Ceramic, Metal matrix composite, Nano graphene, SiC, Wear

## ÖNSÖZ

Proje süresi boyunca her türlü desteği sağlayan, araştırma ve deneysel çalışmalarda bilgi birikimini paylaşan bir hocadan fazlası danışman hocam Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE'ye en içten ve samimi dileklerle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tezimin yazımı boyunca beni hep destekleyen ve yardım eden sevgili Eşim Tuba NAMALAN'a teşekkür ederim

Deneysel çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen özverili bir şekilde destek veren Yüksek Mak. Müh. Emre ÜNAL'a ve Araştırma çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan Mak.Müh. Volkan SOLTEKİN'e teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatımın başlangıcından bu yana maddi ve manevi olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Alper NAMALAN  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TOZ METALURJİSİ .....</b>	<b>3</b>
2.1. Metal Tozu Üretim Teknikleri .....	6
2.1.1. Mekanik üretim teknikleri .....	7
2.1.2. Elektroliz ile üretim teknikleri.....	8
2.1.3. Kimyasal üretim teknikleri .....	8
2.1.4. Atomizasyon üretim teknikleri .....	9
2.2. Toz Metalurjisi ile Parça Üretimi .....	10
2.2.1. Karıştırma ve harmanlama.....	11
2.2.2. Presleme.....	12
2.2.3. Sinterleme .....	12
<b>3. KOMPOZİT MALZEMELER.....</b>	<b>14</b>
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	16
3.1.1. Seramik matrisli kompozitler.....	16
3.1.2. Polimer Matrisli Kompozitler .....	17
3.1.3. Takviye elemanının şekline göre kompozitler .....	17
3.2. Metal Matrisli Kompozitler .....	18
3.2.1. MMK kullanılan matris malzemeleri.....	19
3.2.2. MMK kullanılan takviye malzemeleri .....	20
3.2.2.1. SiC takviye elemanının özellikleri.....	21
3.2.2.2. Grafen ve Yapısı .....	23
3.2.3. MMK üretim yöntemleri.....	25
<b>4. AŞINMA .....</b>	<b>27</b>
4.1. Aşınma Çeşitleri .....	28
4.1.1. Adhesif aşınma .....	29
4.1.2. Abrasif aşınma .....	30
4.1.3. Yorulma aşınması .....	31

4.1.4. Eroziv aşınma .....	31
4.1.5. Öğütme aşınma .....	32
4.1.6. Oymalı aşınma .....	32
4.1.7. Kazımalı aşınma .....	33
4.1.8. Korozyon aşınma.....	33
4.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler.....	34
4.3. Aşınmaya Ölçüm Yöntemleri .....	34
<b>5. LİTERATÜR TARAMASI.....</b>	<b>35</b>
<b>6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>44</b>
6.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	45
6.1.1 Malzeme.....	46
6.1.2. Numunelerin hazırlanması .....	48
6.1.3 Numunelerin preslenmesi .....	49
6.1.4 Numunelerin sinterlenmesi .....	50
6.1.5. Yoğunluk ölçüm işlemleri .....	51
6.2. Malzemelerin Mikroyapı Sertlik ve Aşınma Dayanımlarının Ölçülmesi .....	52
6.2.1. Metalografik işlemler.....	52
6.2.2. Mikroyapı incelemesi .....	53
6.2.3. Sertlik ölçüm işlemi.....	54
6.2.4. Aşınma ölçümü .....	55
<b>7. DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>56</b>
7.1 Çalışma Sürecinin Değerlendirilmesi .....	56
7.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları .....	56
7.3. Mikroyapı Sonuçları .....	58
7.4. Sertlik Sonuçları .....	66
7.5. Aşınma Sonuçları.....	67
<b>8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
8.1. Sonuçlar .....	74
8.2. Öneriler .....	76
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>82</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

AA7020  
SiC  
NGR  
Be  
FeO  
Fe  
H<sub>2</sub>O  
CO  
Ni  
Ag  
NO<sub>3</sub>  
Na  
ThO<sub>2</sub>  
TiO<sub>2</sub>  
WC  
Sn  
Pb  
Mn  
Co  
Si  
Zn  
Ti  
Nm  
N  
d/dak  
µm  
nm  
MPa

### Açıklama

Alüminyum 7020  
Silisyum Karbür  
Nano grafen  
Berilyum  
Demir Oksit  
Demir  
Su  
Karbon Monoksit  
Nikel  
Gümüş  
Nitrat  
Sodyum  
Torya  
Titanya  
Wolfram Karbür  
Kalay  
Kurşun  
Manganez  
Kobalt  
Silisyum  
Çinko  
Titanyum  
Newtonmetre  
Newton  
Devir/dakika  
Mikrometre  
Nanometre  
MegaPascal

### Kısaltmalar

T/M  
MA  
NGP  
MMK  
SMK  
PMK  
KMK  
XRD  
SEM  
RPM  
HB  
HV

### Açıklama

Toz Metalurjisi  
Mekanik alaşımlama  
Nano Graphen  
Metal Matrisli Kompozitler  
Seramik Matrisli Kompozitler  
Polimer Matris Kompozitler  
Karbon Matrisli Kompozitler  
X-ışını kırınımı  
Spekto Elektro Mikroskop  
Revolutions per Minute  
Hardness Brinel  
Hardness Vickers



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.Toz metalürjisi ile üretilen ürünler .....	3
Şekil 2.2.Toz metalürjisi yöntemiyle parça üretimi akış şeması [10].....	4
Şekil 2.3.T/M parçalarının 1999 yılında dünya gelenindeki pazar payı [13] .....	5
Şekil 2.4.Toz morfolojileri (şematik) .....	6
Şekil 2.5.Bilyeli öğütme cihazıyla mekanik toz üretim tekniği.....	7
Şekil 2.6. Elektroliz ile toz üretimi .....	8
Şekil 2.7.Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi .....	9
Şekil 2.8.Atomizasyon ile toz üretimi .....	9
Şekil 2.9.Toz metalürjisinde parça üretimi iş akış diyagramı.....	10
Şekil 2.10.Farklı öğütme ve karıştırma makineleri: a) dönen tambur, b) dönen çift koni, c) vidalı mikser ve d) bıçaklı mikser .....	11
Şekil 2.11.Sinterleme sırasında boyun oluşumu .....	13
Şekil 3.1. Kompozit malzeme yapısı .....	14
Şekil 3.2.Takviye elemanını şekline göre kompozit çeşitleri [19] .....	17
Şekil 3.3.Alüminyum üretim aşamaları [23] .....	20
Şekil 3.4.a) Grafit ve b) Grafen yapıları .....	23
Şekil 3.5.Grafen ve grafen temelli fulleren, nanotüp ve grafit yapıları .....	23
Şekil 3.6.Grafenin çeşitli özelliklerinin bilinen diğer malzemelerle karşılaştırılması....	25
Şekil 3.7.Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri [31] .....	26
Şekil 4.1.Aşınma safhaları .....	28
Şekil 4.2.Adhesif aşınma oluşumu [34].....	29
Şekil 4.3.Adhesif aşınmada kullanılan geometriler [34] .....	30
Şekil 4.4.Abrasif aşınma mekanizmaları; a) iki elemanlı ve b) üç elemanlı aşınma .....	30
Şekil 4.5.Yorulma aşınması [35] .....	31
Şekil 4.6.Erozif aşınma çeşitleri [32].....	32
Şekil 4.7.Korozif Aşınma [37].....	33
Şekil 6.1.Deneysel çalışma sıralaması .....	44
Şekil 6.2.AA7020 MMK matrisi .....	46
Şekil 6.3.SiC Tozu .....	47
Şekil 6.4.Nano Garfen Tozu .....	47
Şekil 6.5.Hassas ölçüm cihazı.....	48
Şekil 6.6.Hassas ölçümü yapılan toz numunesi .....	49
Şekil 6.7.Thermnona marka karıştırıcı .....	49
Şekil 6.8.Presleme İşlemi.....	50
Şekil 6.9.Nevola marka atmosfer kontrollü sinterleme fırını .....	50
Şekil 6.10.Sinterleme sırasındaki görseller.....	51
Şekil 6.11.Hassas ölçüm cihazları .....	51
Şekil 6.12. Çift Diskli Hardway marka zımparalama ve parlatma cihazı.....	52
Şekil 6.13.Optik Görüntüleyici .....	53
Şekil 6.14.SEM Cihazı.....	54
Şekil 6.15.Sertlik ölçüm cihazı .....	54
Şekil 6.16.Aşınma testi cihazı.....	55
Şekil 7.1.Deneysel çalışma yol haritası .....	56
Şekil 7.2.Yoğunluk değişimi .....	57
Şekil 7.3.Nispi yoğunluk değerleri .....	58
Şekil 7.4.AA7020 deney numunesin optik mikroskop görüntüleri .....	59
Şekil 7.5.AA7020 deney numunesi SEM görüntüleri .....	59
Şekil 7.6.SiC10 deney numunesi mikroyapı görüntüleri.....	60

Şekil 7.7. SiC10 deney numunesi SEM görüntüleri .....	60
Şekil 7.8.SiC10-NG0.25 deney numunesi mikroyapı görüntüleri.....	61
Şekil 7.9. SiC10-NG0.25 deney numunesi SEM görüntüleri .....	61
Şekil 7.10. SiC10-NG0.50 deney numunesi mikroyapı görüntüleri.....	62
Şekil 7.11. SiC10-NG0.50 deney numunesi SEM görüntüleri .....	62
Şekil 7.12.SiC10-NG1 deney numunesi mikroyapı görüntüleri.....	63
Şekil 7.13.SiC10-NG1 deney numunesi SEM görüntüleri .....	63
Şekil 7.14.SiC10-NG0.5 deney numunesi genel EDS analizi .....	64
Şekil 7.15. SiC10-NG0.5 deney numunesi genel EDS analizi ve haritalama .....	65
Şekil 7.16.Ortalama sertlik değeri ölçümleri .....	66
Şekil 7.17.Aşınma testi sırasında görsel .....	67
Şekil 7.18.Aşınma yüzeyi .....	67
Şekil 7.19.AA7020 numunesinin ağırlık kaybı .....	68
Şekil 7.20.AA7020 numunesinin SEM görüntüleri.....	68
Şekil 7.21.SiC10 numunesinin ağırlık kaybı .....	69
Şekil 7.22.SiC10 numunesinin SEM görüntüleri.....	69
Şekil 7.23.SiC10-NG0.25 numunesinin ağırlık kaybı .....	70
Şekil 7.24.SiC10-NG0.25 numunesinin SEM görüntüleri .....	70
Şekil 7.25.SiC10-NG0.50 numunesinin ağırlık kaybı .....	71
Şekil 7.26.SiC10-NG0.50 numunesinin SEM görüntüleri .....	71
Şekil 7.27.SiC10-NG1 numunesinin ağırlık kaybı .....	72
Şekil 7.28.SiC10-NG1 numunesinin SEM görüntüleri .....	72
Şekil 7.29.AA7020, SiC10, SiC10-NG0.25, SiC10-NG-0.50, SiC10-NG1 Deney numunelerinin ortak ağırlık kaybı.....	73

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Hidrolik ve mekanik preslerin genel özellikleri [17].....	12
Çizelge 3.1.Kompozit malzemelerin kullanım alanları .....	15
Çizelge 3.2.Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanları .....	18
Çizelge 3.3.Kompozit türleri ve uygulama alanları[18] .....	19
Çizelge 3.4.Saf alüminyum özellikleri .....	19
Çizelge 3.5.Saf alüminyum özellikleri .....	21
Çizelge 3.6.Saf alüminyum özellikleri[27].....	22
Çizelge 3.7.Saf alüminyum özellikleri .....	24
Çizelge 6.1.AA7020 malzemesinin ağırlıkça (%) kimyasal Bileşimi .....	46
Çizelge 6.2.SiC mekanik ve kimyasal özellikleri .....	47
Çizelge 6.3.MMK ağırlıkça karışım oranları.....	48



## 1. GİRİŞ

Gelişen sanayileşme ile birlikte, günümüz ihtiyaçlarına eski imalat yöntemleri ile imal edilen malzemelerin mekanik özellikleri (ısı iletkenlik, aşınma dayanımı, korozyon direnci vb.) yeterli gelmemektedir. Bunların iyileştirilmesi için malzemelerin nano ve mikro boyutlarında çalışmalarda ilerleme kat edilmiştir. Bu çalışmalar ile birlikte kompozit malzemelerde ilerleme kat edilmiştir [1].

Kompozit malzeme, en az iki veya ikiden fazla malzemelerin istemiş olduğumuz en iyi mekanik özelliklerini kullanarak oluşturulan makro düzeyde birleşmiş yeni yapıya denir. Kompozitler matris(ana) malzemesine göre üç grupta sınıflandırılır. Bunlar; Metal, polimer ve seramik matrisli yapılarıdır [2].

Metal matrisli kompozitlerin, matris yapısının belirlenmesinde, korozyon dayanımı, aşınma dayanımını, oksitlenme ve mekanik özellikler belirleyici etmenlere sahiptir. Alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, titanyum ve alaşımları metal matrisli kompozitlerde, matris malzemesi olarak kullanılabilir [2].

Alüminyum matrisli kompozitler global çapta en çok kullanılan demir matrisli kompozitlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Başlıca nedenleri kolay üretimi, işlenebilirlik, yüksek korozyon direnci, düşük özgül ağırlık, şekillendirilebilirlik gibi başlıca ana etmenler yer almaktadır [3].

Metal matrisli kompozitlerde takviye toz parçacığı olarak kullanılan SiC, düşük genleşme katsayına sahip, yüksek sertlik ve aşınma dayanımı gösteren ve yüksek elastisite modülüne sahip kovalent bağlı bileşendir. Bu etmenler neticesinden metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak tercih edilmektedir [3].

Toz metalürjisi(T/M) ile üretilen Metal matrisli kompozitlerin elde edilmesi için, hassas bir şekilde tartılan tozlar, belirli devir ve sürede karıştırılır. Ardından şeklini alacağı kalıbın içine tartılarak eklenir. Belirli basınç değeri altında presleme(sıkıştırma) uygulanır. Presleme işlemi kalıp sıcak veya soğuk iken yapılabilir. Ardından ergime sıcaklığının altındaki değerlerde malzeme sinterlenir [4].

Takviye fazı olarak kullanılan karbon esaslı nano grafen, yüksek elektrik iletkenliğine sahip, demir ve alaşımlarından daha dayanıklı bir yapıya sahiptir, esnek ve hafif bir yapıya sahiptir. Kompozit yapıya eklenmesi ile çekme dayanımı, sertlik, korozyon direnci, aşınma direnci ve yağlayıcı özelliklerini arttırmaktadır [4].

Bu kapsamda gerçekleştirilen tez çalışmasında farklı oranlarda AA7020 Toz metal matris yapısına, SiC toz seramik takviyesi ve yağlayıcı olarak nano grafen kullanılan metal matrisli kompozit yapıları elde edilmiştir. Bu yapıların mikro yapı, mikro sertlik, yoğunluk ve aşınma dayanımları incelenmiştir [4].



## 2. TOZ METALURJİSİ

TM basınç yardımıyla mikron ve altındaki ölçeklerdeki tozların sıkıştırılmasıdır. Ham madde maliyetlerinin artması neticesinden toz metalurjisi ile üretim teknikleri önem kazanmıştır. Genel imalat yöntemleri ile elde edilmesi zor olan parçaları TM üretim teknikleri ile kolayca ve hammadde maliyeti düşük olarak üretilebilir [5]. TM nihai ürün elde edilmesi toz elde edilmesi ile başlar, bu tozlar boyutlandırılır, kalıp yardımı ile preslenir, ısıl işlem uygulanır kalite kontrol testleri neticesinde kullanıma hazır hale gelir [6].

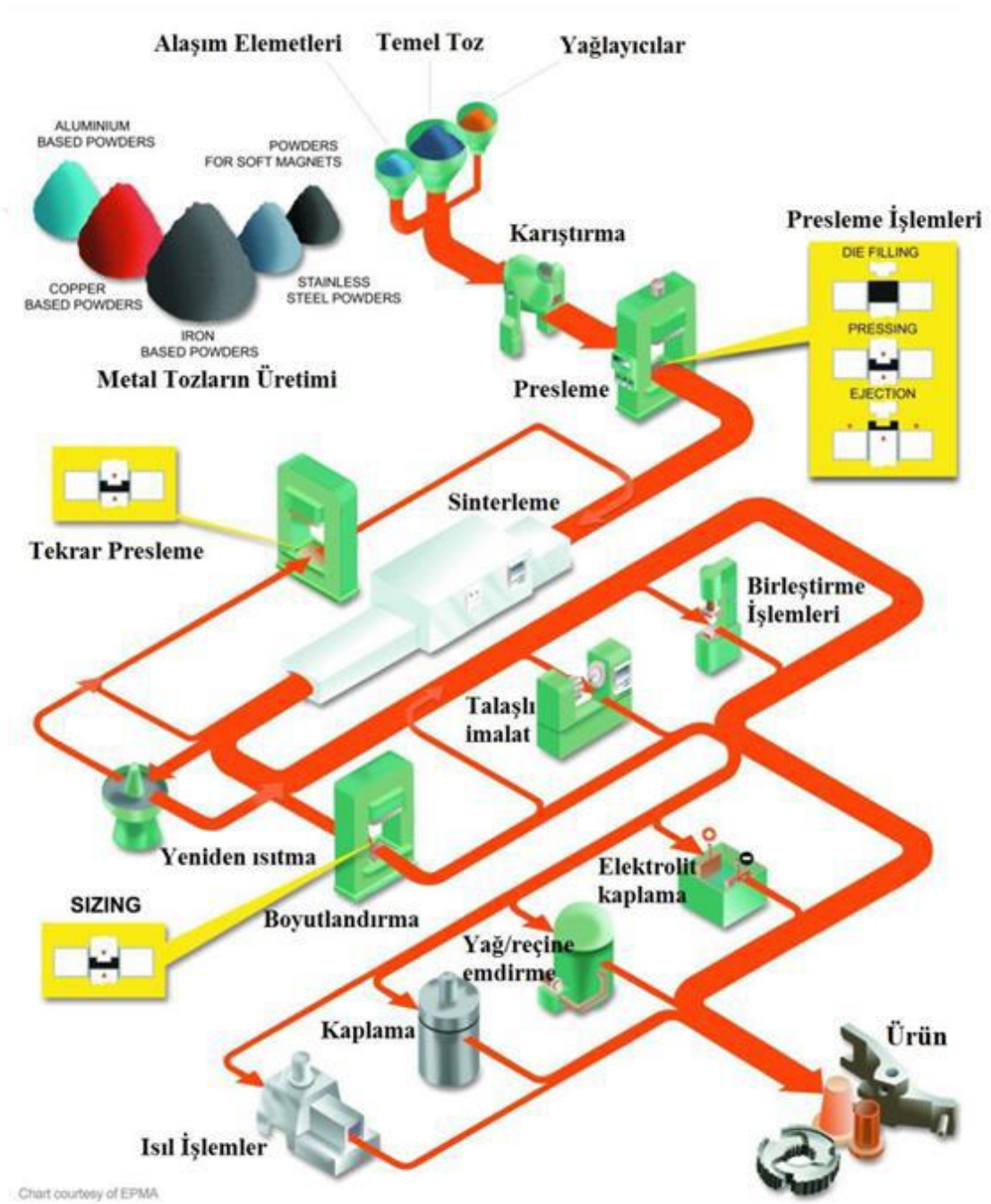
TM üretim teknikleri ile elde edilen üstün mekanik ve kimyasal özelliklere sahip demir ve demir dışı metallerin endüstrideki kullanımı artmıştır. Toz metalürjisi ile üretilen ekipmanlarda, maliyetinin azalması tolerans değerlerinin elde edilmesi, elde edilen ürünlerde bir başka talaşlı imalat yönteminin kullanılmamasından dolayı tüm endüstri dallarında kullanılmaktadır [7]. Toz metalürjisi tekniği genel imalat sisteminin yanı sıra, askeri alanlarda da kullanılmaktadır. Kullanım yerleri standart Toz metalürjisi ile üretilmiş parçalar, ikinci ise piroteknik üretim yöntemidir [8].

Genel imalat prosesleri TM ile üretilmiş parçalardır. Genel yapısal elemanlardır. Bunlar otomatik, havacılık, denizcilik gibi sektörlerde kullanılır [8]. Piroteknik TM prosesleri ise demir ve demir dışı ürünlerin toz yapılarında takviye elemanları karıştırılarak elde edilir, Ateşleyici, roket yakıtı, patlayıcılarıdır [8].



Şekil 2.1.Toz metalürjisi ile üretilen ürünler

Toz metalürjisinin prosesleri şu şekildedir. Tozlar yüksek basınç altında sıkıştırılır. Erime sıcaklığının altındaki değerlerde dış atmosferden korunmuş şekilde sinterlenir. Bu işlemde taneler arası boşluklarda azalma gerçekleşir. Tozların boyutları ve alaşımına göre genel yapının özelliklerini belirler. Metal tozların preslenmesi sıcak veya soğuk olarak uygulanmaktadır. Temiz yüzey kaliteleri elde edilmektedir [9]. TM ile parça üretiminin aşamaları Şekil 2.2’de yer almaktadır.

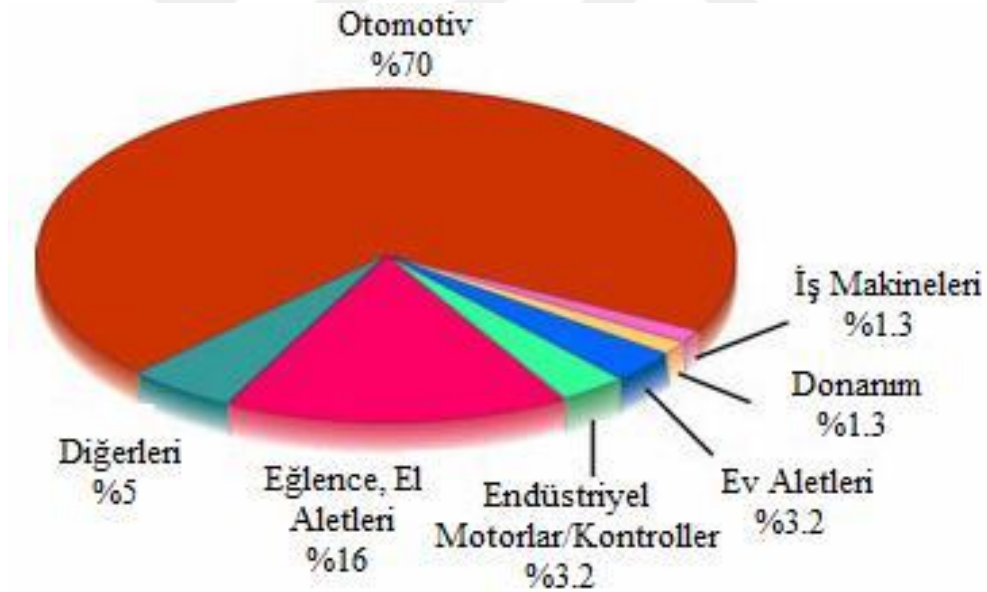


Şekil 2.2. Toz metalürjisi yöntemiyle parça üretimi akış şeması [10]

Toz metalürjisinin dezavantajları şu şekilde sıralanmaktadır;

- a) Büyük hacimli ürünlerde yüksek sıkıştırma basıncı gerekir.
- b) Toz materyalinin temiz olmalı. Kirli ve saf olmayan tozlardan elde edilen ürünlerde gerekli mekanik özellikler elde edilemez [11].
- c) Kısa fiber takviyeleri tozların homojen olması için karıştırılırken kırılabilir.
- d) Patlayıcılığı yüksek olan tozları elde etme tehlikeli ve zaman almaktadır [12].

Bu olumsuz etmenlere rağmen TM'nin kullanımı ve kullanım alanı yıllar geçtikçe artacaktır [8]. Bu üretim tekniği, mekanik özellikleri yüksek parçaların elde edilmesinde farklı yapılarıdaki metal ve metal dışı tozları takviye elemanları ile birleştirilmesini sağlamaktadır [13].



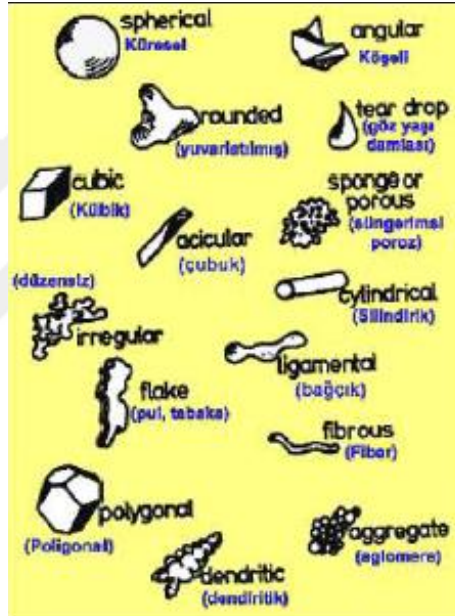
Şekil 2.3.T/M parçalarının 1999 yılında dünya gelenindeki pazar payı [13]



## 2.1. Metal Tozu Üretim Teknikleri

Metal tozunun üretiminde önemli parametreler, tozun şekli ve boyutu belirleyicidir. Nerdeyse tüm malzemelerin toz hali elde edilebilir. Burada ise tozun özelliği, üretim yöntemi, istenilen özellik ve maliyet gibi etmenlere bağlıdır [14].

Toz malzemeleri boyutsal olarak 1  $\mu\text{m}$ 'den 200  $\mu\text{m}$ 'ye aralığındaki taneler toz olarak sınıflandırılır. Elde edilen tozlar, küresel, dentritik, çubuk, yassı gibi farklı yapılarda görülmektedir. Şekil24'de yer almaktadır. Tozun tane boyutu, yüzey yapısı ve şekli nihai ürünün elde edilmesini önemli etmenlerdir [14].



Şekil 2.4. Toz morfolojileri (şematik)

Toz üretim yöntemleri;

- Kimyasal üretim teknikleri,
- Mekanik üretim teknikleri,
- Isıl ayrışım üretim teknikleri,
- Elektrolitik üretim teknikleri,
- Taneler arası korozyon üretim teknikleri,
- Atomizasyon üretim teknikleri,

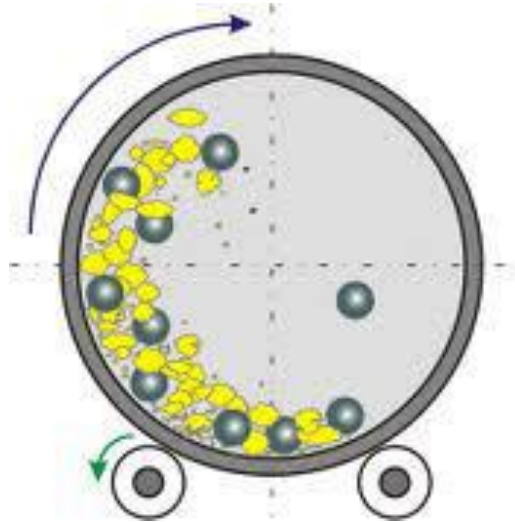
Bu yöntemler ile toz üretimi gerçekleştirilmektedir [14].

### 2.1.1. Mekanik üretim teknikleri

Mekanik üretimi dört başlıkta incelenmektedir. Bu yöntemler;

- a) Darbeli üretim yöntemi; malzemeye anlık ve hızlı bir şekilde sert darbeler vurulur. Malzeme küçük boyutlara ayrılmaktadır
- b) Aşındırarak üretim yöntemi; Birbirine paralel olan aşındırıcıların sürtünme ile malzemenin boyutunda küçülme meydana gelir.
- c) Kesme üretim yöntemi; Malzemedeki kesme kuvveti ile malzemenin toz haline getirir.
- d) Basma üretim yöntemi; Malzemeyi kırılma deformasyonu noktasını geçip toz üretimidir [15].

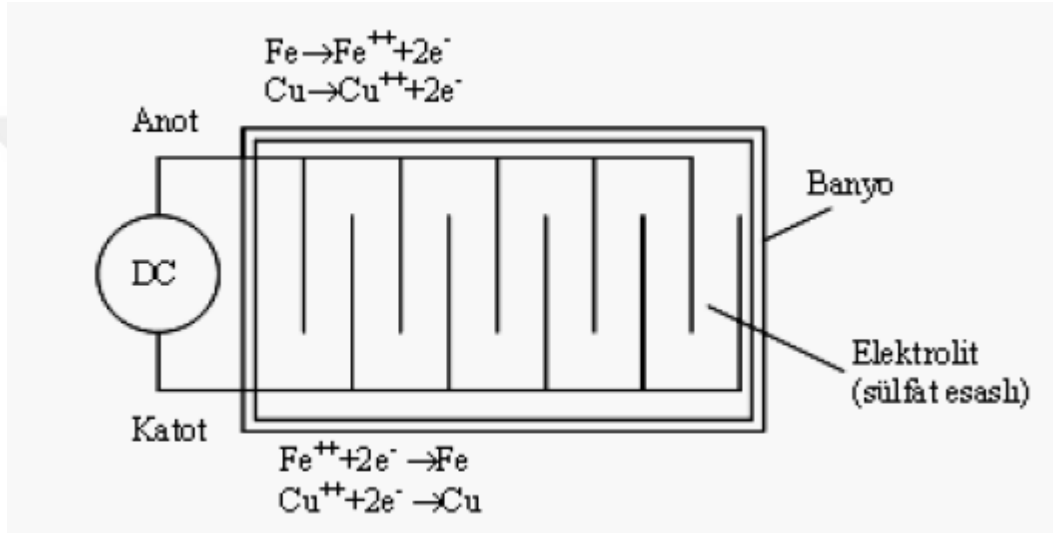
Aşındırarak üretim yöntemi, tüm mekanik üretim yöntemlerinin bir arada olduğu tekniktir. Milimetre boyutundaki tozların üretiminde uygundur. Mikron boyundaki tozları elde etmek için daha yoğun öğütme cihazları kullanılmaktadır. Mekanik işlemlere elde edilen tozların şekilleri düzensiz olmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak istenilen son ürünün kalitesine etki etmektedir [15].



Şekil 2.5. Bilyeli öğütme cihazıyla mekanik toz üretim tekniği

### 2.1.2. Elektroliz ile üretim teknikleri

Elektrolizle toz üretiminde, hücre içerisinde yer alan katodun belirli çalışma aralığında element tozlarını biriktirir. Krom, demir, mangan, paladyum bakır, gümüş ve çinko gibi metallerdir. Diğer üretim yöntemlerinden ayıran en önemli üstünlüğü, yüksek saflıkta toz üretimi gerçekleştirebilir. Elektroliz ile toz üretimi Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Katot üzerindeki tozlar toplanır, ardından sırasıyla kurutma ve öğütme işlemleri gerçekleştirilir. Daha sonra ön gerilmeleri azaltmak için tavlama işlemi yapılır [11].

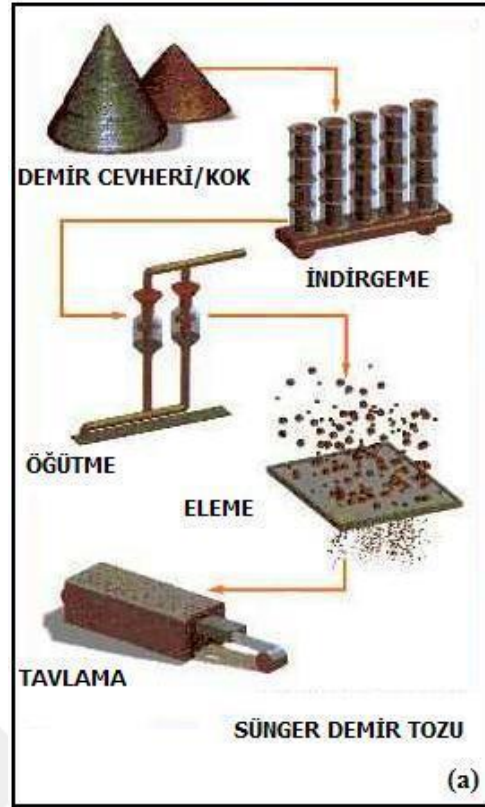


Şekil 2.6. Elektroliz ile toz üretimi

Elde edilen tozların şekilleri süngerimsi veya dentritik yapıdadır. Tozun özelliği birikme esnasındaki banyo koşullarına ve bir sonraki işlem sıralamasına bağlıdır.

### 2.1.3. Kimyasal üretim teknikleri

Metal tozunun kimyasal metotlarla üretilmesi, metal oksitlerin (demir, bakır, nikel, tungsten, kobalt ve molibden)  $H_2$  veya  $CO$  indirgeyici gazlarla oksitlerinden kimyasal olarak indirgemesidir. Bu uygulama metodu sünger-demir tozu üretimden kullanılmaktadır. Şekil 2.7'de kimyasal yöntemle toz üretimi görülmektedir[11].



Şekil 2.7.Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi

#### 2.1.4. Atomizasyon üretim teknikleri

Atomizasyon ile üretim tekniği eriyik metalin mekanik veya belirli basınç altındaki sıvı veya gaz akışı ile toz haline getirilmesidir. Toz üretim yöntemleri arasında en çok uygulanan üretim çeşididir. Metal tozlarının %90'ı bu imalat yöntemi ile üretilmektedir.

Ergimiş metal, ince bir akış borusundan geçirilir, aynı anda yüksek basınçlı su veya gaz ile mikron boyutundaki parçalara ayrılır ve soğutulur. Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilmiştir.



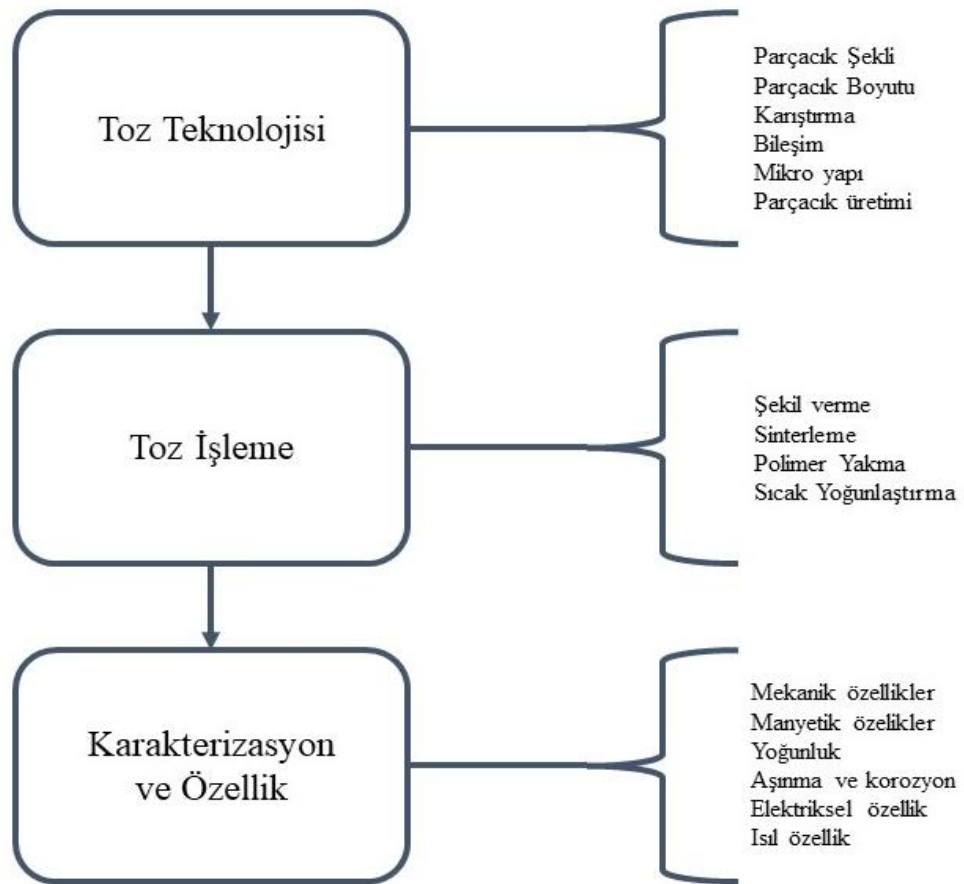
Şekil 2.8.Atomizasyon ile toz üretimi

En çok kullanılan gazlar, argon, hava ve azottur, sıvılarda ise su en çok kullanılır [15]. Gaz atomizasyonu yöntemleri şu şekilde sıralanır;

- Su Atomizasyonu
- Gaz Atomizasyonu
- Döner Elektrot Yöntemi
- Vakum Atomizasyon Yöntemi
- Döner Disk Yöntemi

## 2.2. Toz Metalurjisi ile Parça Üretimi

Toz metalurjinde parçalara sırasıyla belirli proseslerden geçirilir ve nihai makine veya iş parçası elde edilir. İşlem sırası Şekil 2.9’da yer verilmiştir [14].



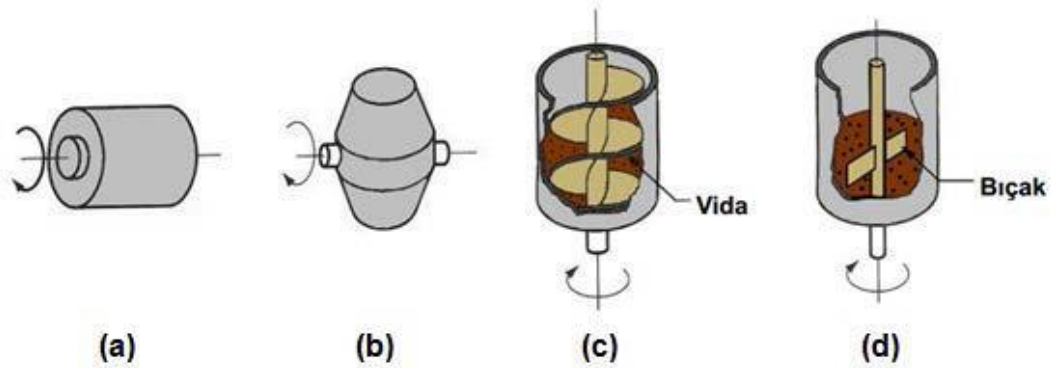
Şekil 2.9.Toz metalürjisinde parça üretimi iş akış diyagramı

Metal tozundan parça üretimi şu şekilde ilerler. Tozlar ve yağlayıcı maddeler homojen bir yapı elde edilinceye kadar karıştırılır. İstenilen geometrik yapıdaki kalıplara ölçüm işlemi yapılarak eklenir ve sıcak veya soğuk olarak belirli basınç altında preslenir. İç gerilmeleri ve tane yapısının düzeltilmesi için ergime noktasının altında sinterleme işlemi uygulanır [16].

### 2.2.1. Karıştırma ve harmanlama

Bu işlem boyutları ve ham maddesi farklı olan tozlarda sıkça kullanılır. Sinterleme işleminde yeni alaşım elementinin elde edilmesinde, homojen yapıların oluşturulmasında ve özel boyutlu taneciklerin dağılmasında kullanılır [14].

Karışım, nihai ürünün ağırlığına göre yüzde olarak ağırlıkça oluşturulur. Karışıma %0.5-1.5 arası yağlayıcılar ilave edilir. Bunun nedeni tozların hem kalıp yüzeyinde hem de kendi yüzeylerinde kolayca kaymasını sağlamaktır. Öğütme ve karıştırma teknikleri Şekil 2.10'da yer verilmiştir [15].



Şekil 2.10. Farklı öğütme ve karıştırma makinaları: a) dönen tambur, b) dönen çift koni, c) vidalı mikser ve d) bıçaklı mikser

Karıştırma kabının doluluk oranı minimum %30-40 arasında olması uygundur. Bu işlem 20-30 dev/dk hızda ve 20-30 dk süreyle yapılmalıdır. Bu parametreler tozun ve alaşımın yapısına göre artı veya eksi olarak değişmektedir. Uygun bir karışım işlemi yapılmazsa elde edilecek parçanın mekanik özelliklerinde düşme meydana gelir [15].

### 2.2.2. Presleme

Presleme istenilen şeklinin almasını sağlar. Tozun kalıp boşluğunu tamamını doldurup ve teorik yoğunluğun elde edilmesi istenir. Presleme sonrası yoğunluk nihai parçanın mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir [17].

Preslenme sonrası toza ham parça yoğunluğa ise ham yoğunluk, mukavemete ise ham mukavemet denir. Malzemenin yumuşaklığına göre presleme basıncı değişir. Tanecikler arası ve kalıp arasındaki sürtünme presleme basıncını da etkiler. Kalıplarda presleme üç ana aşaması vardır;

- a) Kalıbın hacmine göre tozun eklenmesi
- b) Yük altında tozun sıkıştırılması
- c) Parçanın kalıp dışına çıkarılması

Presleme hidrolik veya mekanik preslerle ve basınç altında yapılmaktadır. Çizelge 4.1’de yer verilmiştir.

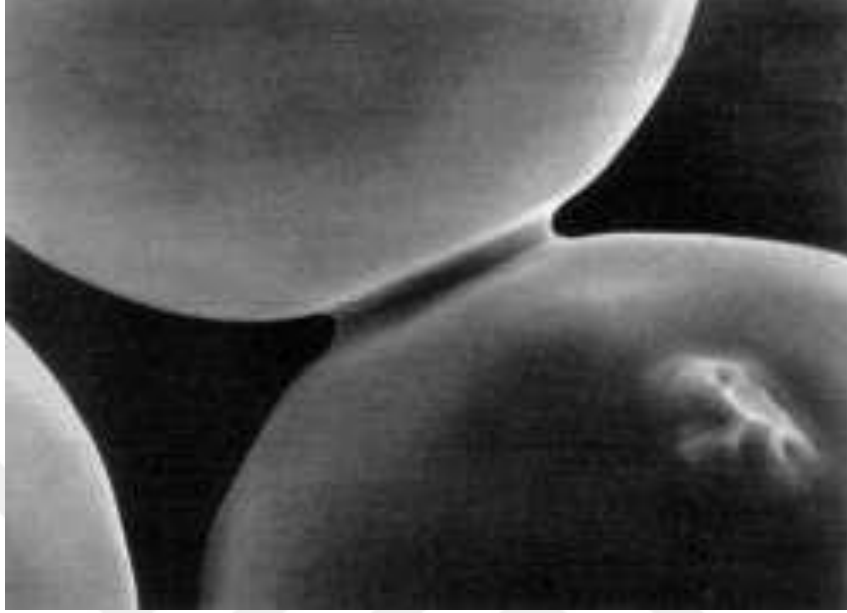
**Çizelge 2.1.** Hidrolik ve mekanik preslerin genel özellikleri [17]

Malzeme	Ortalama Parçacık boyutu( $\mu\text{m}$ )	Sıkıştırma basıncı (Mpa)	Ham yoğunluk (%)
Alümina	0.5	100-140	45-60
Alüminyum	45	150-275	90-95
Pirinç	65	400-700	85-90
Bronz	85	200-300	85-90
Demir	80-120	480-820	85-92
Paslanmaz çelik	65	700-840	85-88
Çelik	80-100	500-820	88-92

### 2.2.3. Sinterleme

Sinterleme temas halinde olan tanelerin atmosfere kapalı yüksek sıcaklık altında tanelerin birbirine bağlanmasını sağlayan ısı işlemidir. Isıl işlem ergime sıcaklığının altında yapılır. Preslenen tozların tane yapılarının tek taneli yapıya yakınlaştırılarak ve gözeneklerin azaltılmasını sağlayarak mukavemet artışı sağlar.

Temas eden tanelerde boyun oluşumu gerçekleşir. Bu oluşum malzemenin mekanik, termal ve iletkenlik özelliklerinin artmasını sağlar. Şekil 4.11’de sinterleme sırasındaki tane yapısı görünmektedir [15].



Şekil 2.11.Sinterleme sırasında boyun oluşumu

Tek materyalden oluşan tozlarda sinterleme sıcaklığı olarak ergime sıcaklığına yakın değer sinterleme sıcaklığıdır. Bir den fazla materyalden oluşan tozlarda sinterleme sıcaklığı tozlardan birinin ergime sıcaklığının alt veya üst değerinde olabilir [17].

Sinterleme işleminde, Sıcaklıkla orantılı olarak tanecikler arası bağ yapısı, hacimsel difüzyon ve yüzeysel veya adhezyon mekanizmaları ile gerçekleşir. İki farklı oluşum gözlemlenir. Bunlar [17];

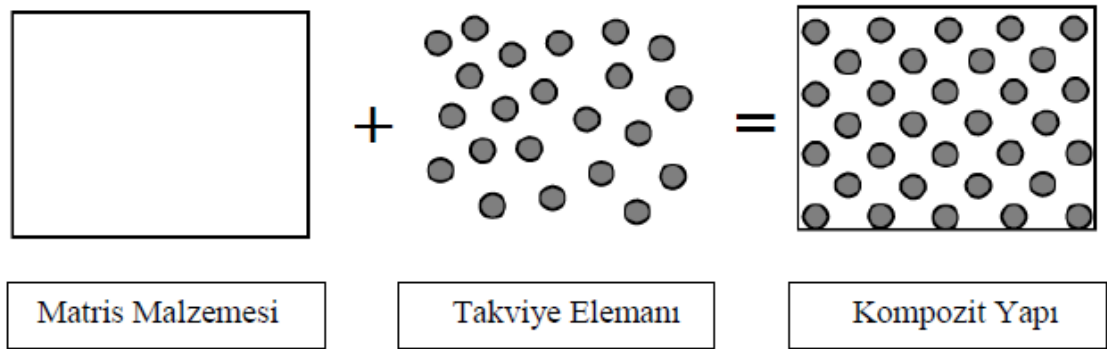
- a) Gözeneklerin azalması ve gözenekli oranın düşmesi
- b) Tanecikler arası temas yüzeyinin artması

Nihai ürünün özelliklerine göre, Sinterlemenin sıcaklık ve işlem süresi belirlenir. Malzemedeki mekanik özelliklerin düşük olması sinterleme ile kaynaklanabilir. Bu parametreler deneysel olarak tespit edilir. Sinterleme sıcaklığı ergime noktasına yakın olmalıdır. Süresi için net bir değer tahin edilemez [17].



### 3. KOMPOZİT MALZEMELER

Metal, seramik ve polimerler ana mühendislik malzemelerin yanında kompozit malzemeler ayrı bir başlık altında incelenir ve bu üç ana mühendislik malzemesinden farklı özellikler sergiler. Kompozit ürünlerin birleşimi iki ve ikiden fazla metal ve metalin veya metal, seramik ve polimer malzemelerin istenilen üstün özellikleri ele alınarak, makro düzeyde birleşmesi ile oluşan yapıya denir [18].



Şekil 3.1. Kompozit malzeme yapısı

İmalat sektöründe kompozit malzemelere talebin olması aşağıdaki istenilen mekanik veya fiziksel özelliklerin karşılanmasının ihtiyacından doğmaktadır. Bunlar şu şekil de sıralanmaktadır.

- Yüksek sıcaklık direnci,
- Malzemenin akma, çekme, basma, darbe, eğilme, burulma gibi mekanik özelliklerinde iyileştirme,
- Isı ve elektrik geçirgenliği,
- Aşınma, yorulma ve korozyon dirençleri,
- Gürültü absorbesi ve akustik özellikleri,
- Malzeme ağırlığı, yapısal görünüm ve rijitlik,

**Çizelge 3.1.**Kompozit malzemelerin kullanım alanları

<b>Kullanım Alanları</b>	<b>Kullanıldığı Parçalar</b>
Otomotiv Endüstrisi	Motor gövdesi, piston kolları, ana gövde ve akü plakaları
Havacılık Sanayi	Uçak, motor kutuları, kanat boşlukları, türbin bıçakları
Uzay	Uzay araçları, gaz türbinleri
Şehircilik	Heykel, banklar, elektrik direkleri, otobüs durakları
Elektrik ve Elektronik Endüstrisi	Motor fırçaları, Pil plakaları
Tıp	Protezler, tekerlekli sandalye
İş Makineleri	Makine kapakları, çalışma kaplinleri
İnşaat Sektörü	Cephe korumaları, soğuk hava depoları
Tarım Sektörü	Tahıl siloları, su boruları, sulama kanalları, seralar
Ev Aletleri	Masa, sandalye, televizyon kabinleri

Bu gibi etmenler geleneksel malzemeler ile karşılanamaz ise kompozit malzemelere yönelinir [19]. Kompozitler yüksek termal, tribolojik, termal ve elektriksel özelliklerinden dolayı endüstriyel alanda birçok yerde kullanılır. Havacılık, uzay, otomotiv, denizcilik, savunma endüstrilerinde kullanılmaktadır. Kompozitlerin dezavantajları ise şu şekildedir;

- a) Kompozitler Tek bir yönden gelen kuvvete karşı yüksek dayanım gösterir, farklı bir yönden gelen kuvvete karşı aşırı zayıf bir dayanım gösterir.
- b) Matris yapısı polimer kompozitlerde ise polimerin genel özelliği nedeniyle, çalışma ortamında yüksek oranda aşındırıcı ve çözücülere maruz olursa matris yapısı özelliğini yitirir.
- c) Üretim esnasındaki hammadde ve sarf malzemelerinin maliyetlerinin yüksek olması.
- d) Genel montaj proseslerine uygun olmaması. Bunlar; Kaynak, perçin, sıkı geçme
- e) İçerisinde yüksek miktarda aşındırıcınının yer alması
- f) Birçok kompozitin tamir edilememesi, Hasar alan yapı yenisi ile değiştirilir [20].

### 3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitlerin çeşitliliği çok olduğunda Matris ve takviye elemanlarına göre alt gruplara ayrılır. Bu şekilde hızlı bir şekilde gerekli ihtiyacı karşılayacak olan kompozit yapısı tespit edilmektedir. Matris yapısına göre kompozitler;

- a) Metal matrisli kompozitler (MMK)
- b) Polimer matrisli kompozitler (PMK)
- c) Seramik matrisli kompozitler (SMK)

Takviye elemanına göre kompozitler;

- a) Tek flament yapılı,
- b) Uzun elyaf yapılı
- c) Parçacık yapılı,
- d) Laminant yapılı,

Olarak sınıflandırılmaktadır.

#### 3.1.1. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozitler, yapısal olarak çok sert, yüksek sıcaklık dayanımı ve gevrek davranış gösterirler. Genel olarak matris yapısında kullanılan seramikler  $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ ,  $B_4C$  malzemeleridir. Plastik şekil alma kabiliyetleri sıfırdır. Gevrek yapılarından dolayı plastik deformasyona uğramadan kırılırlar. Sert yapılarından dolayı aşındırıcı olarak kullanıma müsaitlerdir.  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ' gibi sıcaklıklarda yüksek performans gösterir. Yüksek sıcaklık farkının olduğu çalışma ortamlarında metallere göre düşük direnç gösterirler. Çentik ve darbe dayanımları düşüktür, çentikler hızlı bir şekilde çatlak oluşumuna yönelir [18].

Seramik matrisli kompozitlerin kullanım alanı, yüksek sıcaklık ve aşınma direncinin istendiği yerler ve düşük yoğunluğun gerektiği uygulamalardır. Yüksek sıcaklıklarda yapısal olarak kararlıdır. Kimyasal olarak tepkimeye girmez. Seramik matris yapısına fiber takviye uygulamalarında mukavemet ve tokluk dayanımlarında artış gözlemlenir.

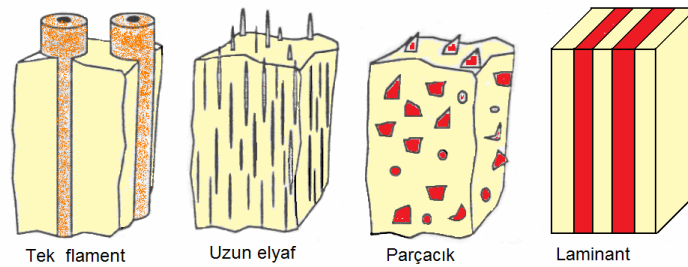
Seramik taneli alüminyum malzemeler motor bloklarından, birlikte çalışan parçalarda tercih edilmektedir. İlerleyen süreçte kullanım yelpazesinin artması beklenmektedir [21].

### 3.1.2. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunluklarından dolayı hafiftirler, polimer yapısından dolayı elektriksel yalıtım özelliğine sahiptir. Elde edilebilirliği kolaydır. Kullanılan plastik matrisleri; Termosetler ve termoplastiklerdir. Termoset plastiklerin kullanımının fazla olmasının sebebi üretim esnasında ve sonrasında ısıtılıp tekrar şekil almasıdır. Termoplastik malzemelerde ise ısıtma işlemi neticesinde fiziksel yapı değişir ama kimyasal kararlılığını korur. Takviyeli polimer matrisli kompozitlerin kullanım alanı Uçak ve helikopter rotorları, su tankları vb. [21].

### 3.1.3. Takviye elemanının şekline göre kompozitler

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini kazanmasında takviye elemanlarının yapısı önem arz etmektedir. Matris ile takviye elemanının uyumu ile spesifik özellikleri elde etmek mümkündür. Takviye elemanları yapısına göre dörde ayrılır. Şekil 3.2’de yer almaktadır.



Şekil 3.2. Takviye elemanını şekline göre kompozit çeşitleri [19]

Matris ile takviye elemanının uyumu kompozit yapının tüm tribolojik özelliklerinde etkisi çok yüksektir. Kompozit yapılarda yükün takviye yapısına iletilmesinde matris ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının ve termodinamik dengenin kurulması gerekir. Ara yüzey bağı ise malzemelerin uyumuna bağlıdır. Takviye elemanı matris içerisine homojen olarak dağıtılmalıdır [19].

### 3.2. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitlerde (MMK), matris yapısını meta veya alaşımlarının oluşturduğu, takviye olarak da refrakter veya seramik malzemelerin yer aldığı kompozittir. Metal matrisli kompozitlerin avantajları şu şekilde sıralanır;

- Yüksek dayanım,
- Düşük ağırlık,
- Güçlendirilmiş mekanik ve ısı özellikler
- Kolay şekillendirilebilmesi,
- Dayanım ve ağırlık oranının yüksek olması.
- Sürünme ve aşınma direncinin yüksek olması,
- Basma, çekme, eğme ve burulma dayanımlarının yüksek olması,
- Seramik malzemelerin yüksek basma ve aşınma direnci ile metal malzemelerin süneklik ve tokluklarının birleştirilmesi.
- Yüksek ısı elektrik ve korozyon direnci,
- Radyoaktif dayanıklılık.

Gibi etmenler sıralanabilir [18]. Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanları Çizelge 3.2.'de yer almaktadır.

**Çizelge 3.2.** Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanları

Takviye Elemanı	Matris	Uygulama Alanı
Grafit	Alüminyum Magnezyum Kurşun Bakır	Uydu Parçaları, güdümlü mermiler Akümülatör parçaları Elektrik kontaktörleri, yatak malzemeleri
Bor	Alüminyum Magnezyum Titanyum	Kompresör kanatları Anten yapıları Jet motoru fan kanatları
Alümina	Alüminyum Magnezyum Kurşun	Füzyon güç reaktörleri süper iletken durdurucu Akümülatör Helikopter parçaları
SiC	Alüminyum Titanyum Kobalt esaslı süper alaşımlar	Yüksek sıcaklık motor parçaları
Molibden, Tungsten	Süper Alaşım	Yüksek sıcaklıkta çalışan motor parçaları

### 3.2.1. MMK kullanılan matris malzemeleri

Metal matrisli kompozitlerde, matris yapı kompozitin özelliklerini belirlemede önemli rol oynar. Takviye yapısını dış etmenlere karşı korur. Alüminyum, titanyum, magnezyum, bakır, nikel ve bunların alaşımları matris olarak kullanılır. Ağırlığın hafif olması gereken durumlarda Alüminyum matrisli ve SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve grafen takviyeli metal matrisli kompozitler tercih edilir.

**Çizelge 3.3.** Kompozit türleri ve uygulama alanları [18]

Kompozit Türü	Uygulama Alanı
Alüminyum-Grafit	Yataklar Otomobil pistonları
Alüminyum-SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Silindir gömlekleri
Alüminyum-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Biyel kolları
Bakır-Grafit	Kaymalı elektriksel kontaklar
Alüminyum-SiC	Turboşarj pervaneleri
Magnezyum-Karbon fiber	Uzay yapıları için kompozitler
Alüminyum-Zirkon	Kesici takımlar, pervaneler
Alüminyum-Kömür	Düşük maliyetli malzemeler

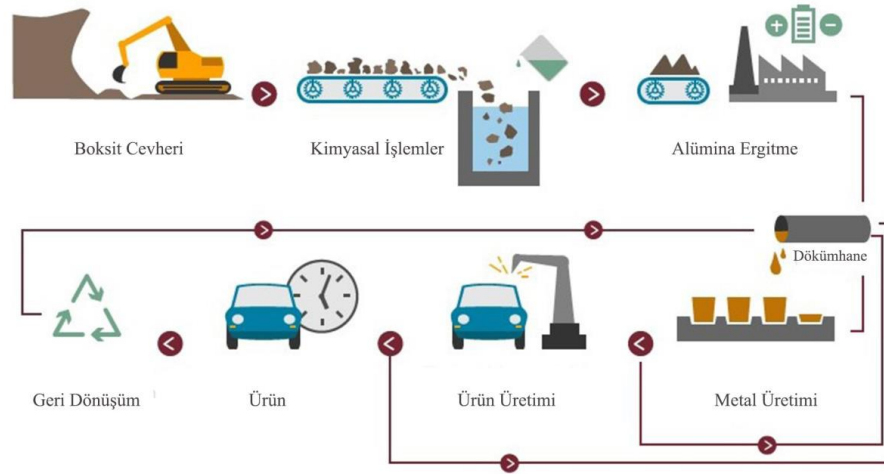
Alüminyum ve alaşımları, alüminyum doğada saf halde bulunmaz. Bileşik halinde cevher olarak çıkartılır. Dünyada element olarak %8 olarak bulunmaktadır. Dünya geneli en çok bulunan üçüncü elementtir. 1808 yılında İngilizler tarafından keşfedildi. 1886 yılında ticari anlamda kullanıma başlandı [22]. Çizelge 3.4'de saf alüminyum özelliklerine yer verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Saf alüminyum özellikleri

Özellik	Fiziksel Sabitler
Kristal Yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yoğunluk	2,78 g/cm <sup>3</sup>
Isıl İletkenlik	237 W/m.K
Ergime Sıcaklığı	660 °C
Çekme Mukavemeti	39-85 MPa
Akma Mukavemeti	10-30 MPa
Sertlik	12-20 HB
Elastisite Modülü	70 GPA
Kopma Uzaması	% 30-40

Alüminyum üretimi. Saf olarak alüminyum boksit olarak madenlerden toplanır. Kahverengi boksitten alüminalar elde edilir, ardından elektroliz yöntemi ile saf alüminyum elde edilir. Şekil 3.3 alüminyum üretimi Alüminyumun üretimi iki şekilde

olmaktadır boksit cevherinin işlenmesi ile elde edilen saf alüminyum ve geri dönüşümden elde edilen alüminyumdur.



Şekil 3.3.Alüminyum üretim aşamaları [23]

### 3.2.2. MMK kullanılan takviye malzemeleri

MMK takviye malzemesi dış etmeden gelen kuvvetlere karşı matris ve genel yapının rijitliğini korur. Kompozit yapılarda istenilen dayanımın elde edilmesi için hem fiziksel hem de kimyasal bir uyumun olması gerekmektedir. Fiziksel olarak uyum iki yapının süneklik ve genleşme faktörleri ile ilgilidir. Kimyasal uyum ise yapıların ara yüzey bağları ile ilgilidir. Takviye elemanının seçiminde;

- Üretim yöntemi,
- Elde edilebilirliği
- Yoğunluk
- Tane boyutu
- Ergime sıcaklığı
- Aşınma dayanımı,

Gibi etmenler kompozitin fiziksel ve kimyasal ve tribolojik özelliklerini önemli ölçüde tesir etmektedir [24]. Takviye elemanları dört ana gruba ayrılır.

- Oksitler;
- Karbürler,
- Nitrürler,
- Elementler

Mekanik özellikler de artış sağlama için genel olarak karbür takviye elemanları kullanır. Kullanılan takviye malzemelerin özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir [25].

**Çizelge 3.5.**Saf alüminyum özellikleri

Partikül Takviye Malzemeleri	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Mukavemet (Mpa)	Elastik Modülü (GPa)
SiC	3,22	3100	324
B <sub>4</sub> C	2,52	2579	448
TiC	4,93	55	269
ZrC	6,73	90	359
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,98	221	379
MgO	3,58	4100	417
ZrO <sub>2</sub>	5,89	83	132
CeO <sub>2</sub>	6,9	600	200
ThO <sub>2</sub>	9,86	193	200
AlN	3,26	2069	310
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3,18	4100	250

### 3.2.2.1. SiC takviye elemanının özellikleri

Silisyum metal matrisli kompozitlerde kullanılan parçacıklı seramik takviye elemanıdır. Yer kabuğunda en çok yer alan yapıdır. %25,7'sini oluşturur. Renk olarak koyu gridir ve normal koşullarda katı fazında bulundur. SiC fırınlarda silisyum oksit yapısının kok kömürü ile indirgenerek SiC kristal yapısı elde edilir.

Bu yapı çok güçlü iyonik bağı bulunur. Karbon yapısı tetrahedrdır. Çok sert ve güçlü mekaniksel yapıya sahiptir. 800°C'ye kadar yapısını kararlı olarak korur ve tepkime eğilimi gerçekleştirmez. 1200 °C'de ise silisyum oksit tabakası ile kendini korumaya alır ve 1600 °C'ye kadar yüksek performans sergiler Çizelge3.6'da silisyum karbür malzeme özellikleri verilmiştir. SiC genel yapısı şu şekilde sıralanır.

- Düşük yoğunluk
- Düşük termal genleşme
- Yüksek ısı iletkenlik



- Yüksek sertlik
- Yüksek elastisite modülü
- Aşırı yüksek termal şok direnci

Bu şekilde sıralanmaktadır [26].

**Çizelge 3.6.**Saf alüminyum özellikleri [27]

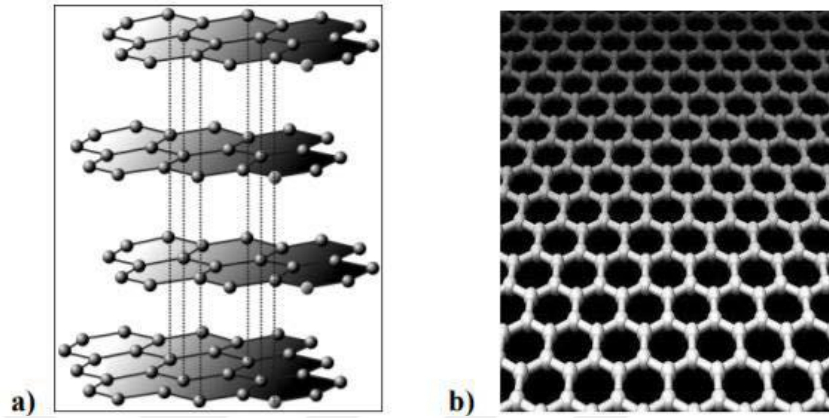
<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	3,1
Renk	Siyah
Sertlik (HV)	2800
Elastik Modülü (GPa)	410
Basma Mukavemeti (MPa)	3900
Eğme Mukavemeti (GPa)	550
Poisson Oranı	0,14
Kırılma Tokluğu (MPa*m <sup>1/2</sup> )	4,6
<b>Termal Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
Termal İletkenlik (W/mK)	120
Termal Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> /°C)	4.0
Özgül Isı (J/kg.°K)	750
<b>Elektriksel Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
Direnç (Ω)	10 <sup>2</sup> -10 <sup>6</sup>

Silisyum karbür yüksek kalite seramik sınıfına girmektedir. Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Elektrik iletkenliği sayesinde elektronik bileşenlerde de kullanılmaktadır. Malzemenin kullanım alanları şu şekildedir;

- Sabit ve hareketli türbin bileşenleri (elektrik santralleri vb.)
- Emiş kutusu kapakları,
- Küresel vana parçaları
- Isı değiştiriciler,
- Refrakterler,
- Rulmanlar,
- Sıcak gaz akış gömlekleri
- Aşındırıcılar,
- Yarı iletken ekipmanlar (İşlemciler) [27]

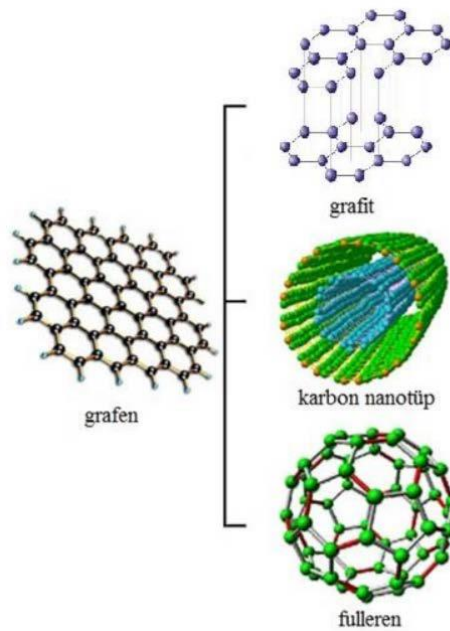
### 3.2.2.2. Grafen ve Yapısı

Grafitin ve elmas karbonunun yer yüzündeki allotroplarıdır. İki boyuttaki düzenli yapıdaki grafitin tek tabakası grafeni oluşturmaktadır. Şekil3.4’de yapılar arasındaki fark gösterilmektedir.



Şekil 3.4.a) Grafit ve b) Grafen yapıları

İngiltere’de yapılan çalışmalar neticesinde 2004 yılında grafen bir malzeme olarak keşfedilmiştir. İki boyutlu grafen ile elde edilen yapılar fulleren, nanotüp ve grafit yapıları elde edilir. Şekil3.5’de yer verilmiştir [28].



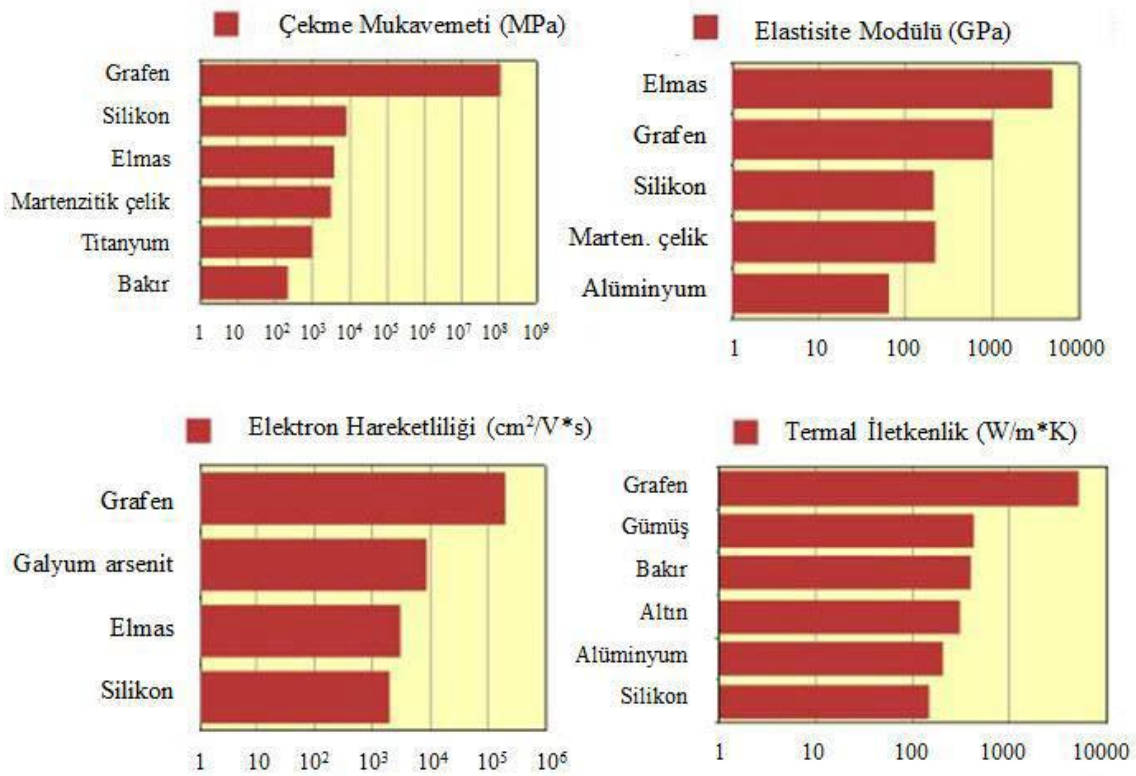
Şekil 3.5. Grafen ve grafen temelli fulleren, nanotüp ve grafit yapıları[123x]

Diğer karbon allotroplarının bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.7'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.7.Saf alüminyum özellikleri

Karbon Allotropları	Grafit	Elmas	Fulleren (C50)	Karbon nanatüp	Grafen
<b>Hibrit Şekli</b>	sp <sup>2</sup>	sp <sup>3</sup>	Çoğunlukla sp <sup>2</sup>	Çoğunlukla sp <sup>2</sup>	sp <sup>2</sup>
<b>Kristal Sistemi</b>	Hekzagonal	Oktahedral	Tetragonal	İkosaedral	Hekzagonal
<b>Boyut</b>	Üç	Üç	Sıfır	Bir	İki
<b>Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>)</b>	10-20	20-160	80-90	-1300	-1500
<b>Yoğunluk (gcm<sup>-3</sup>)</b>	2,09-2,23	3,5-3,53	1,72	>1	>1
<b>Termal İletkenlik (Wm<sup>-1</sup>K<sup>-2</sup>)</b>	1500-2000,5-10	900-2320	0,4	3500	4840-5300
<b>Sertlik</b>	Yüksek	Ultra yüksek	Yüksek	Yüksek	En yüksek
<b>Elektronik Özellikler</b>	Elektriksel iletken	Yalıtkan, yarı iletken	Yalıtkan	Metlik ve yarı-iletken	Yarı-metal
<b>Elektriksel İletkenlik (Scm<sup>-1</sup>)</b>	Anisotropik	-	10 <sup>-10</sup>	Yapıya bağlı	2000
<b>Esneklik</b>	Elastik olmayan esnek	-	Elastik	Elastik esnek	Elastik esnek
<b>Optiksel Özellikleri</b>	Tek eksenli	İzotropik	Doğrusal olmayan optik cevap	Yapıya bağlı özellikler	%97,7 optiksel geçirgenlik

Grafen olağan üstü yapısından dolayı eşsiz özelliklere sahiptir. Şekil 3.6'da diğer materyallere göre karşılaştırılması verilmiştir. Elektriksel iletkenliği, dijital alanda kullanılan silisyumdan 100 kat daha fazladır. İnce yapısına rağmen yapısındaki karbon atomlarının bağı ile çelikten 100 kat fazla elastisite modülüne sahiptir. Kolay şekillenebilir ve kaplama işlemine uygundur. Elektriksel ve ısıl iletkenliği yüksek, Yağlayıcı özelliği sayesinde aşınma dayanımı yüksektir. Bu özelliklerinden ötürü grafenini kullanım alanı geniş bir yelpazeye sahiptir. Otomotiv, havacılık, biyokimya tıp ve ileri teknoloji ürünlerinde kullanılmaktadır [29].



Şekil 3.6. Grafenin çeşitli özelliklerinin bilinen diğer malzemelerle karşılaştırılması

Grafen bu tribolojik özelliklerinden dolayı kompozit üretimde yüksek öneme sahip bir takviye elemanı olmuştur. Oransal olarak takviye elemanları arasında az miktarda kullanılır, bu oran arttığı zaman topaklanma ve homojen olmayan bir yapı oluşur buda mekanik ve fiziksel özellikleri aşırı derecede olumsuz etkiler [29].

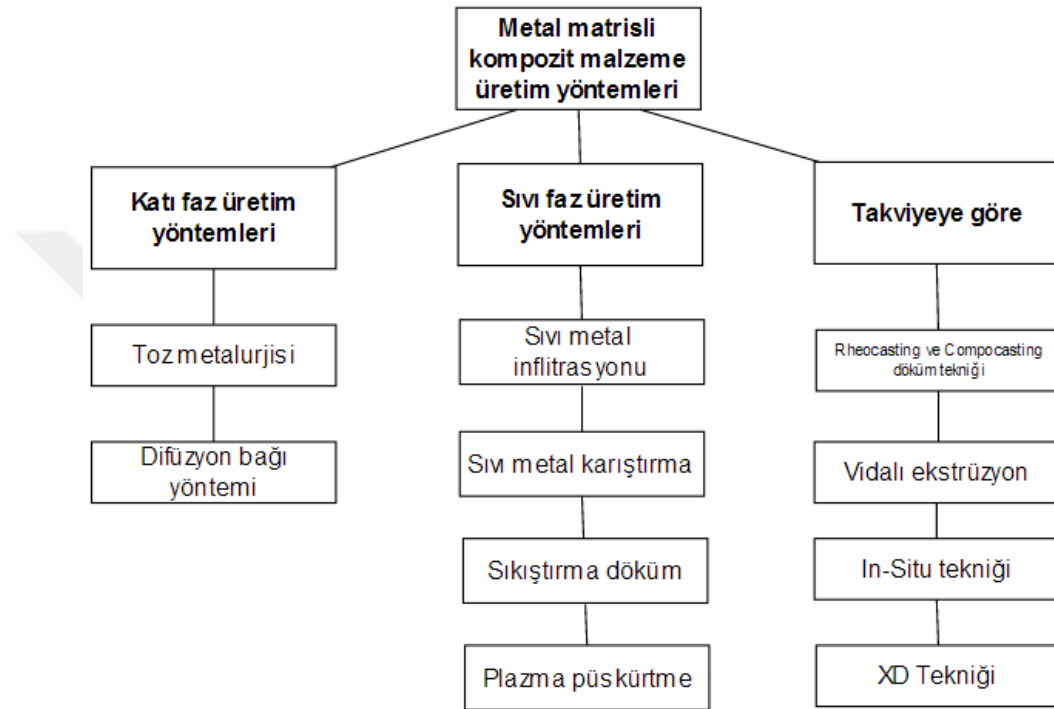
### 3.2.3. MMK üretim yöntemleri

Son dönemde malzemelerden istenilen mekanik özelliklerin artması neticesinde kompozitlere yönelim artmıştır. Ancak bu kompozitlerin üretim yönteminin belirlenmesi önemli bir etmendir. Üretilen malzemenin fiziksel, mekanik matris ve takviye malzemesi üretim çeşidinin belirlenmesinde önemli rol alır. Üretim çeşidinin belirlenmesi şekilde sıralanır;

- Çalışma sıcaklığı,
- Matris ve takviye yapısının şekli ve boyutu, ara yüz oluşumu sırasındaki tepkimeler,
- Takviye yapısının homojen olarak dağılması,

- Nihai ürünün boyut, mekanik ve fiziksel özellikleri,
- Üretim maliyeti,
- Sürdürülebilirliği [30]

Metal matrisli kompozit üretimde kullanılan üretim yöntemleri Şekil3.7’de yer verilmiştir.



Şekil 3.7.Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri [31]

#### 4. AŞINMA

Aşınma, ana malzemenin bir başka materyal ile (sıvı gaz veya katı) mekanik etkileşimi neticesinde, ana materyalin yüzeyin parçacıkların kopması ile, yüzey pürüzlülüğünün artması ile neticelenir [32].

Aşınma olması durumunda parçaların yüzeylerinde bozulma meydana gelir. Özellikle birlikte çalışan makine parçalarında ve yataklama elemanlarında ciddi sorunlara yol açabilir. Parçaların aşınma dayanımları makinelerin çalışma ömürlerinde büyük etmene sahiptir [33].

Aşınmanın gerçekleşmesi birçok etmene bağlıdır. Aşınmanın olması için aşınan, aşındıran, yük, sıcaklık, hareket ve ara malzememe gibi iki veya daha fazla sistemin birlikte çalışması gerekir [32].

Aşınmadaki yer alan mekanizmaların çalışması şu şekildedir.

- Sürtünme hareketinin yani yüzey teması halinde hareketin olması,
- Hareketinin aynı periyotta devam edip, Düzenli olması,
- Parça yüzeylerinde bozulmanın olması,
- Ön görülmeyen şekilde gerçekleşmesi [34],

Aşınmayı etkileyen etmenler şu şekildedir; Malzemenin mikro ve kristal yapısı, cinsi ve kimyasal bileşimi, sertliği, ısıl işlem görmesi, dış ortamın etmenleri ise; hız, yük, sıcaklık, asit ve buhar etkilemektedir. Aşınma iki başlıkta incelenir ani aşınma ve zamanla oluşan aşınma. Şekil 4.1'de zamanla aşınmanın grafiği verilmiştir. Birinci kısımda parçalar ilk kez birbiri ile çalışmaya başladığı kısımdır. Birbiri ile çalışan parçalarını dış yüzeyi ince bir yağ filmi oluşturularak aşınmanın etkisi azalır. İkinci kısım ise artık parçalar birbiri üzerinde rahat bir şekilde hareket eder sadece düzenli olarak yağlanması gerekmektedir. Üçüncü kısımda ise parçaların yüzey pürüzlülüğü artar. Yağ filmi işveni göremez ve parça üzerinde ciddi kalıcı hasarlara yol açar [34].



Şekil 4.1.Aşınma safhaları [4x]

Parçaların aşınma dayanımları, Şekil 4.1'deki grafiğe göre tespit edilir. Aşınma direnci parçanın şekil ve ağırlık azalmasına ait bir büyüklüktür. Aşınma miktarı, malzemenin ağırlık, hacim ve aşınma yüzeyindeki yükseklik kaybı olarak tanımlanır [34].

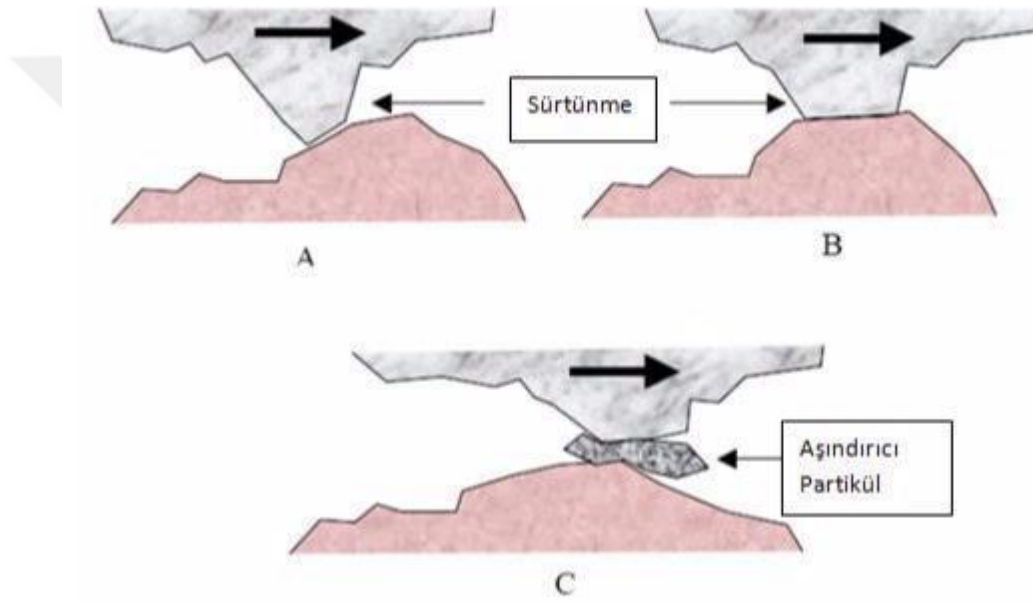
#### 4.1. Aşınma Çeşitleri

Aşınma mekanizmaları aşınma sisteminin kimyasal, fiziksel, sürekliliği ve tribolojik sisteme göre ayrılır.

- Adhesif aşınma,
- Abrasif aşınma,
- Yorulma aşınma,
- Eroziv aşınma,
- Öğütmeli aşınma,
- Oymalı aşınma,
- Kazımalı aşınma,
- Koroziv aşınma,
- Termal aşınma,

#### 4.1.1. Adhesif aşınma

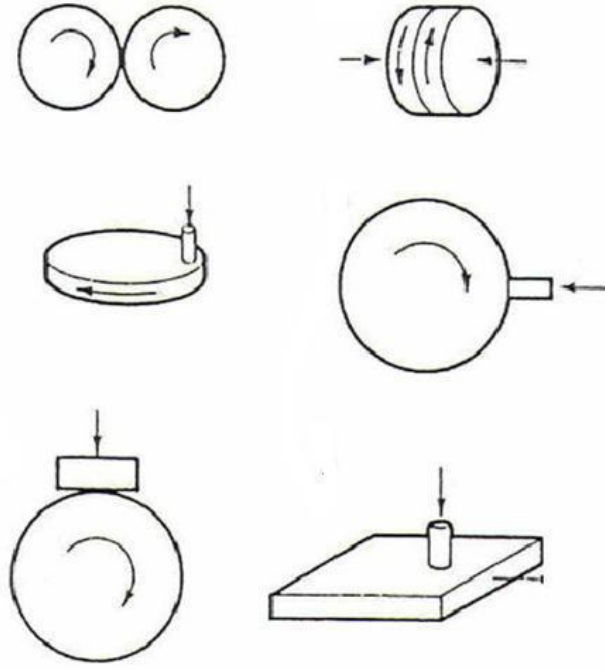
Birbiri ile yüzey teması olan iki malzemenin, dış etmen olarak basın ve sıcaklık faktörlerinin yüksek miktarda etkilemesi neticesinde, yüzeyler üzerinde noktasal soğuk kaynaklar meydana gelir. Hareketin zamana bağlı olarak devam etmesi neticesinde oluşan kaynaklar yüzeyden kopmaya başlar ve yüzeyde bozulmalar meydana gelir. Gerçekleşen aşınma mekanizmasına Adhesif Aşınma olarak tanımlanır. Adhesif aşınma mekanizması Şekil4.2’de yer almaktadır.



Şekil 4.2. Adhesif aşınma oluşumu [34]

Adhesif aşınma mekanizmasının sıkça kullanılan disk geometrik sistemi Şekil4.3’de verilmiştir.





Şekil 4.3. Adhesif aşınmada kullanılan geometriler [34]

#### 4.1.2. Abrasif aşınma

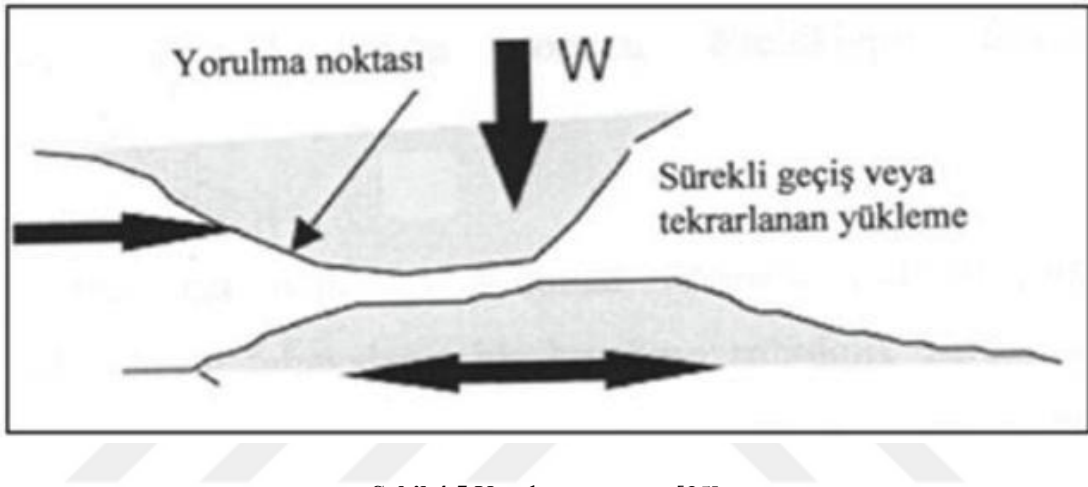
Aşınma işlemi yapılacak parça çiftlerine sertlik olarak kendi sertlik değerlerinden yüksek olan parçaların teması ile malzemelerin yüzeysel olarak aşınma sistemidir. Sertlik değeri yüksek olan parçacıklar birbiri ile çalışan yüzeylere dış etmen olarak girebilir veya soğuk kaynak ile oluşup kendi içerisinde aşındırıcı madde oluşabilir. İki adet yüzey teması ve bu yüzeylere temas eden sert bir parçacık ile aşınma mekanizması oluşmaktadır. Abrasif aşınma sistemi Şekil 4.4’de verilmiştir [32].



Şekil 4.4. Abrasif aşınma mekanizmaları; a) iki elemanlı ve b) üç elemanlı aşınma [35]

### 4.1.3. Yorulma aşınması

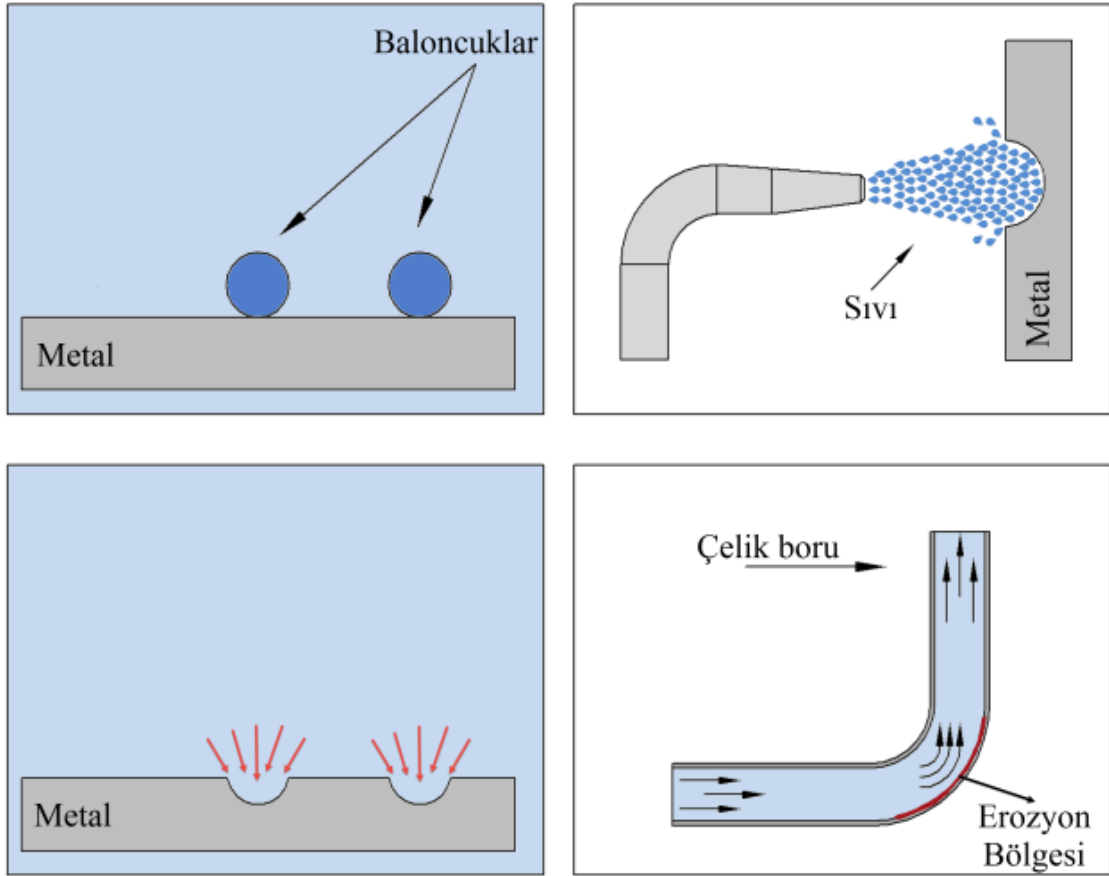
Malzemelerde yorulma mekanizması, zamana bağlı olarak tekrar eden yükleme altında meydana gelmektedir. Tekrarlı titreşim ve yük altında yüzeyde mikro çatlaklar ile aşınma mekanizması oluşur. Parça yüzeyinde parçalanma ve yırtılma oluşur ve zamanla plastik deformasyon meydana gelir. Bu aşınma sistemi Dişli çarklar, rulmanlı yataklama ve kam sistemleri gibi yuvarlanma mekanizmalarının yüzey çiftlerinde oluşur. Şekil 4.5’de yorulma aşınması yer almaktadır. [36].



Şekil 4.5. Yorulma aşınması [35]

### 4.1.4. Eroziyon aşınması

Katı yüzeyin sıvı ve gaz tanecikleri ile temas edip yüzeye açılı bir şekilde çarpması sonucunda parça yüzeyinde bozulmalara neden olur. Bu sisteme eroziyon aşınması denir. En çok boru hatlarında kesit ve akış yönünün değiştiği bölgelerde karşılaşırlar. Şekil 4.6’da eroziyon aşınma mekanizması yer almaktadır [35].



Şekil 4.6. Eroziyon aşınma çeşitleri [32]

#### 4.1.5. Öğütmeli aşınma

Bu mekanizma düşük hız ve yüksek basınç altındaki parçaların yüzey ile teması sonucu gerçekleşir. Bu mekanizma iş makineleri ve ağır yük araçlarında sıkça görülmektedir [32].

#### 4.1.6. Oymalı aşınma

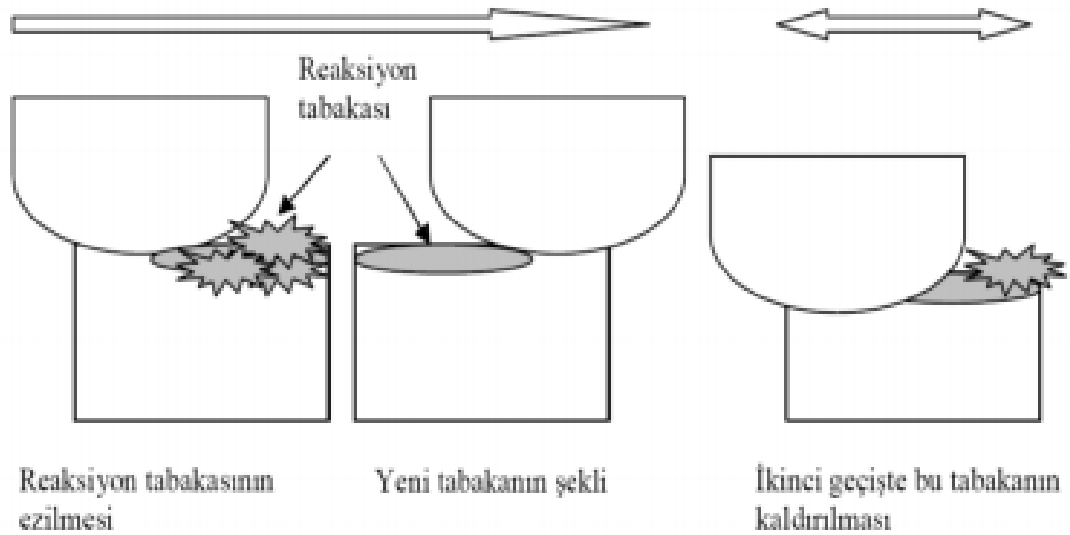
Parça yüzeylerinin aşırı yüksek hızlarda çarpışması ve teması esnasından gerçekleşir. Yüzey üzerinde oyma gerçekleşir. Delme proseslerinin yapıldığı işlemlerde sıkça görülür. Aşındırıcı yüzeyde hızla hasar oluşur [32].

#### 4.1.7. Kazımalı aşınma

İki yüzeyin dik bir şekilde yüksek kuvvet altında bastırılması ve düşük genlik altındaki titreşim mekanizması ile meydana gelir. Adhesif aşınma gibi yüzeyden parça kopar ve aşınmaya etki eder. Bu aşınma sıkı geçme, kama ve cıvata bağlantılarında görülür [34].

#### 4.1.8. Koroziif aşınma

Temas eden yüzey formlarının farklılığı neticesinde hareket eden parçalarda meydana gelen aşınmaya denir. Bu mekanizmanın oluşması için korozyon ve sürtünme hareketi olmalıdır. Şekil4.7’de koroziif aşınma mekanizması yer almaktadır.



Şekil 4.7.Koroziif Aşınma [37]

Koroziif aşınmayı önlemek için malzemeye bazı işlemler uygulanabilir;

- Malzeme seçiminin uygun yapılması,
- Sertlik ve korozyon dirençleri iyi olan kaplama tercih etmek,
- Çalışma sisteminin atmosfer ile temasını kesmek,
- Oksit önleyici kullanımı [37]

## 4.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Yapılan çalışmalar neticesinde üç farklı başlık altında incelenmektedir. Bunlar; Aşınan malzeme, aşındırıcı ve çalışma ortamıdır. Aşınan malzemede aşınma özelliğini etkileyen faktörler; mikro yapı özellikleri, mekanik özellikleri, kimyasal yapısı, imalat yöntemi, yüzey kalitesi ve ısıl işlem durumu etkilemektedir. Aşındırıcı malzemenin özelliği ise; Tane yapısı ve sertliği etki etmektedir. Çalışma ortamında; Sıcaklık, nem, asit gibi etmenler aşınmaya tesir eden unsurlardır [37].

## 4.3. Aşınmaya Ölçüm Yöntemleri

Aşınma ölçümü dört farklı yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

- Ağırlık Farkı
- Kalınlık ölçme
- İz değişimini ölçümü
- Radyoizotoplarla ölçme [32]

## 5. LİTERATÜR TARAMASI

Bu tez çalışmasının amacı, literatür çalışması ve deneysel çalışması aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Alüminyum ve alaşımları endüstriyel alanda birçok yerde üstün mekanik özelliklerinden dolayı çok fazla kullanılan metallere aittir. [57] Kullanım alanlarında yüksek mukavemeti ve hafif yapılarından dolayı tercih edilen alüminyum ve alaşımlarının, sertlik ve aşınma dayanımları spesifik yerlerde yetersiz olmaktadır. Sertlik ve aşınma dayanımlarını arttırmak için hibrit yapılar elde edilir [58].

Uygulamalarda sertlik ve aşınma dayanımlarını arttırmada birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Sertlik dayanımlarını arttırmak için genellikle seramik materyaller tercih edilir. Son yıllarda alüminyum matris takviyesine SiC eklenmesi sıkça kullanılan yöntemdir. Aşınma dayanımında iyileştirme yapmak içinde katı ve sıvı yağlayıcılar kullanılmaktadır. Sıvı yağlayıcılar yüksek hız, yük ve sıcaklık altında istenilen performansı sergilememektedir [59]. Bunun neticesinde katı yağlayıcılar tercih edilir. Paslanma ve malzeme ömrü gibi etmenler neticesinde karbon esaslı katı yağlayıcılar sıkça kullanılmaktadır [60].

Dilkush Shaik ve ark (2021) yaptıkları çalışmada alüminyum ve alaşımları otomotiv ve uçak endüstrisinde en sık kullanılan malzemelerden biridir. Ancak tribolojik olarak kimi etmenlerin uygulamada kısıtlamalar yaptığını tespit etmişler. Bu nedenle alüminyum alaşımlarına seramik tozu ekleyerek parçaların ömürlerini uzatmayı hedeflemişler. Mevcut çalışmaların bor, silikon ve tungsten karbür tozları ile AA6061 alaşımı ile karıştırılmıştır. Üretilen metal matrisli kompozitler ana metal yapısına göre daha iyi aşınma direnci sergilemiş. Takviye olarak B<sub>4</sub>C içeren MMK sırasıyla WC ve SiC takviyeli MMK daha iyi aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiş. SEM analizinde AA6061 alüminyum alaşımının aşınma adhesiv aşınma mekanizmasını tespit etmişler. Bu nedenle diğer WC ve SiC takviye malzemeleri ile karşılaştırma sonucunda AA6061 alüminyum alaşımının yüzey aşınma direnci için B<sub>4</sub>C kullanılmasını öneriyorlar [38].

Mandeep Singh ve ark (2021) nano takviyenin alüminyum matrisi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Nano takviyenin dağılım, arayüzey ve yapısal bütünlüğü

incelemiştir. Alüminyum matrisli nanokompozitlere takviye elemanın artması ile ne gibi özellik artışlarının olduğunu incelemişler. Yapılan nano takviyelerin genel olarak metal matrisin yapısal olarak dayanımının arttığı tespit edilmiştir [39].

Hailong Liao ve ark (2021)  $Cr_3C_2$  seramik parçacıkları ve eser miktarda Ni-Cr elementleri ile güçlendirilmiş, homojen yapılu metal matrisli alüminyum matrisli kompozitler elde etmişler. Faz yapıları, mikro yapı, mekanik özellikleri ve güçlendirme mekanizmalarını araştırmışlar. Sonuç olarak  $Al_{13}Cr_2$ ,  $Al_{11}Cr_2$  ve  $Al_3Ni$  vb. gibi metallerin Ni ve Cr elementleri eklenmesi ile dayanım artışı gözlemlenmiştir.  $Cr_3C_2$  seramik takviyesinin matris yapıda yük iletimini güçlendirdiğini gözlemlenmiştir. Güçlü ara yüzey bağı oluşumu tespit edilmiştir. Mikro sertliğinin %32 ve basınç dayanımının %22 arttığını tespit etmişler. Seramiklerin genel özelliklerinden dolayı çekme dayanımı %26 azalmış olduğunu gözlemlenmiştir [40].

Pranav Dev Srivivas ve ark (2018) alüminyum matrisli kompozitler özel uygulamalar için standart alüminyum alaşımlarına göre üstün özellikler sergilediği tespit edilmiştir. Alüminyum matrisli kompozitler akma mukavemeti, ağırlığına oranla mukavemet dayanımı, yüksek termal iletkenlik, düşük termal genleşme katsayısı üstün aşınma ve korozyon direnci sağladığını tespit etmişler. Bu nedenle yapısal uygulamalarda öne çıkmaktadır. SiC seramik takviyeli alüminyum kompozitlerin daha iyi mekanik özellik sergilediği tespit edilmiştir [41].

Pranav Dev Srivivas ve ark (2020) Hibrit alüminyum kompozitlerin tribolojik davranışları incelenmiştir. Yağlayıcı olarak grafen eklenmiş ve tribolojik yapılarını test etmişler. Ağırlıkça Nano grafen takviyelerini (%0,5, 1, 2, 3, 4, 5,) Ağırlıkça %6 SiC matris yapıya eklenmiş. Sürtünme deneyleri sabit hız ile (90m- 450m) mesafede ve 40N ve 80N değerlerinde test edilmiştir. Numunelerin düşük sürtünme ve aşınma gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun nedenini ise Nano grafenlerin yüksek miktardaki yağlayıcı etkisi ve ara yüzey ve kayma yüzeyi arasında oluşan koruyucu 2D nano parçacıkların ve zayıf vande duvar kuvveti sebebiyle kolay bir şekilde kaydığını ve metal matrisli kompozitin sürtünme ve aşınma direncinin büyük ölçüde azaldığı tespit edilmiştir [42].

Amith Kumar Gajakosh ve ark (2020) bu makalede Alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik, tribolojik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Takviye elemanı

olarak SiC ve grafen partikülleri kullanılmış. %0 ve %0,15 aralığında grafen ve %0,05 artış ile ağırlıkça %15'e kadar SiC kompozit yapıları elde edilmiştir. SEM ve XRD görüntüleme ile partikül dağılımları incelenmiş. Grafen miktarı ağırlıkça arttıkça darbe, sertlik ve çekme özelliklerinde önemli bir artış olduğu tespit edilmiştir. Aşınma direnci grafen takviyesi ile artmış olduğu gözlemlenmiştir [43].

Praveen Kumar M.V ve ark (2020) alüminyum tozuna seramik takviye edilmesi yüksek mukavemet/ ağırlık oranı iyi korozyon ve aşınma direnci, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik özellikleri ile birçok sektörde kullanıldığı tespit edilmiş. Al, SiC ve grafen tozlarının karıştırılması tribolojik olarak mükemmel mühendislik malzemeleri oluşumuna katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bu araştırmadaki toz takviye kompozitleri, geleneksel toz metalürjisi yöntemleri ile işlenmiştir. Disk aşınma mekanizması sistemi kullanılmış. AL5052 ve AL7075 matrislerine ağırlıkça %18 SiC takviyesi ve %1 grafen takviyesi uygulanmış. Elde edilen sonuçlarda aşınma ve sertlik değerlerinde yüksek oranda artış tespit edilmiş [44].

P.P. Ikubanni ve ark (2021) yapılan çalışmada AA6063 matrisine takviye olarak SiC ve kül takviyesi ile hibrit alüminyum matrisli metal kompozitin tribolojik özellikleri incelenmiş. SiC ve kül takviyesi farklı oranlarda ağırlıkça %0, 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak numuneler hazırlanmış. Elde edilen sonuçlarda kül artışı ile yoğunluğun azaldığını ve SiC artışı ile yoğunluğun arttığı gözlemlenmiş. Kayma hızı ve yük artışı ile, tüm numunelerin kütle kaybı ve aşınma indekslerinin arttığı tespit edilmiş [45].

P. Paulraj ve ark (2020) AA2024-SiC- BN hibrit nano kompozitlerin kuru kayma ile tribolojik özellikleri tespit edilmiş. Disk aşınma yöntemi ile yüksek sıcaklık ortamında test ortamı hazırlanmış. AA2024 Ağırlıkça %1,5 SiC, %2 BN ve AA2024 %2 SiC, %1,5 BN hibrit nano kompozitlerine 10, 20 ve 30 Newton'duk bir yük 100°C hafif şiddetli aşınma göstermiş. 30N yükleme ve 30°C sıcaklıkta şiddetli aşınma sergilemişler. Aynı yükleme durumlarında sıcaklık değerlerinin artırılması ile aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiş. Bunun nedeni ise sıcaklık artışı ile ince yağlayıcı bir film tabakasının oluşması ile direncin arttığı tespit edilmiştir [46].

J. Zhang ve ark (2020) Seramik nanoparçacıkların dağılımı, parçacıklarla güçlendirilmiş metal matrisli kompozitlerin mikroyapısı ve özellikleri için önemlidir. Bu



çalışmada, iki hibrit güçlendirici, SiC-grafit ve SiC-Nano grafen, toz metalurjisi kullanılarak alüminyum matrisli kompozitlere dahil edildi. Takviyelerin dağılımı ve kompozitlerin mikroyapısal gelişimi, Tarama Elektron Mikroskobu, X-Işını Kırınımı, Geçirgen Elektron Mikroskobu ve Raman spektroskopisi kullanılarak karakterize edildi. Sonuçlar ince Nano grafenlerin alüminyum parçacıklarının deformasyonunu hızlandırdığını ve bilyeli öğütme işlemi sırasında karbonlu fazlarda kusurların ortaya çıktığını gösteriyor.  $Al_4C_3$  iğnelerinin sıcak presleme sırasında oluşturduğu ve alüminyum taneleri arasında köprü oluşturduğu gözlemlendi. Grafit ile karşılaştırıldığında, Nano grafen kompozit boyunca daha homojen bir şekilde dağıldı ve bu da tane büyümesini sınırladı. Sonuç olarak, SiC-NGR' nin eklenmesiyle nano yapılı bir kompozit (57.7 nm) başarıyla üretildi [47].

M. O. Bodunrin ve Ark (2015) Alüminyum hibrit kompozitler, ileri mühendislik uygulamalarının son taleplerini karşılama potansiyeline sahip yeni nesil metal matrisli kompozitlerdir. Bu talepler, geliştirilmiş mekanik özellikler, geleneksel işleme tekniğine uygunluk ve alüminyum hibrit kompozitlerin üretim maliyetini düşürme olasılığı nedeniyle karşılanmaktadır. Bu malzemelerin performansı, bazı işleme parametreleri takviye edici parçacıklarla ilişkili olduğundan, çoğunlukla takviye malzemelerinin doğru kombinasyonunun seçilmesine bağlıdır. Alüminyum hibrit kompozitlerin tasarımında birkaç takviye edici partikül kombinasyonu kavramsallaştırılmıştır. Bu makale, hibrit alüminyum matrisli kompozitlerin işlenmesinde kullanılan farklı takviye malzemeleri kombinasyonlarını ve malzemelerin mekanik, korozyon ve aşınma performansını nasıl etkilediğini incelemeye çalışmaktadır. Bu malzemeleri imal etmek için ana teknikler kısaca tartışılmış ve alüminyum hibrit kompozitler üzerinde daha fazla iyileştirme için araştırma alanları önerilmiştir. Hibrit yapıya eklenen NGR'nin tribolojik özellikleri iyileştirmiştir [48].

H. Karakoç ve Ark (2019) Bu çalışma, toz metalurjisi (TM) kullanılarak çeşitli takviyeli ve takviyesiz kompozit malzemelerin üretimini araştırmaktadır. Toz ekstrüzyon işlemi ile üretilen hibrit kompozitlerin (Al-SiC-B<sub>4</sub>C) mekanik özelliklerini optimize etmek için yeni bir yaklaşım sunar. Matris malzemesi olarak AA6061 tozları, takviye malzemesi olarak B<sub>4</sub>C ve SiC tozları kullanılmaktadır. Matris ve takviye malzemeleri üç boyutlu bir karıştırıcıda karıştırılır. Karışımlar daha sonra metal blok numuneleri oluşturmak için soğuk preslemeye tabi tutulur. Blok numuneler sinterleme işlemine tabi

tutulduktan sonra ekstrüzyon kalıbında sıcak ekstrüzyona tabi tutulur. Bu,  $25 \times 30 \text{ mm}^2$  kesit alanına sahip numuneler üretir. Ekstrüde edilen bu numuneler T6 ısıl işlemine tabi tutuldu. Üretilen kompozit malzemeler yoğunluk, sertlik, enine kopma mukavemeti, çekme mukavemeti ve aşınma direnci açısından incelenmektedir. Ayrıca, mikro yapı, yüzey kırıkları ve yüzey aşınmasını incelemek için optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskobu, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi ve XRD gerçekleştirilir. Bu çalışmada yüksek yoğunluklu AA6061/B<sub>4</sub>C/SiC hibrit kompozit malzemeler başarıyla üretilmiştir. Ekstrüzyondan sonra, bazı mikro parçacıkların çatladığı bulundu. En yüksek sertlik %12 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerde meydana geldi. En düşük sertlik ise takviyesiz AA6061 alaşımında elde edilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti %12 SiC partikül takviyeli kompozit malzemede meydana geldi. En yüksek aşınma direnci, B<sub>4</sub>C'nin sertliği ve matris ve SiC'nin iyi yapışma özellikleri nedeniyle %9B<sub>4</sub>C+%3SiC numunelerinde elde edilmiştir [49].

P. Rasagopal ve Ark (2020) Hibrit alüminyum metal matrisli kompozitlerde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karıştırma-döküm yöntemiyle üç bileşim SiC ve bor karbür (B<sub>4</sub>C) eklenerek üç güçlendirilmiş kompozit yapılmıştır. Fabrikasyon kompozit malzeme üzerinde farklı kesme parametreleri ile frezeleme işlemi kullanılarak işleme gerçekleştirilmiştir. İşlenen yüzeylerin pürüzlülüğü Mitutoyo SurfTest SV-2100 Kolon tipi yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile belirlendi. y yönündeki kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Ayrıca sonuçlar Taguchi yöntemi ile optimize edildi ve analiz edildi. Elde edilen deneysel sonuçlar, en önemli işleme parametrelerinin ilerleme hızı, kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki kesme derinliği ve kesme kuvveti olduğunu göstermektedir [50].

A. Aabid ve Ark (2022) Hafif ve yakıt açısından verimli malzemelerle birleşen olağanüstü mekanik özellikleri nedeniyle, metal matrisli kompozitler, büyük ölçüde otomotiv ve havacılık endüstrileri için geliştirilmiştir. Bu yazıda, deneysel alüminyum esaslı hibrit MMK'lerin kuru kayma aşınma davranışı araştırmak için bir girişimde bulunulmuştur. Deneysel üç tip dolgu malzemesi için gerçekleştirilmiştir: Bor karbür (B<sub>4</sub>C), Molibden Di-sülfür (MoS<sub>2</sub>) ve 50 mm'lik grafit partikülleri AA2219 matrisi kullanılarak güçlendirilmiştir. Karıştırma döküm tekniği. Öte yandan, veri hesaplama, makine mühendisliğinde bir trenddir ve son yıllarda büyük ölçüde artmaktadır. Sınırlı

sayıda deneyle optimum sonuçları belirlemek için en uygun maliyetli yöntemlerden biri olduğunu kanıtlamıştır. Bu nedenle, bu araştırma, optimizasyona vurgu yapılarak, belirtilen parametrelerle deney tasarımı tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DTT için, tam faktöriyel tasarıma dayalı ek deneyler yapıldı ve ardından parametrelerin kompozitlerin aşınma davranışı üzerindeki etkisini incelemek için ANOVA, regresyon denklemi ve doğrulama testleri gibi farklı analizler yapıldı. Ayrıca uygulanan yük, kayma hızı ve kayma mesafesi gibi aşınma parametrelerinin aşınma kaybı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Mevcut araştırma matriksteki B<sub>4</sub>C partiküllerinin, bu çalışmada seçilen diğer malzemelerle karşılaştırıldığında MMK'nin aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir [51].

A. M. Sankhla ve Ark (2022) Metal matrisli kompozitlerin özellikleri, tozların partikül boyutu, takviye malzemesinin oranı, karıştırma yöntemleri, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi çeşitli proses değişkenlerinden etkilenir. Karıştırarak dökümün önemli dezavantajı, kaçınılması çok zor olan donatı ayırımıdır. Bu nedenle, Al-MMK hazırlamak için toz metalurjisi yolu kullanılır. Mevcut çalışmada, alüminyum bazlı MMK, bir takviye malzemesi olarak değişen oranlarda silisyum karbür (SiC) ile üretilir. Tozların karıştırılması V-Blender ve varil karıştırıcı kullanılarak üç farklı karıştırma tekniği yapılır ve hazırlanan tozların karıştırma kalitesi değerlendirilir. Karıştırma süresinde önemli bir azalma, yani %50'den fazla, geleneksel bir V-blender ile karşılaştırıldığında yeni bir fiçi karıştırıcı ile elde edilir. Üretilen Al-MMK'nin iki önemli özelliği, sertlik ve basınç dayanımı deneysel olarak araştırılmıştır. Aynı zamanda karıştırma tekniğinin etkisi de incelenir ve tozlar bir varil karıştırıcı kullanılarak karıştırıldığında sertliğin ve basınç dayanımının arttığı açıktır. Böylece toz karıştırmaya yeni bir yaklaşım elde edilmiştir. SiC oranındaki %5'lik bir artış, sertlikte %14'lük bir artışa neden oldu. Al-MMK'nin ortalama basınç dayanımı, donatı içeriği %25 olduğunda en yüksektir. Varil karıştırıcı ile elde edilen parçacıkların düzgün dağılımı nedeniyle, MMK'nin basınç dayanımı, tozların geleneksel V-blender ile karıştırıldığı MMK'lerin mukavemetinden %8-20 daha yüksektir. Benzer bir etki, MMK'nin ortalama sertliğinin %10 ila %20 daha yüksek olduğu sertlikte de gözlemlenir, hangi tozların varil karıştırıcı ile karıştırıldığı. Bu nedenle, yeni tasarlanmış varil karıştırıcı Al-MMK'nin üretilmesi için toz metalurjisi süreci ile tozların kaliteli karıştırılması için etkili bir çözüm sağlar [52].

K. C. Nayak ve Ark (2020) Toz metalurjisi bazlı metal matrisli kompozitler, geliştirilmiş fiziksel ve mekanik özellikler nedeniyle havacılık, otomotiv, elektronik gibi çeşitli alanlarda bileşenleri geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada, fiziksel ve mekanik silindirik sinterlenmiş hibrit kompozit numunelerin özellikleri araştırılmıştır. Hacimce %2 ve %7 silisyum karbür ve hacimce %3 ve %8 alümina ile karıştırılmış alüminyum tozundan dört farklı hibrit kompozit numunesi yapılmıştır. Beş farklı sinterleme koşulu (sıcaklık ve sinterleme süresi kombinasyonları) kullanıldı. Sinterlenmiş her numunenin yoğunluğu ve sertliği ölçüldü. Basınç dayanımının hesaplanması için soğuk basma testleri yapılmıştır. Al/SiC içindeki alüminanın hacim oranındaki bir artış yoğunluğu, sertliği ve basınç dayanımını azaltmış. Soğuk sıkıştırılmış kompozitlerin akış gerilimi, voce denklemi ile karakterize edilmiştir. Alüminyum matrisli kompozitin imalatı için önerilen toz metalurjisi tabanlı yol ticari alüminyumunkilere kıyasla fiziksel ve mekanik özelliklerde önemli gelişme gösterir [53].

K. Maclin John Vasanth ve Ark (2020) Katmanlı imalat, imalatın geleceği olarak görülüyor ve imalatta en aktif olarak araştırılan en ileri araştırma alanlarından biri. Toz metalurjisi tekniği, net şekle yakın imalat, finiş işleme süreçlerinden ve dolayısıyla malzeme israfından kurtulma gibi benzersiz bir avantaja sahiptir. Mekanik alaşımlama, kurucu metal tozlarını toz metalurjik yolla birleştiren ve geleneksel olarak üretilmiş alaşımlarla oldukça benzer alaşımlarla sonuçlanan katı hal alaşımlama tekniğidir. Metal tozları, sıkıştırmadan önce standart bir dağılım elde etmek için bilyeli değirmen yardımıyla karıştırılır. Hibrit metal matrisli kompozitler, birincil fazda dağılmış iki farklı ikincil faz sergilerler, ilginç davranışlar sergilerler ve kompozit araştırmaları alanında keşfedilmeye değerlidir. Bu derleme, geleneksel olarak üretilmiş alaşımlarla karşılaştırıldığında, alüminyumun farklı bileşen alaşım metalleri ve bileşikleri ile mekanik alaşımlaması hakkında bu tür çeşitli literatürleri ve bu tür çalışmaların sonuçlarını tanımlamaktadır. Takviye ağırlık yüzdesi, donatı parçacık boyutu, öğütme süresi, sıkıştırma basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi faktörlerin alüminyum metal matrisli kompozitlerin özellikleri üzerinde büyük etkisi vardır. Takviye parçacığı boyutu küçüldükçe, Kompozit 'in yoğunluğu artar, dolayısıyla nano boyutlu parçacıklar mikro boyutlu parçacıklara tercih edilir ve ayrıca optimum sinterleme süresi ve sıcaklığı, Sinterleme atmosferi ve Sıkıştırma seçilerek kompozitin yoğunluğu artırılır. Takviyenin ince tane boyutu iyi bir çekme mukavemetine sahiptir ve basınç mukavemetine, ayrıca öğütme süresi, sinterleme süresinde sinterleme sıcaklığı çekme üzerinde bir miktar etki

sağlar. Takviyenin daha büyük parçacık boyutu, ince parçacık boyutundan daha üstün aşınma özelliklerine sahiptir. Toz metalurjisi tekniğinde, toz parçacıkları eşit olarak dağıtılır ve matris ile donatı arasında iyi bir bağ mekanik ve tribolojik davranışa ve aşağıdaki gibi çeşitli mekanik özelliklere sahip olması sağlanır. Sertlik, yoğunluk, akma dayanımı, uzama ve basınç dayanımı ve aşınma özellikleri bu inceleme kapsamında incelenmiştir [54].

M. U. Zaki ve Ark (2020) Alüminyum bor karbür kompozit, havacılık ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılan düşük ağırlıklı yüksek mukavemetli kompozit önemli bir sınıfını oluşturur. Yüksek maliyeti ve yüksek konsantrasyonlarda kırılabilirliği nedeniyle bor karbürün kullanımı bir dereceye kadar sınırlıdır. Bu çalışmanın temel amacı, daha iyi mekanik özellikler elde etmek için toz metalurjisi işlemi ile içine bor karbür ve manganez ekleyerek alüminyum kompozitlerin mukavemetini maksimize etmektir. Saf Alüminyum düşük bir çekme mukavemetine sahip olduğundan ve daha az sünek olduğundan ve düşük sıcaklıklarda kolayca deformasyona uğrayabilir. Küçük manganez ve bor ilaveleri alaşıma mukavemet kazandırmak ve mekanik mukavemetini ve döküm kabiliyetini arttırmak için kullanılır. Toz metalurjisi tekniği, daha iyi mekanik özelliklere sahip kompozitler yapmak için kullanılır. Bu kompozitler Alüminyum metalin yerini alabilir ve pratik uygulamalar otomobil endüstrisi, havacılık uygulamaları ve askeri uygulamalarda yapılabilir. Optimum ağırlık Alüminyum bor ve manganez yüzdeleri farklı oranlarda karıştırılarak silindirik şekilli numuneler mukavemetlerini belirlemek için bu numuneler tozların %2 %4 %6 oranında karıştırılmasıyla yapılmıştır [55].

Norul Amierah Binti Nor Zamani ve Ark (2020) Bu araştırmada, grafit ve  $Al_2O_3$  partikülleri ( $Al+Gr+Al_2O_3$ ) ile güçlendirilmiş kendinden yağlamalı alüminyum (Al) esaslı hibrit metal matrisli kompozitlerin tribolojik davranışı incelenmiştir. Üstün aşınma ve mekanik özellikleri tek bir malzemede elde edin. Toz metalurjisi tekniği ile hibrit MMK'lerin üç farklı bileşimi üretilmiş, aşınma ve mekanik özellikleri test edilmiş ve saf Al ve  $Al+Gr$  kompoziti ile karşılaştırılmıştır. Numunelerin mikro yapısı incelenmiş ve mikrosertlik, çekme ve eğilme mukavemeti gibi çeşitli mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Hibrit MMK'lerin aşınma davranışı, bir disk üzerinde pim tribometresi kullanılarak araştırıldı. Sonuçlar,  $Al_2O_3$  ve grafit takviye partiküllerinin birleşik etkisinin hibrit MMK'lerin aşınma ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koydu. Tüm mekanik özellikler artırıldı ve aşınma oranı ve sürtünme

katsayısı önemli ölçüde azaldı. Ayrıca %3Gr ve %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Al+3Gr+10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) düzey bir tribo yüzey oluşturan takviye bileşimi, diğerlerine göre aşınmaya karşı dayanıklılık özelliklerini en üst düzeyde artırır hibrit MMK'lerin bileşimleri [56].

Yapılan literatür araştırması neticesinde AA7020 alaşım metali matris yapısına sertlik değerinin artışı için ağırlıkça %5, %10 ve %15 Hibrit SiC seramik tozu takviyesi yapılacaktır. Hibrit yapının artması neticesinde aşınma dayanımlarının iyileştirmesi için katı yağlayıcı olarak ağırlıkça %0.25, %0,50 ve %1 Nano grafen toz yapısı kullanılacaktır. Bu sayede yüksek tribolojik özelliklere sahip hibrit yapı MMK yapıları elde edilmesi hedeflenmiştir.



## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi ve Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen metal matrisli kompozitlerin mikro yapı, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir. Kullanılan matris malzemesi AA7020 tozu, takviye elemanı SiC seramik tozu ve katı yağlayıcı nanografen kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın işlem sıralaması Şekil 6.1’ de yer almaktadır.



Şekil 6.1.Deneysel çalışma sıralaması

Deneysel ürünlerin elde edilmesinde, metal ve seramik tozları kullanılmıştır. Ağırlık olarak tartımı yapılan matris-takviye tozlarının ve nano grafen katı yağlayıcı etkinliğinde, yüksek enerjili bilyalı değirmen kullanılarak homojen bir şekilde karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüksek enerjili bilyalı değirmende gerçekleştirilen çalışmalar, 300 RPM ve 30 dakika süre ile yapılmıştır.

Karıştırma işlemi sonrası elde edilen tozlar soğuk presleme yöntemi ile 650MPa basınç altında sıkıştırılarak deney numuneleri elde edilmiştir. Presleme işleminin hemen sonrasında elde edilen numuneler, 600°C sıcaklıkta 60 dakika süre ile sinterleme işlemine tabii tutulmuştur.

Üretilen kompozit-hibrit deney numuneleri daha sonra, mikroyapısal karakterizasyon incelemeleri için, sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemi yapılmıştır. Metalografik çalışmaların devamı olarak hazırlanan deney numuneleri, optik mikroskop ve Taramalı Elektro Mikroskop (SEM) cihazları kullanılarak mikroyapısal olarak değerlendirilmiştir.

Mikroyapısal karakterizasyon çalışmaları neticesinde çalışmanın son kısmında, kompozit-hibrit deney numunelerinin, mekanik özellik açısından mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda özellikle takviye malzemesinin ve nano grafen parçacıklarının kombinasyonunda, malzeme aşınma dayanımları incelenmiştir. Böylelikle aşınma testleri sonrası malzeme ağırlık kayıpları ve aşınma sonrası SEM görüntüleri incelenmiştir.

### **6.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi**

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde AA 7020 metal matris yapısında, takviye olarak SiC seramik parçacık ve nanografen birlikteliğinde ağırlıkça farklı oranlarında deney numunelerinin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Mikro ve nano boyutundaki ürünlerin homojen şekilde karıştırılarak, preslenip, sinterleme işlemi yapılmıştır. Bu aşamalardan geçen deney numunelerinin mekanik ve mikro yapı özellikleri test edilmiştir. Bu çalışmalar aşağıdaki şekilde ilerlemiştir;



- Matris-takviye tozlarının ağırlıkça tartım ve hazırlık aşaması,
- Homojen olarak karıştırma işlemi,
- Presleme işlemi,
- Sinterleme,
- Metalografik incelemeler,
- Mikroyapısal karakterizasyon,
- Sertlik ve aşınma dayanımlarının belirlenmesi.

### 6.1.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda metal matris malzemesi olarak Nanografi Nanoteknoloji firmasından temin edilen gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş ön alaşımlı 44  $\mu\text{m}$  (325 mesh) ve %99,9+ saflıkta AA7020 tozları kullanılmıştır. Şekil 6.2’de AA7020 alaşım tozlarının görünür yoğunluk görseli yer almaktadır. Ayrıca Çizelge 6.1’de ise kimyasal bileşimi yer almaktadır.



Şekil 6.2.AA7020 MMK matrisi

Çizelge 6.1.AA7020 malzemesinin ağırlıkça (%) kimyasal Bileşimi

Malzeme	Al	Zn	Mg	Mn	Cr	Fe	Si	Zr	Ti	Cu	Diğer
AA7020	91.2/94.8	4.0/5.0	1.0/1.4	0.05/0.5	0.1/0.35	0/0.4	0/0.35	0.08/0.25	0/0.25	0/0.2	0/0.15

Deneysel çalışmalarda takviye elemanları olarak sırasıyla SiC ve Nano Grafen toz parçacıkları kullanılmıştır. SiC çok sert ve aşındırıcı bir yapıdadır. Aşınma dayanımı yüksektir. Kimyasal bozulmalara karşı dirençlidir. Isı iletimi yüksek ve genleşme

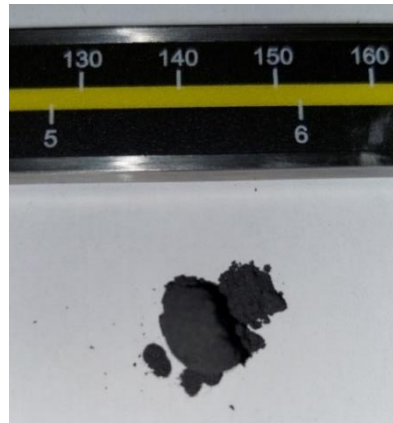
katsayısı oldukça düşük bir seramiktir. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde katkı elementi olarak 3  $\mu\text{m}$  ve %99,5+ saflıkta SiC tozu ,ve 3nm ve %99,9+ saflıkta nano grafen tozu kullanılmıştır. Çizelge 6.2’de SiC mekanik ve kimyasal özellikleri yer verilmiştir. Aynı zamanda takviye malzemesi olarak kullanılan sırasıyla SiC ve nano grafenin parçacıklarının, görünür yoğunluğa sahip görüntüleri sırasıyla Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’ de yer almaktadır.

**Çizelge 6.2.**SiC mekanik ve kimyasal özellikleri

Kompozisyon	SiC
Molekül Ağırlığı	40,097
Yoğunluk	$\alpha$ -3,211 g/cm <sup>3</sup> $\beta$ -3,211 g/cm <sup>3</sup>
Isıl İletkenlik	$\alpha$ -41 W/m <sup>o</sup> C $\beta$ -3,211 W/m <sup>o</sup> C
Ergime Sıcaklığı	2545 <sup>o</sup> C
Kırılma Mukavemeti	350-600 GPa
Kimyasal Dayanımı	Oda sıcaklığında inerttir
Sertlik	24,5-28,2 Vicker
Elastisite Modülü	441-475 GPa
Kayma Modülü	192 GPa



**Şekil 6.3.**SiC Tozu



**Şekil 6.4.**Nano Grafen Tozu

### 6.1.2. Numunelerin hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmada 13 farklı MMK yapılı deney numunesi hazırlanmıştır. Deney numunesi sayısı artıktıkça karşılaştırma yapılabilecek daha fazla veri seti elde edilmiştir. Tüm deney numunelerin hazırlanan karışım değerleri Çizelge 6.3'de yer verilmiştir.

**Çizelge 6.3.**MMK ağırlıkça karışım oranları

Numune Kodu	Matris (Alüminyum)	Takviye I (Silisyum Karbür)	Takviye II (Nano Grafen)
AA7020	AA7020(%100)	-	-
SiC5	AA7020(%95)	SiC(%5)	-
SiC10	AA7020(%90)	SiC(%10)	-
SiC15	AA7020(%85)	SiC(%15)	-
SiC5-NG0,25	AA7020(%94,75)	SiC(%5)	NGR (%0,25)
SiC10-NG0,25	AA7020(%89,75)	SiC(%10)	NGR (%0,25)
SiC15-NG0,25	AA7020(%84,75)	SiC(%15)	NGR (%0,25)
SiC5-NG0,50	AA7020(%94,5)	SiC(%5)	NGR (%0,5)
SiC10-NG0,50	AA7020(%89,5)	SiC(%10)	NGR (%0,5)
SiC15-NG0,50	AA7020(%84,5)	SiC(%15)	NGR (%0,5)
SiC5-NG1	AA7020(%94)	SiC(%5)	NGR(%1)
SiC10-NG1	AA7020(%89)	SiC(%10)	NGR(%1)
SiC15-NG1	AA7020(%84)	SiC(%15)	NGR(%1)

Her deney numunesi 20 gr olacak şekilde ağırlıkça % olarak Şekil 6.5'deki görselde yer alan G&G marka 0,0001 hassasiyet ile ölçüm yapan elektronik tartım cihazı ile ağırlıkları tartılmıştır. Şekil 6.6'da hassas tartımı yapılan AA7020 tozu yer almaktadır.



**Şekil 6.5.**Hassas ölçüm cihazı



**Şekil 6.6.**Hassas ölçümü yapılan toz numunesi

Hassas olarak ölçümü yapılan tozlar Şekil 6.6’da yer alan Thermnevo marka yüksek enerjili bilyalı öğütücü homojen dağılım sağlamak amacıyla karıştırılmıştır. Bu amaç için, 600 RPM devir ve 30 dakika karıştırma sürecinde uygulanmıştır.



**Şekil 6.7.**Thermnna marka karıştırıcı

### 6.1.3 Numunelerin preslenmesi

Hassas terazide 3,512 gr olarak tartılan her deney numunesi, Hidroliksan marka 60 ton tek etkili pres makinesi ile presleme yapılmıştır. Presleme kuvveti olarak 650 MPa basınç uygulanmıştır [61]. Presleme işlemi yapılan kalıbın ürün çapı 12mm olmak ile beraber, Ön yükleme kuvvetinden sonra 25 sn sabit kuvvet altında yük uygulanmıştır. Şekil6.8’de presleme işlemi öncesi kalıp yer almaktadır. Tüm presleme işlemi Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 6.8.Presleme İşlemi

#### 6.1.4 Numunelerin sinterlenmesi

Presleme işlemi yapılan ürünler arasında tam bir yüzey bağı ve gözeneklerin birbiri ile teması oldukça düşüktür. Boşluklu bir yapı mevcuttur ve oldukça dayanıksız ve kırılıgandır. Bu yapının iyileştirilmesi için sinterleme işlemi yapılmıştır.

Sinterleme işlemi Nevola marka atmosfer kontrollü tüp fırında Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 6.9'da yer alan fırın ile sinterleme yapılmıştır.



Şekil 6.9.Nevola marka atmosfer kontrollü sinterleme fırını

Deney numuneleri yapılan araştırma neticesinde 600°C sıcaklığa ısıtılmış ve homojen sıcaklık dağılımına sahip koruyucu argon gazı ortamında 60 dakika boyunca bekletilmiştir [62]. Sinterleme bölgesi olarak cam tüpün giriş kısmından 40 cm ilerisinde numuneler bırakılmıştır. Sinterleme sonrası ürünlerin resim Şekil 6.10'da yer almaktadır.



Şekil 6.10.Sinterleme sırasındaki görseller

#### 6.1.5. Yoğunluk ölçüm işlemleri

Deney numunelerin yoğunluk ölçümü hacim hesabı kullanılarak ölçülmüştür. Deney numunelerinin hassas bir şekilde yoğunluk ölçümü için, deney numunelerinin tartım işlemi, ağırlıklarının belirlenmesi ve deney numune çap ve yükseklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 6.11'de yer alan hassas terazi ve kumpas kullanılmıştır.



Şekil 6.11.Hassas ölçüm cihazları

## 6.2. Malzemelerin Mikroyapı Sertlik ve Aşınma Dayanımlarının Ölçülmesi

MMK malzemelerinin mikroyapı, sertlik ve aşınma direncinin tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu değerleri bilinen MMK malzeme sınıflandırılması, nerede kullanılacağı ve hangi amaca hizmet edeceği net olarak bilinmelidir.

İlk olarak malzeme yüzeyinde zımparalama ve parlatma işlemi yapılır, ardından parlanmış yüzeyden mikroyapı ve SEM görüntüsü alma işlemleri yapılır, malzemenin iç yapısı belirlenmiş olur.

Ardından malzemede sertlik ölçümü yapılır. Yapı kompozit yapıda olduğu için Brinell sertlik ölçümü metodu kullanılır.

Sabit yük altında malzeme sürtünme dayanımı tespit edilmiştir. Aşınma sonrası deney numunelerinden aşınma SEM görüntüsü alınmıştır.

### 6.2.1. Metalografik işlemler

Tüm yapılan işlemler Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır. Sinterleme sonrası malzemelerin yüzeyleri mikroyapı, sertlik ve aşınma testlerinin yapılabilmesi için uygun değildir bunun için, her bir deney numunesi sırası ile zımparalama ve parlatma işlemlerine tabii tutulmuştur. Bu işlemler ise Hardway marka çift diskli zımparalama ve parlatma cihazında yapılmış olup, görseli Şekil 6.12 'de yer almaktadır.



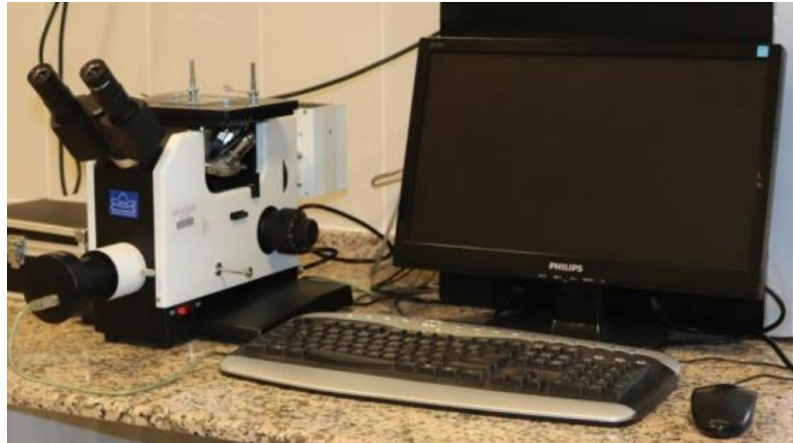
Şekil 6.12. Çift Diskli Hardway marka zımparalama ve parlatma cihazı

Tüm deney numunelerinde sulu zımpara işleme yapılmıştır. Kalın kum zımparadan ince kum zımparaya doğru işlemler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kum yapıları 600 kum, 800 kum ve 1200 kum olmak üzere üç çeşittir. Sırasıyla yapılan zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra, parlatma işlemine geçilmiştir. Bu işlemde 3µm boyutunda parlatma keçesi ve elmas solüsyon çözeltisi ile deney yüzeylerinde parlak yüzey elde edilmiştir.

Tane sınırlarının görülmesi için dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama çözeltisi olarak %90 H<sub>2</sub>O (Saf) ve %10 HF çözeltisi kullanılmıştır. Numune yüzeyleri 2 sn süre ile çözeltiliye daldırılmış ve hemen su ile yıkama işlemi yapılmıştır. Çözeltinin tam olarak yüzeyden uzaklaşması için alkol ile yıkama sıvı kalmaması için sıcak hava ile kurutma işlemi yapılarak hava ile teması en aza indirilmiştir.

### 6.2.2. Mikroyapı incelemesi

Mikroyapı incelemesi için uygun hale gelen deney numunelerinden optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüler Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında bulunan optik mikroskop ile alınmış olup Şekil 6.13.'de yer almaktadır.



Şekil 6.13. Optik Görüntüleyici

Optik görüntüsü alınan deney numuneleri daha sonra Necmettin Erbakan Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yer alan Hitachi marka SEM görüntüleme cihazı



ile SEM incelemeleri yapılmıştır. 500x-1000x-1500x-2000x görüntüler elde edilmiştir. SEM görüntülerinin alındığı cihaz Şekil 6.14'de yer almaktadır.



Şekil 6.14.SEM Cihazı

### 6.2.3. Sertlik ölçüm işlemi

Sertlik ölçümü Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında yer alan Emcotest marka sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. SEM görüntüsü alınan numunelerden Brinell sertlik ölçümü olarak 33,8 kgF'luk yük alından 2,5mm çapında bilye ile sertlikler ölçülmüştür. Her numuneden üçer adet ölçüm alınıp aritmetik ortalamaları alınarak deney numunesinin sertliği belirlenmiştir. Şekil 6.15'de sertlik ölçüm cihazının görseli yer almaktadır.



Şekil 6.15.Sertlik ölçüm cihaz

#### 6.2.4. Aşınma ölçümü

Aşınma deneyi Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi için malzemelerin ağırlık kayıpları dikkate alınmıştır. Hassas terazide ilk ağırlıkları ölçülen aşınma numuneleri 25N yükleme altında 0-300 m 300-600m ve 600-900 m olmak üzere her biri on dakika süreden aşınma testine tabi tutulmuştur [63]. Her bir aralıkta ağırlık kaybı hassas olarak tartılmıştır. Aşınma numunelerinin SEM görüntüsü Gazi Üniversitesi Teknoloji fakültesi malzeme laboratuvarında alınmıştır. Aşınma deneyi Turkyus marka özel aşınma cihazında yapılmıştır. Şekil 6.16’da yer verilmiştir.



Şekil 6.16. Aşınma testi cihazı

## 7. DENEYSEL SONUÇLAR

### 7.1 Çalışma Sürecinin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında AA7020 metal matrisine takviye elemanı olarak SiC ve Nano grafen yağlayıcı malzemesi kullanılarak ve her biri belirli oranlarda karıştırılarak MMK malzemeleri elde edilmiştir. Matris, takviye ve yağlayıcı tüm malzemeler toz halinde temin edilmiştir. Her bir numunenin presleme ve sinterleme işlemi yapıp, yoğunluk ölçümü, mikroyapı incelemesi, elemental analizi, sertlik ölçümleri ve aşınma dayanımları incelenmiş ve birçok veri elde edilmiştir. Bu verilerin elde edilmesine ait çalışmanın şematik gösterimi Şekil 7.1’de yer almaktadır.



Şekil 7.1. Deneysel çalışma yol haritası

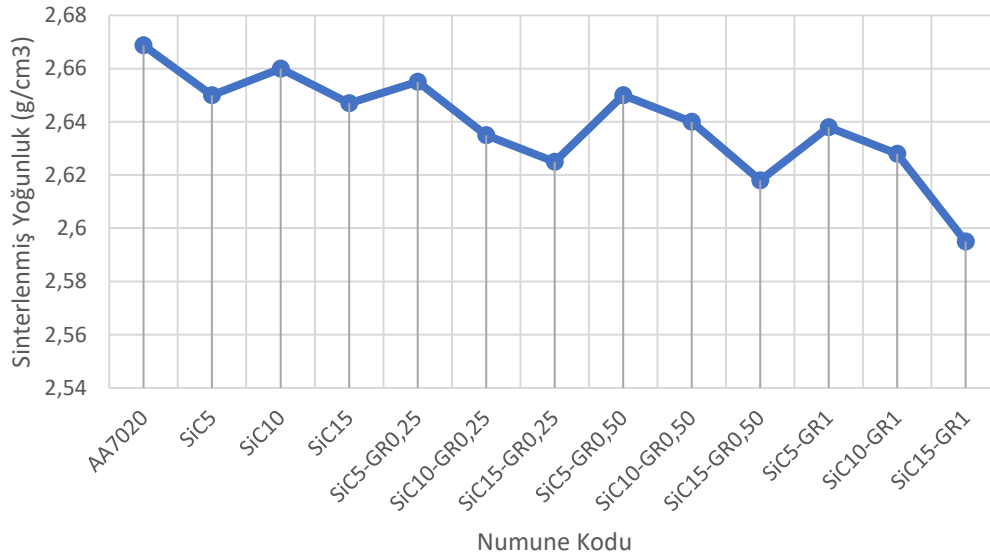
Deneysel çalışmalarda AA7020 metal tozu hazır halde kullanılmıştır ve yüksek saflıktadır. Takviye elemanı olarak SiC kullanılmıştır. SiC toz halde temin edilmiştir. Özellikle kullanılan SiC takviye elemanı ile yüksek sertlik ve aşınma dayanımı kazandırılması hedeflenmiştir. Katı yağlayıcı olarak ise nano grafen kullanılmıştır, boyutsal olarak diğer iki yapı mikro yapıda, katı yağlayıcı ise nano yapıda kullanılmıştır.

### 7.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Deneysel çalışmada belirtilen ürün karışım oranları, presleme ve sinterleme işlemleri sonrası, her bir numunenin sinterleme sonrası olmak üzere yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

Yoğunluk ölçüm işlemlerinde takviyesiz AA7020 alaşımı da dahil olmak üzere toplam 13 farklı MMK malzemesi kullanılmıştır. Her bir deney numunesinden ikişer adet

ölçüm işlemi yapılmıştır. Böylelikle 26 farklı ölçüm yapılmıştır ve ortalama değerleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinden sinterleme işlemi sonrası yoğunluk değişimi Şekil 7.2’de gösterilmiştir.

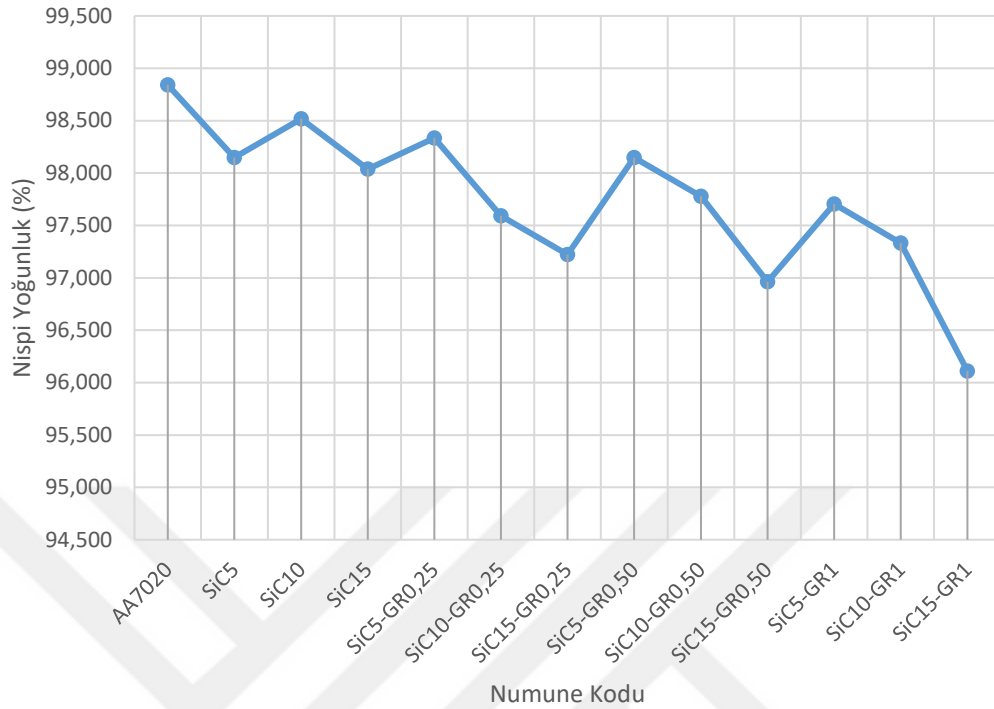


Şekil 7.2. Yoğunluk değişimi

Özellikle alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık olarak  $2,75\text{g/cm}^3$  olarak bilinmektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, sinterleme işleminden sonra AA7020 (referans numunesi) deney numunesinin yoğunluğu  $2,6687\text{g/cm}^3$  olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla sinterleme sonrası elde edilen bu değer alüminyum özgül ağırlığına yakın bir değer olarak elde edilmiştir. Ancak MMK malzeme üretimi açısından farklı takviye oranları neticesinde hazırlanan deney numunelerinin sinterleme sonrası elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde, sinterleme işlemi sonrası yoğunluk değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu durumu SiC takviye elemanının ne Nano grafenin tane sınırında yüksek miktarlarda kümelenme veya topaklanma eğilimi sergilemesi olarak belirtilebilir. Özellikle takviye miktarlarının artışında, yoğunluk değerinde önemli düşüşler meydana geldiği de bu durumun yer aldığını gösterebilmektedir.

Takviye ve yağlayıcı eleman oranı azaldıkça yoğunluk farkının azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların birçoğunda Toz metalurjisi ile elde edilen MMK malzemelerinin yoğunluk değerlerinde özellikle takviye seramik faz miktarının artışına bağlı olarak azalma olduğu görülebilmektedir [10]. Sinterleme sonrası deney

numunelerinin aynı zamanda nispi yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Deney numunelerine ait nispi yoğunluk ölçüm sonuçları Şekil 7.3’de yer verilmiştir.



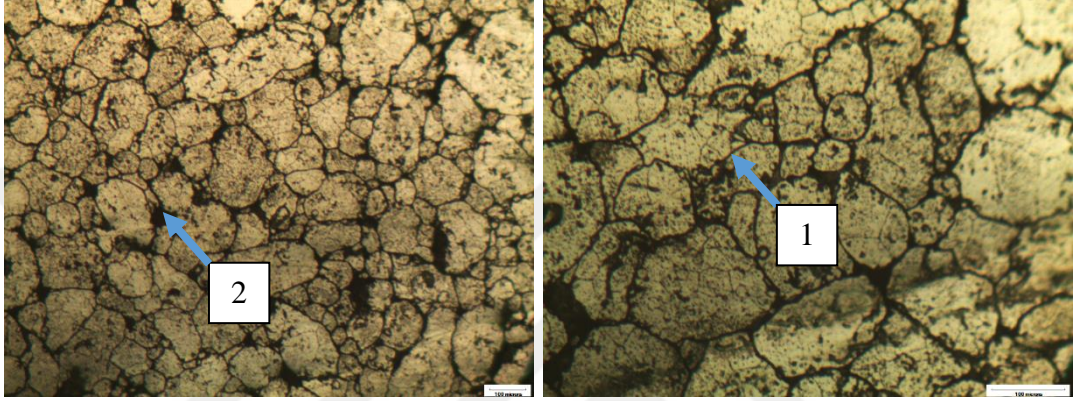
Şekil 7.3. Nispi yoğunluk değerleri

Toz metalurjisi ile üretilen MMK’da presleme basıncı ve gözenek yapısı arasındaki ilişki olduğu düşünülebilir. Ek olarak sıcak ve soğuk presleme işlemi gözenek yapısını etkileyebilir. Yapıda yer alan SiC ve Nano grafen yağlayıcı ürünlerinin dağılımı ve oranı yoğunluk düşüşünü doğrudan etkilemektedir. En yüksek nispi yoğunluk değeri %98,841 olarak AA7020 malzemesinde elde edilmiştir. Ancak artan takviye oranı ile bu değerlerde azalma görülmektedir. Böylelikle en düşük nispi yoğunluk değeri ise %96,093 olarak SiC15-GR1 koduna sahip kompozit deney numunesinde elde edilmiştir.

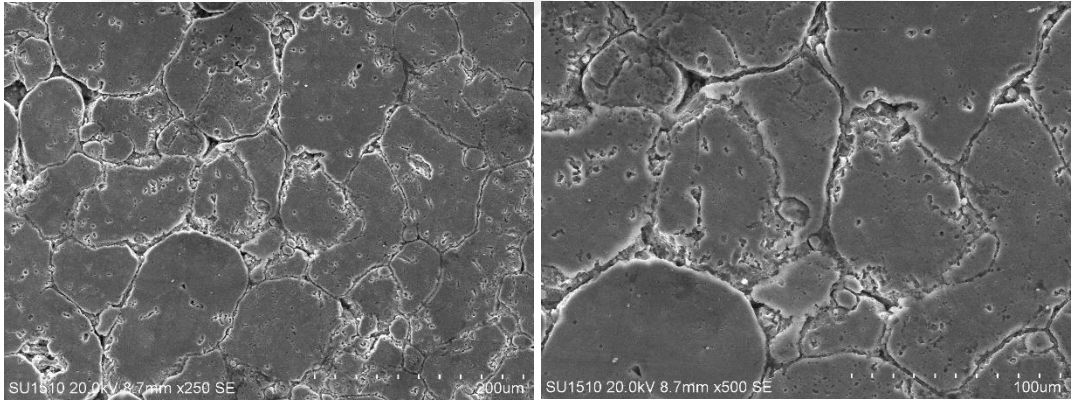
### 7.3. Mikroyapı Sonuçları

AA7020 matris metali ile, katkı maddesi SiC ve yağlayıcı olarak nano grafen kullanılan farklı kompozit yapılar elde edilmiştir. Bu elde edilen deney numunelerinin sinterleme işlemi sonrası optik mikroskop ve SEM görüntüleri elde edilmiştir. Şekil 7.4’de Saf AA7020 Numunesinin mikro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 7.5’de ise SEM görüntüsü yer almaktadır.

Mikro yapı görüntülerine göre gözenek yapısında ciddi oranda azalma meydana gelmiş, Sinterleme işleminin tane yapısı-gözenek oluşumu açısından olumlu seyrettiği tespit edilmiştir. 1 numaralı bölgede gözenek yapısının nerdeyse olmadığını ve tane sınırları belirgin bir şekilde görülmektedir. 2 numaralı bölgede ise mikro yapıdaki gözenek görülmektedir. Sinterleme mekanizması ve yoğunlaşma açısından SEM görüntüsü incelendiğinde (Şekil 7.5), özellikle düşük büyütmedeki mikroyapı görüntüsü, tane sınırı ve tanelerin teması açısından sinterlemenin tamamladığını gösterebilmektedir.



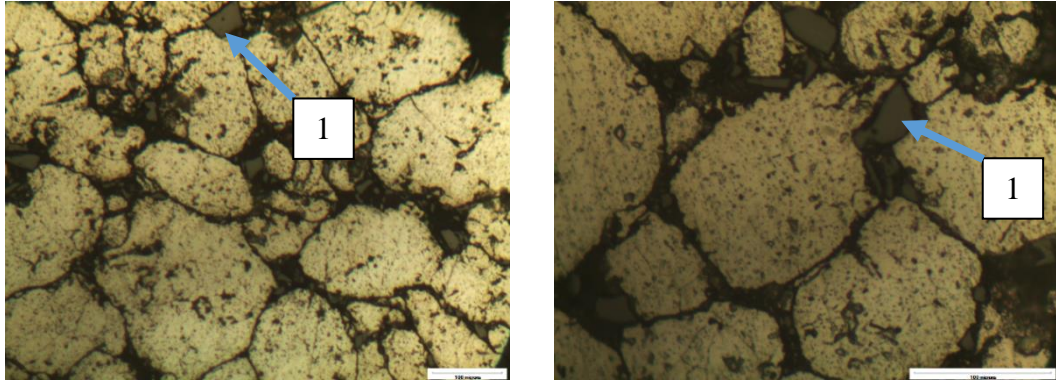
Şekil 7.4.AA7020 deney numunesinin optik mikroskop görüntüleri



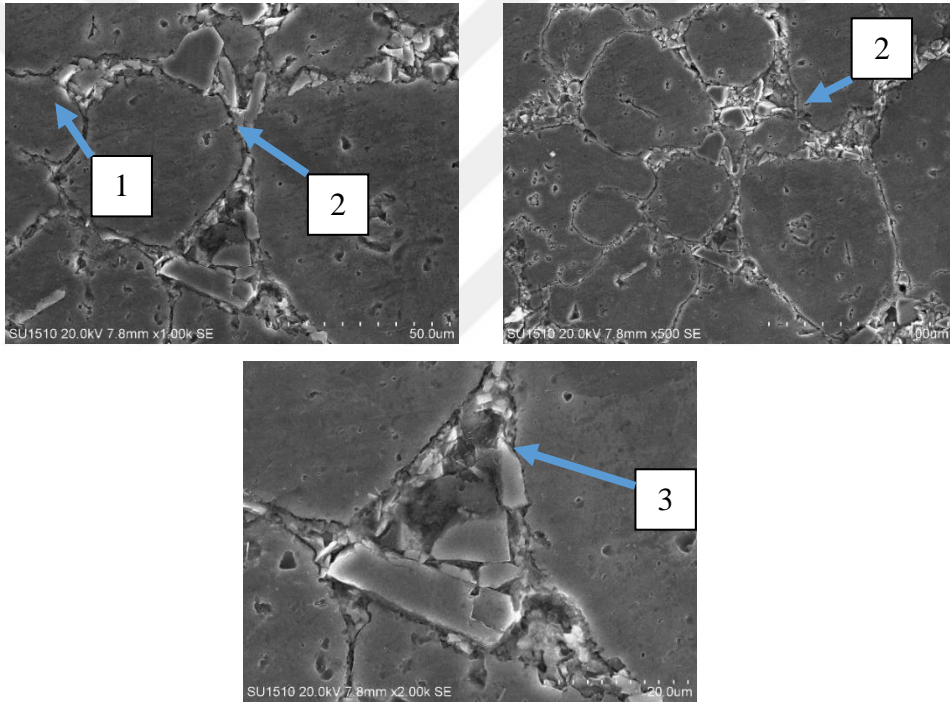
Şekil 7.5.AA7020 deney numunesi SEM görüntüleri

Şekil 7.6'de SiC10 MMK Numunesinin optik mikro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 7.7'de ise SEM görüntüsü yer almaktadır. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC net bir şekilde mikroyapı ve SEM görüntülerinde yer almaktadır (1 numaralı bölge). Homojen bir dağılım gözlemlenmektedir. AA7020 mikroyapısındaki boşlukları SiC takviyesi ile doldurulduğu tespiti edilmiştir. SiC bazı bölgelerde özellikle tane sınırlarında yoğun bir şekilde kümelenme göstermektedir (2 numaralı bölge). Bu kümelenmelerin olduğu yerlerde gözenek olduğu tespit edilmiştir (3 numaralı bölge).

Bunun nedeni ise SiC çok sert olması ve presleme basıncının bu bölgelerde yetersiz kaldığı söylenebilir [61].

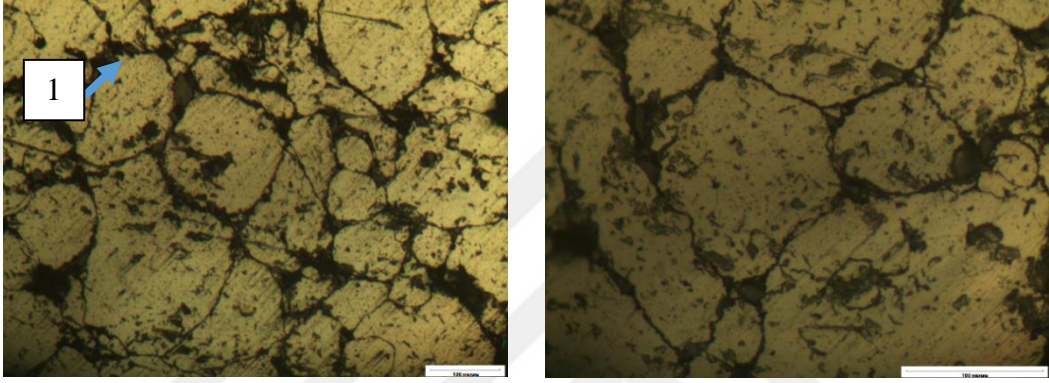


Şekil 7.6.SiC10 deney numunesi mikroyapı görüntüleri

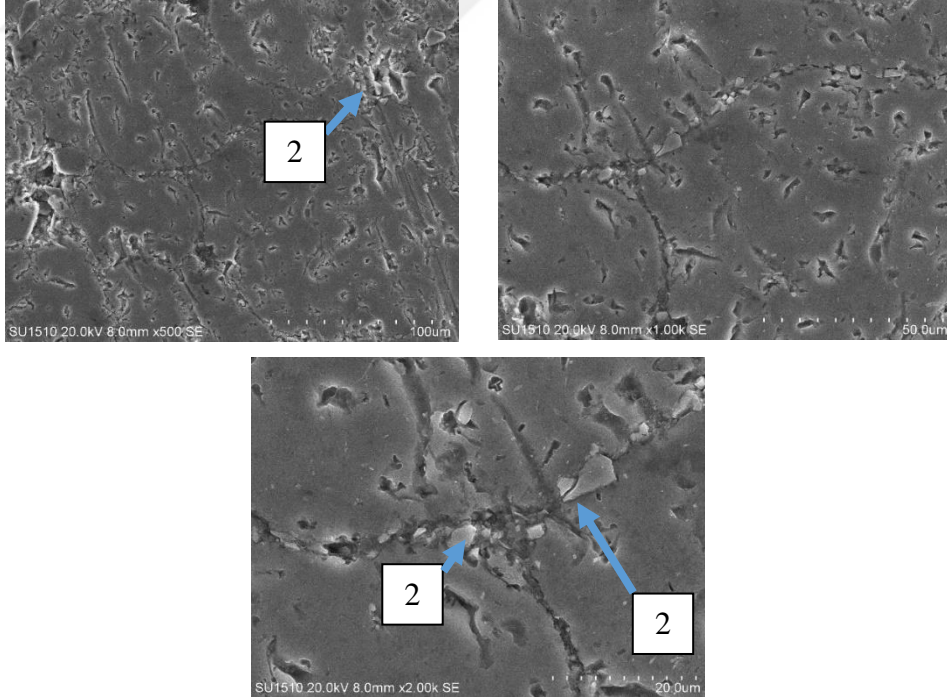


Şekil 7.7. SiC10 deney numunesi SEM görüntüleri

Şekil 7.8’de SiC10-NG0.25, MMK Numunesinin mikro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 7.9’de ise SEM görüntüsü yer almaktadır. SiC takviyesi belirgin şekilde görülmekte olup (1 numaralı bölge) tane sınırı ve tane sınırına yakın yerlerde dağılım gösterdiği görülebilmektedir. Özellikle Şekil 7.9’ da yer alan SEM görüntüsünde, keskin köşeli, iğnemsî ve poligonal yapılarda SiC seramik fazının yer aldığı görülebilir. Aynı zamanda SiC tanelerinin uç noktalarında nano grafen parçacıklarının (2 numaralı bölge) yığılma veya kümelenme eğilimi sergilediği belirtilebilir.



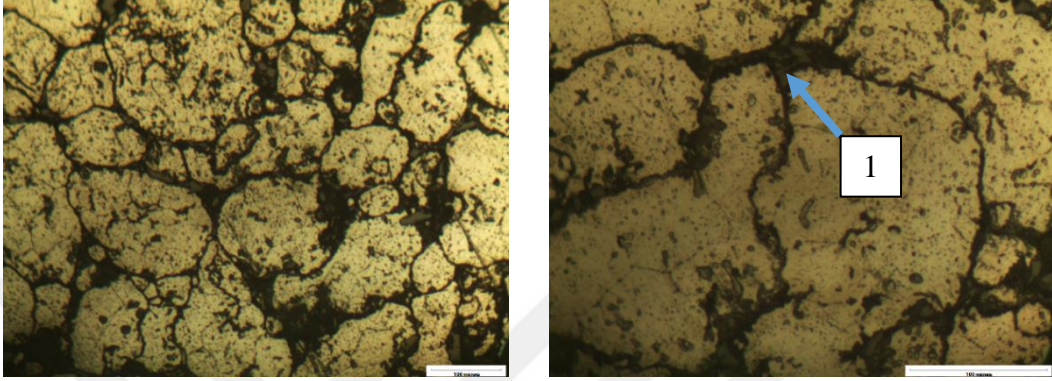
Şekil 7.8.SiC10-NG0.25 deney numunesi mikroyapı görüntüleri



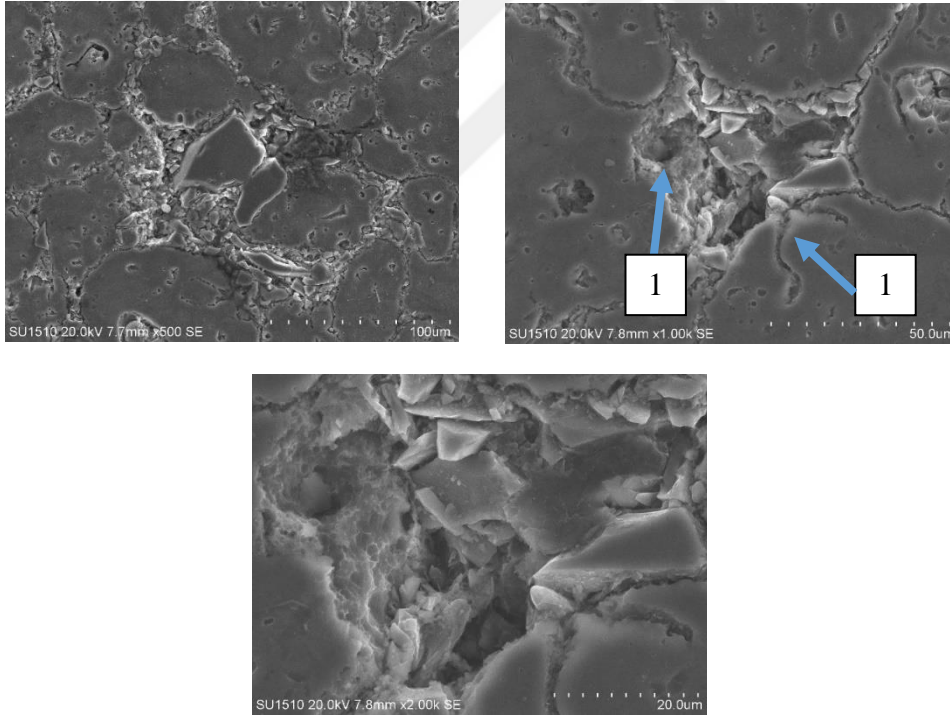
Şekil 7.9. SiC10-NG0.25 deney numunesi SEM görüntüleri



Şekil 7.10'da SiC10-NG0.50, MMK Numunesinin mikro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 7.11'de ise SEM görüntüsü yer almaktadır. Elde edilen görüntüler neticesinden NGP'nin gözenekleri doldurduğu tespit edilmiştir. Özellikle SiC yoğun olduğu yerlerde aşırı miktarda NGP bulunmaktadır (1 numaralı bölge).

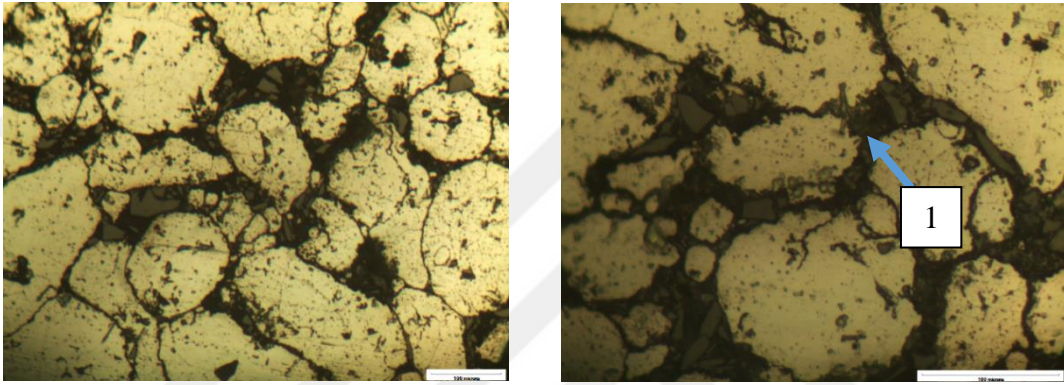


Şekil 7.10. SiC10-NG0.50 deney numunesi mikroyapı görüntüleri

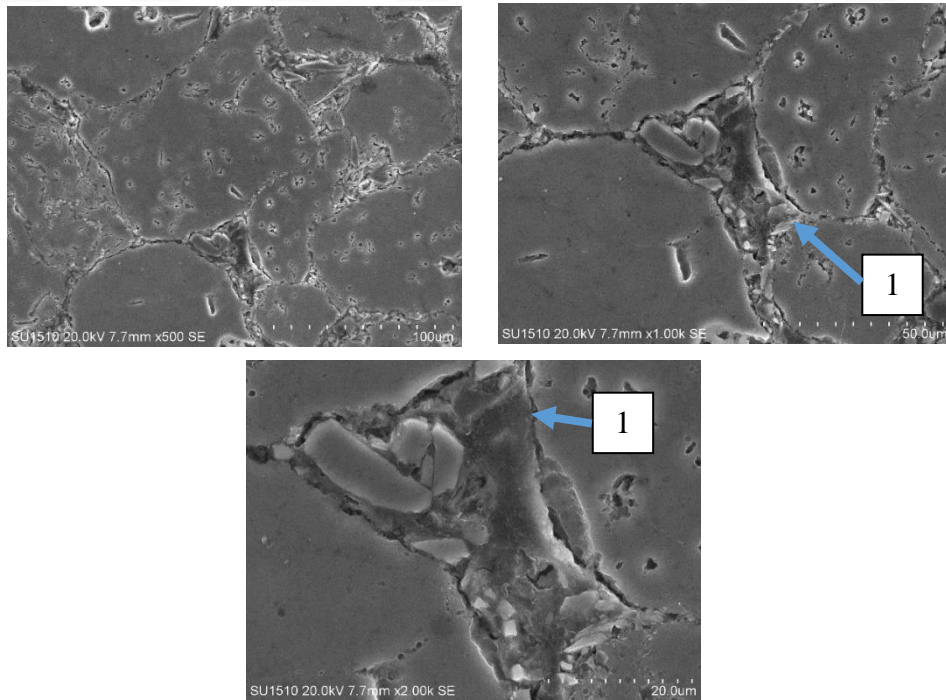


Şekil 7.11. SiC10-NG0.50 deney numunesi SEM görüntüleri

Şekil 7.12’de SiC10-NG1, MMK Numunesinin mikro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 7.13’de ise SEM görüntüsü yer almaktadır. Şekil 7.12’ de yer alan optik mikro yapı görüntüsü incelendiğinde, hem SiC hem de NGP takviye parçacıklarının homojen bir şekilde tane ve tane sınırlarına yakın bölgelerde yer aldığı görülebilmektedir. Özellikle koyu grimsi renkte ve keskin köşeli-poligonal şekil morfolojilerinde SiC parçacıkları dağılım sergilemektedir. Bu durumun yanı sıra tane sınırlarında ve SiC parçacıklarının komşuluğunda, koyu siyah görünümünde yer alan NGP parçacıklarının yoğun bir şekilde kümelendiği tespit edilmiştir (1 numaralı bölge).

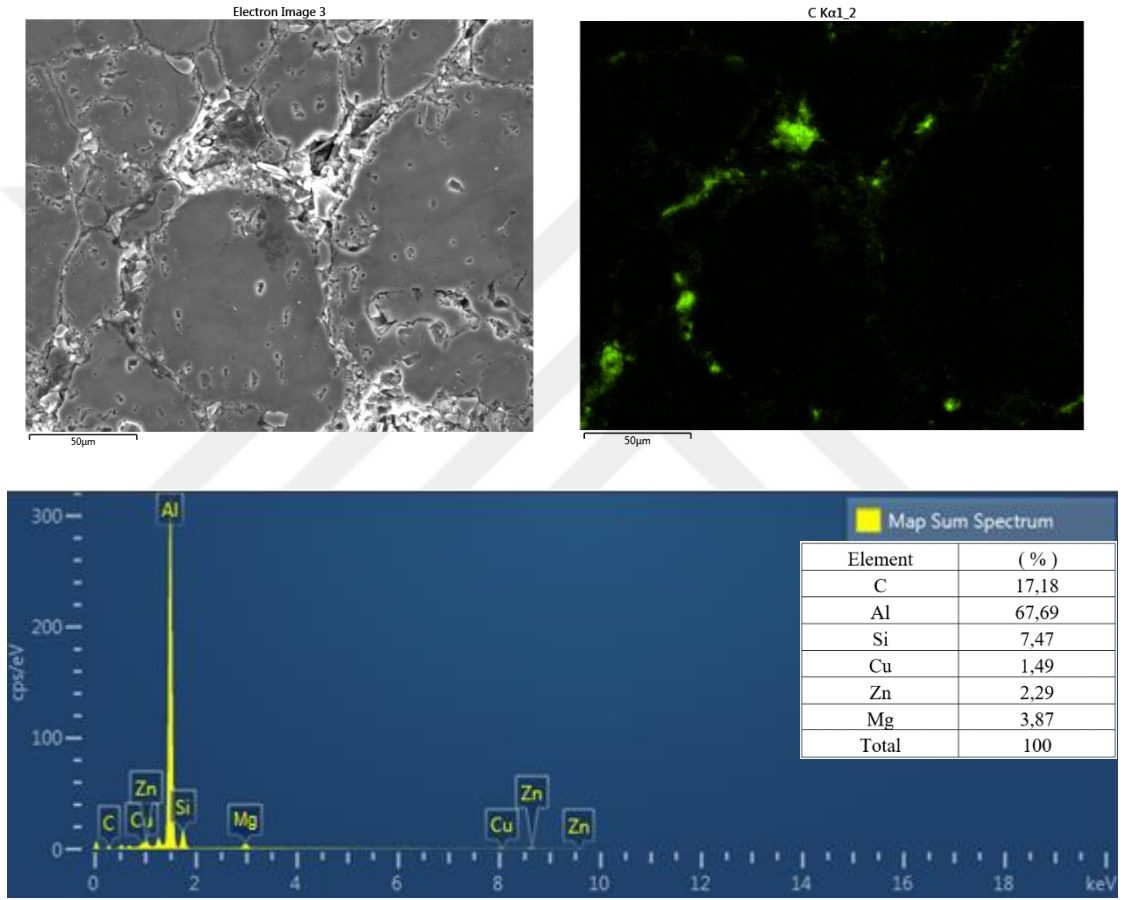


Şekil 7.12.SiC10-NG1 deney numunesi mikroyapı görüntüleri

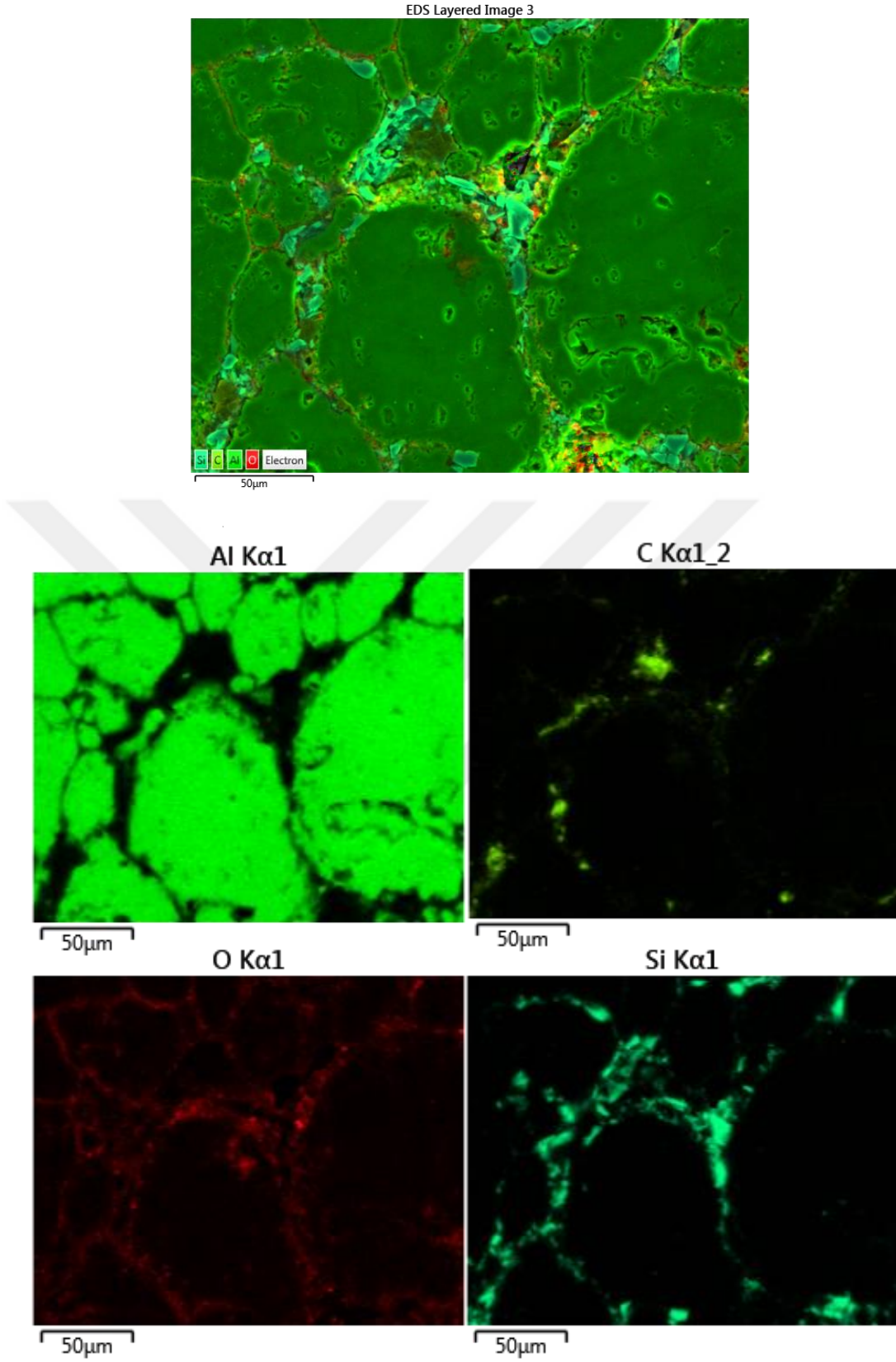


Şekil 7.13.SiC10-NG1 deney numunesi SEM görüntüleri

Şekil7.14’de EDS analizi yer almaktadır. Şekil7.15’de ise elementel dağılımı haritalaması yer almaktadır. EDS analizi yapılan MMK’ nin ağırlıkça dağılımı, %89,5 AA7020, %10 SiC ve %0,50 Nano grafen (SiC10-NG0.5) şeklindedir. Şekil 7.14’ de yapılan genel EDS analiz çalışması AA 7020 alaşımı içerisindeki genel alaşım elementleri ve kompozit bünyedeki takviye elemanları içeriğine bağlı olarak elde edilmiştir (Al, Zn, Cu, Mg, Si, C). Şekil 7.15 elementel haritalamada SiC toz parçacıklarının uç kısımlarında, NGP’lerin yığılma ile kümelendiği tespit edilmiştir.



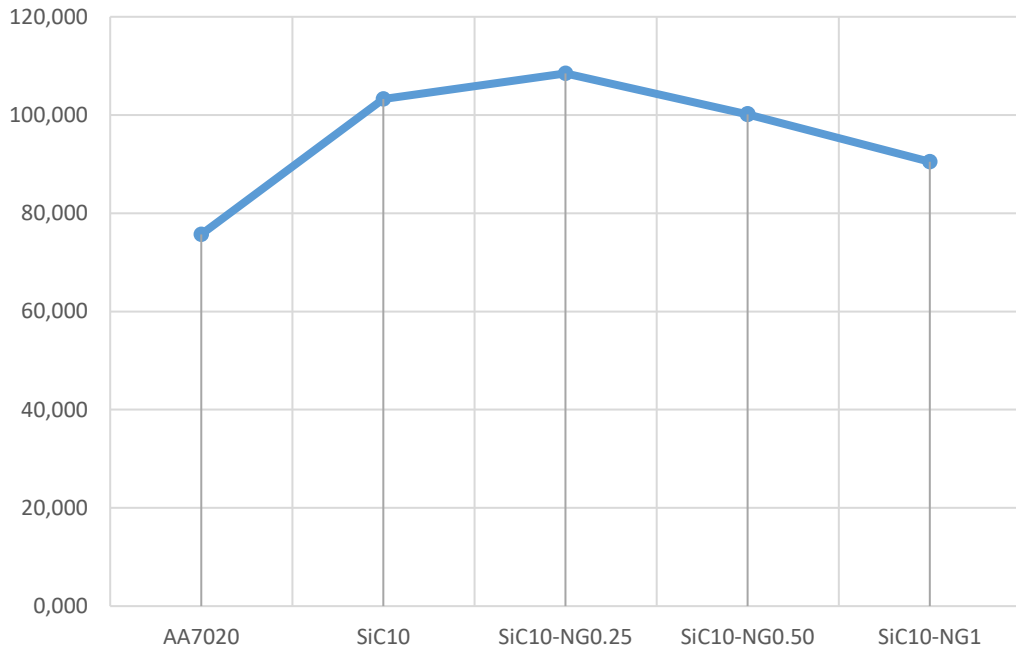
Şekil 7.14.SiC10-NG0.5 deney numunesi genel EDS analizi



Şekil 7.15. SiC10-NG0.5 deney numunesi genel EDS analizi ve haritalama

#### 7.4. Sertlik Sonuçları

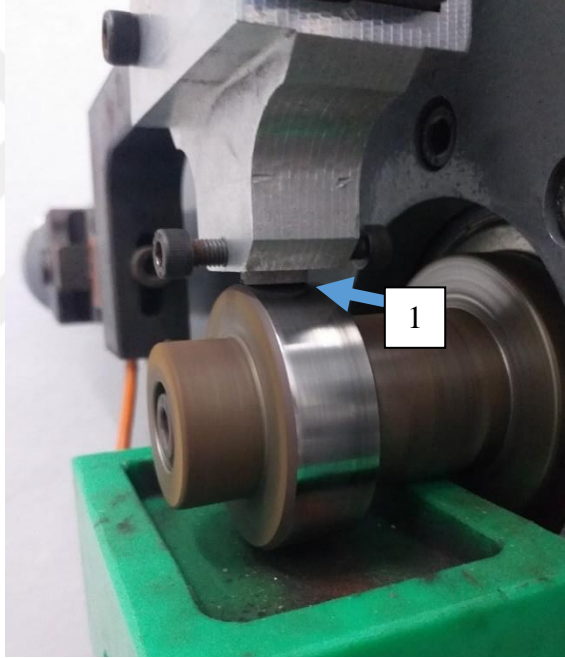
Takviye olmadan üretilen AA 7020 ve takviyeli kompozit-hibrit deney numunelerine mikro yapı incelemeleri sonrası sertlik ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.16'da deney numunelerinin sertlik değerleri yer almaktadır. Her deney numunesinden 5 farklı yerden sertlik alınmıştır ve aritmetik ortalamalarına yer verilmiştir. Sertlik ölçümleri Brinel Sertlik ölçümü ile yapılmıştır. Saf AA7020 numunesinin sertlik değeri 75,7 HBN olarak tespit edilmiştir. Ancak Takviye fazı olarak SiC eklendiğinde ise sertlik değerinde %27,587 artış ile 103,287 HBN olarak SiC10 numunesinde tespit edilmiştir. Bunun sebebi takviye fazındaki SiC sertlik değerinin yüksek olmasıdır. %0,25 NGP takviyeli SiC10-NG0.25 numunesinden sertlik değerinde ise SiC10 numunesine kıyasla %5,18 artış sonrası en yüksek sertlik değeri gözlemlenmiştir. %0,5 NGP takviyeli SiC10-NG0.5 numunesinde ise %8,32 sertlik azalması ile 100,47 HBN ölçülmüştür. ve %1 NGP takviyeli SiC10-NG1 numunesinde %9,64 sertlik azalması meydana gelmiştir. Sertlik değeri 90,498 HBN olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre NGP miktarı arttıkça MMK yapısında sertlik değerinde ciddi oranda sertlik artışı meydana gelmiş ve mekanik özellik de iyileştirme meydana getirmiştir. Ancak belirli bir orandan sonra yapıya eklenen NGP'nin sertlik değerinin azalttığı tespit edilmiştir [64].



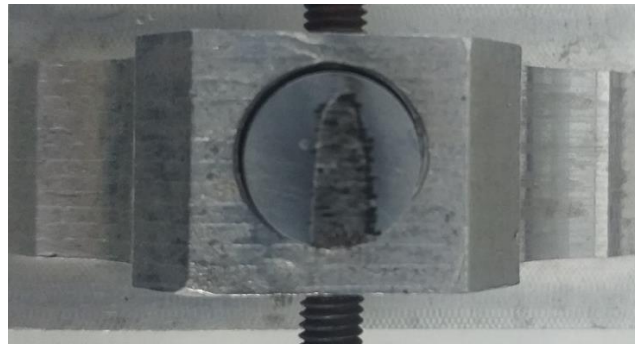
Şekil 7.16. Ortalama sertlik değeri ölçümleri

### 7.5. Aşınma Sonuçları

Şekil7.17’de deney numunelerinin 25N Yük altında 0,5m/s sabit hız altında 10 dakika süre boyunca 0-300, 300-600 ve 600-900 metre olmak üzere kayma mesafelerinde aşınma testine tabii tutulmuştur. Aşınma testi Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik fakültesi malzeme laboratuvarında TURKYUS marka özel tasarım aşınma cihazı ile yapılmıştır. Şekil 7.17’de aşınma sırasında deney numunesinde elde edilen görüntü yer almaktadır. Şekil7.18’de ise deney numunesinin aşınma yüzeyi yer almaktadır. Her aşınma aralığında hassas terazi ile numunelerin ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Aşınma testinde olan (1 numaralı bölge) deney numunesi.

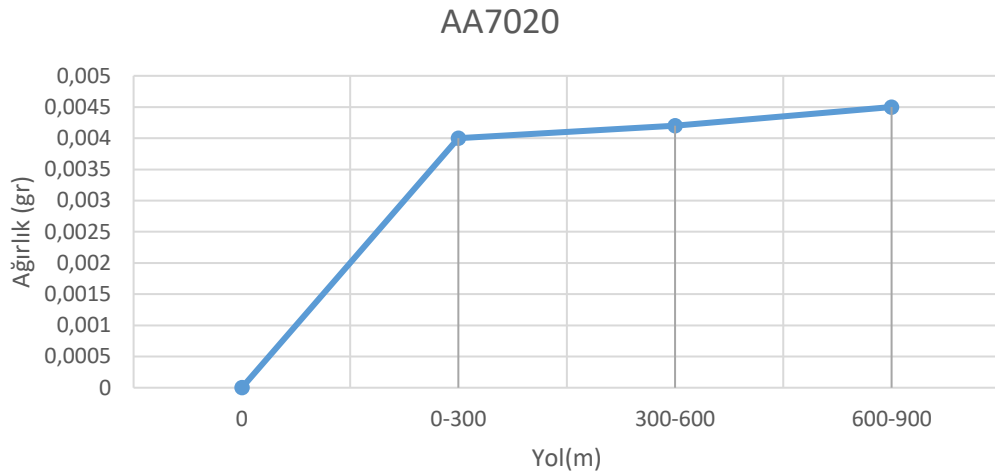


Şekil 7.17. Aşınma testi sırasında görsel

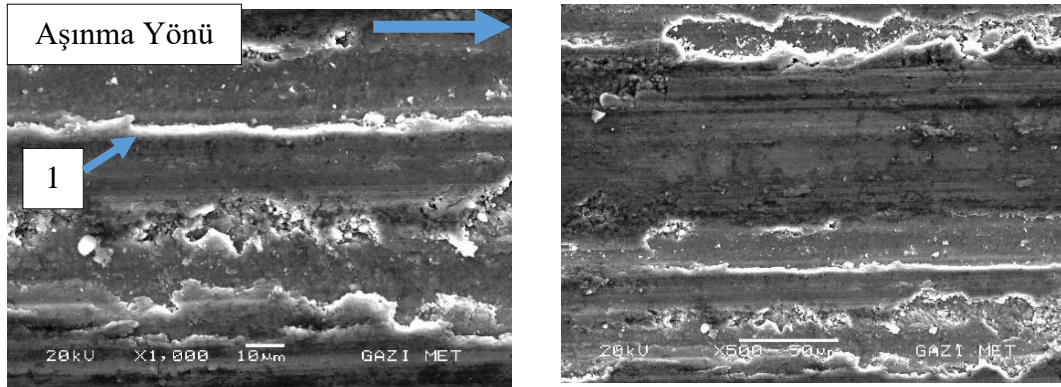


Şekil 7.18. Aşınma yüzeyi

Bir numaralı takviyesiz AA7020 deney numunesine ait ağırlık kaybına Şekil 7.19’da yer verilmiştir. 0-300 metre elde edilen sonuçlara göre 0-300 metre aralığında, aşınmanın çok fazla olduğu tespit edilmiştir. Diğer aralıklarda aşınmadaki ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiş ve 600-900 metre aralığında ise ağırlık kaybının çok daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise aşınma sırasındaki sürtünme ile oluşan ısının aşınma direncine katkıda bulunduğu şekilde tespit edilmiştir. Şekil 7.20’de aşınma yönüne ait SEM görüntüsü yer almaktadır. Aşınma çizgisi net bir şekilde görülmektedir (1 numaralı bölge). 0-900 metre aralığında numunedeki toplam ağırlık kaybı 0,0127 g olarak ölçülmüştür.

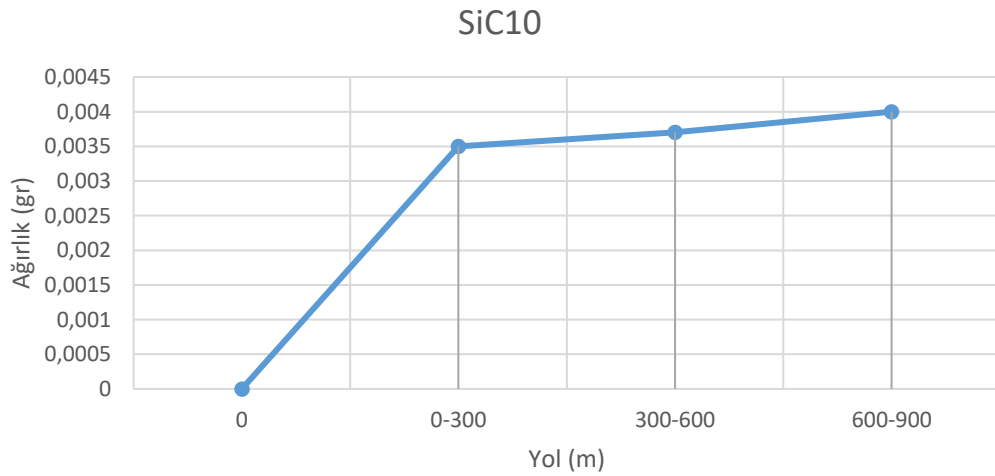


**Şekil 7.19.**AA7020 numunesinin ağırlık kaybı

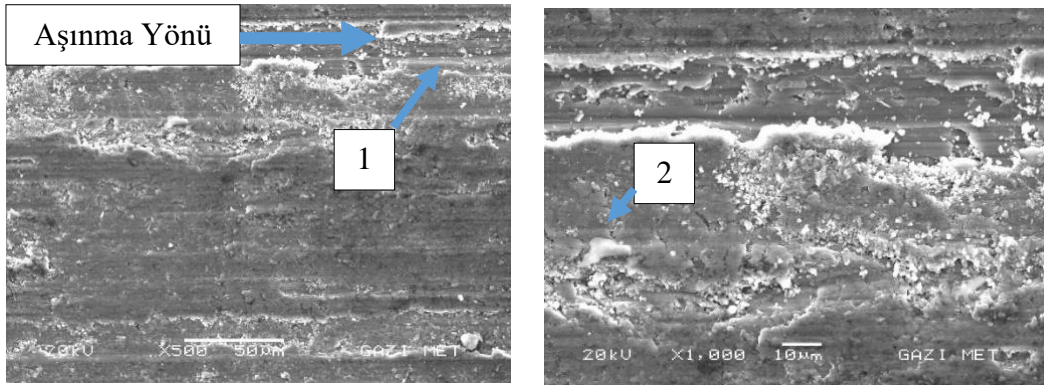


**Şekil 7.20.**AA7020 numunesinin SEM görüntüleri

SiC10 deney numunesine ait ağırlık kaybı Şekil7.21’de yer verilmiştir. Elde edilen verilere göre saf AA7020 numunesine göre daha az aşınma göstermiş. 0-300 ve 300-600 metre aralıklarında ağırlık kaybının sabit seyrettiği gözlemlenmiştir. 600-900 metre aralığında ağırlık kaybında, %7,5 bir artış ile 0,004 gram tespit edilmiştir. Şekil 7.22’de aşınma yönüne ait SEM görüntüsü yer almaktadır. Aşınma çizgisi net bir şekilde görülmektedir (1 numaralı bölge). Aşınma etkisi ile kopan SiC takviye elemanı net bir şekilde görülmektedir (2 numaralı bölge) 0-900 metre aralığında numunedeki toplam ağırlık kaybı 0,0112 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.21.SiC10 numunesinin ağırlık kaybı



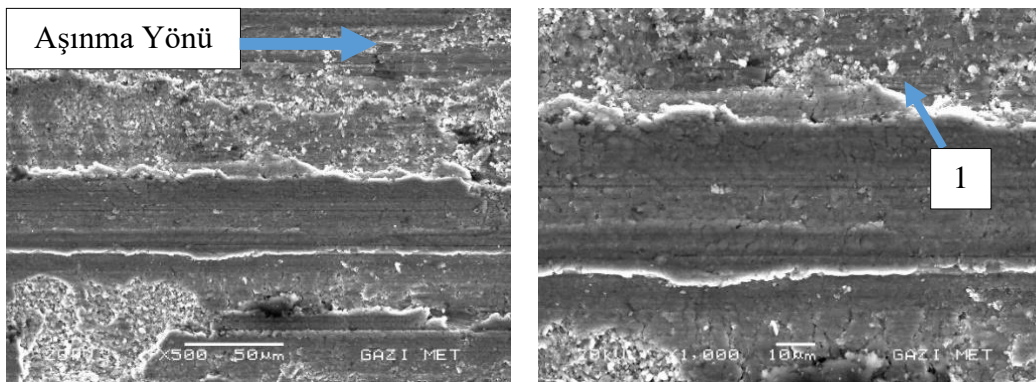
Şekil 7.22.SiC10 numunesinin SEM görüntüleri



SiC10-NG0.25 numaralı deney numunesine ait ağırlık kaybı Şekil 7.23’de yer verilmiştir. Elde edilen verilere göre aşınma dayanımında ciddi oranda artış gözlemlenmiştir. SiC10 deney numunesindeki SiC takviye fazının aşınma dayanımının olumsuz etkisini, kompozit yapıya eklenen NGP’nin düşürdüğü gözlemlenmiştir. Hatta saf AA7020 numunesine kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. 0-300 metre aralığında ilk iki numune ile neredeyse aynı sonuçlar elde edilmiş ve ağırlıkta 0,0030 g kayıp tespit edilmiştir. 300-600 metre aralığında ise, % 13,3 ağırlık kaybı azalması ile ciddi bir aşınma dayanımı olduğu tespit edilmiş ve hassas tartım neticesinde 0,0017 g kayıp tespit edilmiştir. Şekil 7.24’de aşınma yönüne ait SEM görüntüsü yer almaktadır. Kopan SiC parçası net bir şekilde gözlemlenmektedir (1 numaralı bölge). 0-900 metre aralığında numunedeki toplam ağırlık kaybı 0,0062 g olarak ölçülmüştür.

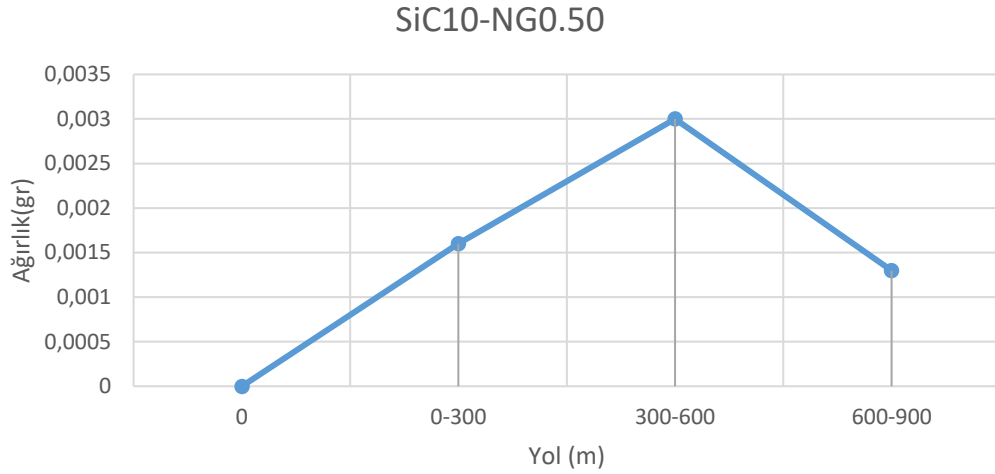


Şekil 7.23.SiC10-NG0.25 numunesinin ağırlık kaybı

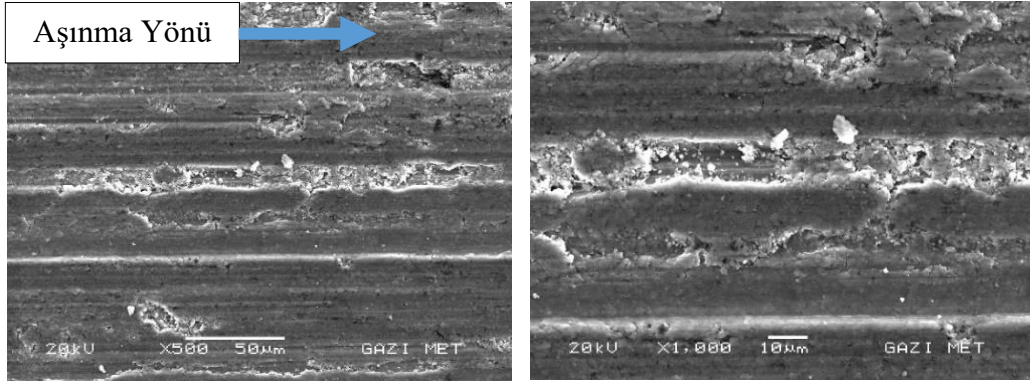


Şekil 7.24.SiC10-NG0.25 numunesinin SEM görüntüleri

SiC10-NG0.50 deney numunesine ait ağırlık kaybı Şekil7.25’de yer verilmiştir. Elde edilen verilere göre ağırlıkça NGP oranının artması aşınma dayanımında artış sağlamıştır. 0-300 metre aralığında ilk üç numuneye göre daha az kayıp yaşanmıştır.0-300 metre aralığında ise, ilk üç numuneye göre ağırlık kaybında %48 oranında azalma tespit edilmiştir. Diğer testler ile benzerlik göstererek 600-900metre aralığında en az ağırlık kaybı olmuştur. Şekil 7.26’da aşınma yönüne ait SEM görüntüsü yer almaktadır.0-900 metre aralığında numunedeki toplam ağırlık kaybı 0,0059 g olarak ölçülmüştür.

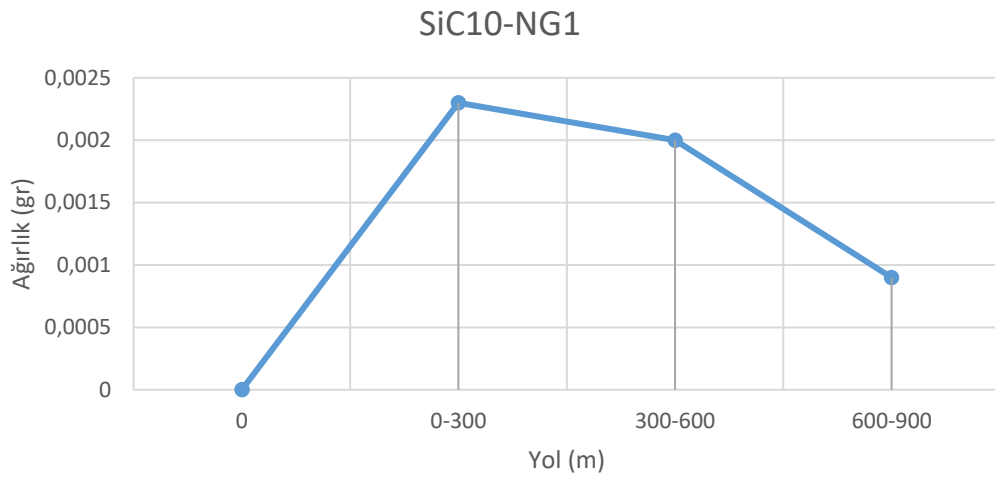


Şekil 7.25.SiC10-NG0.50 numunesinin ağırlık kaybı

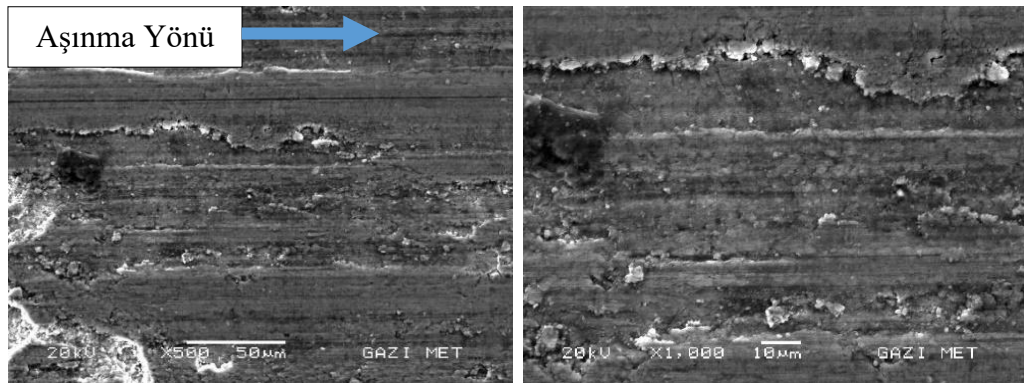


Şekil 7.26.SiC10-NG0.50 numunesinin SEM görüntüleri

SiC10-NG1 deney numunesine ait ağırlık kaybı Şekil 7.27’de yer verilmiştir. Elde edilen verilere göre ağırlıkça NGP oranının artması aşınma dayanımında artış sağlamıştır. 0-300 metre aralığında tüm deney numunelerine göre yüksek miktarda ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. 300-600 metre aralığında ağırlık kaybında azalması 0,002g ölçülmüş ve genel eğilime uygun bir grafik oluşmuştur. 600-900 metre aralığında tahmin edilebilir şekilde 0,0009 g ile en az ağırlık kaybı yaşanmıştır. Şekil 7.28’de aşınma yönüne ait SEM görüntüsü yer almaktadır. 0-900 metre aralığında numunedeki toplam ağırlık kaybı 0,0052g olarak ölçülmüştür.

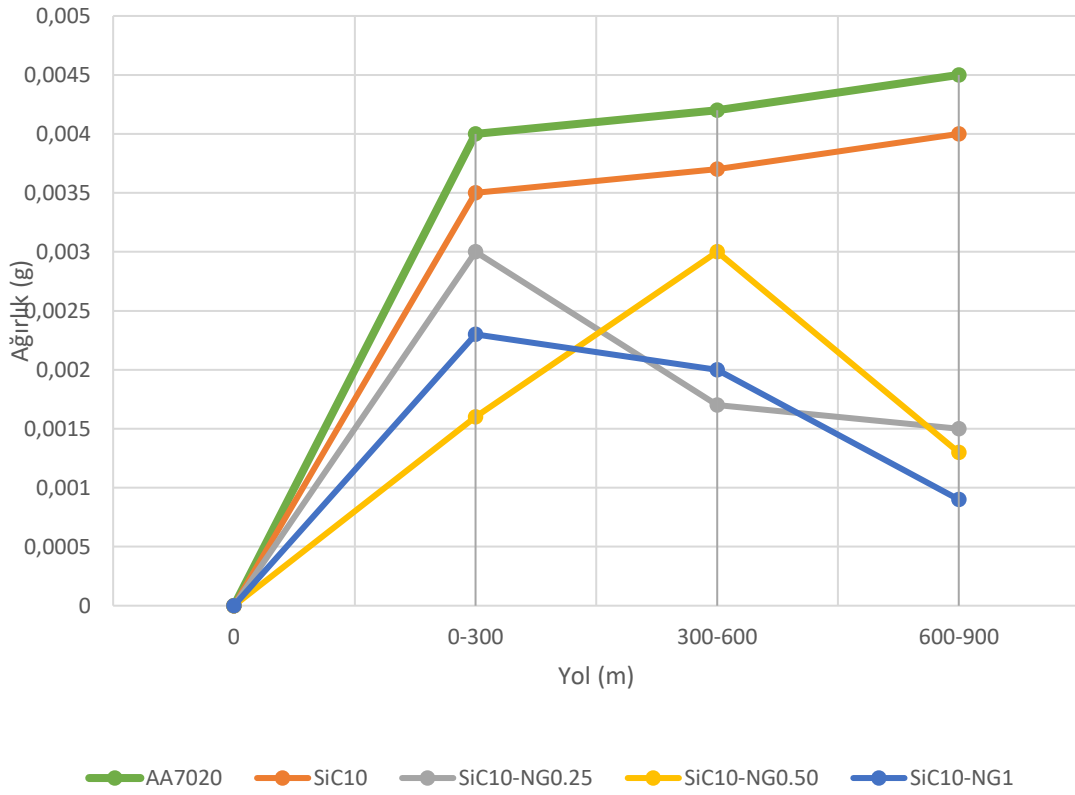


**Şekil 7.27.**SiC10-NG1 numunesinin ağırlık kaybı



**Şekil 7.28.**SiC10-NG1 numunesinin SEM görüntüleri

## Genel Ağırlık Kaybı



Şekil 7.29. AA7020, SiC10, SiC10-NG0.25, SiC10-NG-0.50, SiC10-NG1 Deney numunelerinin ortak ağırlık kaybı

Genel aşınma grafiği Şekil 7.29 incelendiğinde tüm deney numunelerinde 600-900 metre aralığında minimum ağırlık kaybı olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak ağırlık kaybında her aralıkta azalma eğilimi gözlemlenmiştir. En iyi aşınma dayanımını SiC10-NG1 numunesinin sağlamıştır. Bunun nedeni ise artan nano grafenin katı yağlayıcı özelliğini göstermesidir [65]. AA7020 numunesinde ise toplam ağırlık kaybının fazla olmasının nedeni ise takviyesiz yapısında olmasıdır.

## 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 8.1. Sonuçlar

Toz metalürjisi yöntemi ile AA7020 metal matrisli, SiC ve nano grafen takviyeli olarak üretilen kompozit malzemelerini üzerinden elde edilen deneysel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- a. Takviyesiz AA 7020 malzemesine kıyasla Kompozit malzemelerin sinterleme sonrası yoğunluklarında azalma meydana gelmiştir. Özellikle ağırlıkça SiC oranı arttıkça yoğunluğun ciddi oranda düştüğü tespit edilmiştir. En düşük yoğunluk ölçümü  $2,5945 \text{ g/cm}^3$  ile SiC15-NG1 deney numunesinde tespit edilmiştir.
- b. Nispi yoğunluk değeri en yüksek olan deney numunesi, %98,841 ile Saf AA7020, en düşük değer ise %96,03 ile SiC15-NG1 numunesinden elde edilmiştir.
- c. Mikro yapısal karakterizasyon açısından artan takviye oranlarına bağlı olarak parçacıkların metal matris yapısı üzerinde homojen dağılım sergiledikleri tespit edilmiştir.
- d. Hem SiC hem de NGP takviye parçacıklarının homojen bir şekilde tane ve tane sınırlarına yakın bölgelerde yer aldığı tespit edilmiştir.
- e. Özellikle koyu grimsi renkte ve keskin köşeli-poligonal şekil morfolojilerinde SiC parçacıkları dağılım sergilemektedir. Bu durumun yanı sıra tane sınırlarında ve SiC parçacıklarının komşuluğunda, koyu siyah görünümünde yer alan NGP parçacıklarının yoğun bir şekilde kümелendiği tespit edilmiştir.
- f. Mikro yapı EDS analizi incelendiği elde edilen sonuçlara göre, matris yapısı ve takviye elemanlarını tanımlar nitelik de olduğu görülmüştür.

- g. En yüksek sertlik değeri 108,746 HBN değeri SiC10-NG0.25 deney numunesinde (%89,75 AA7020, %10 SiC ve %0,25 NGR) ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise takviyesiz AA7020 malzemesinde 75,7 HBN olarak ölçülmüştür.
- h. Yapıya eklenen seramik fazı ile sertlik değerinde artma meydana gelmiştir. Ağırlıkça NGP oranı %0,25 olduğunda sertlik değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Diğer %0,5 ve %1 NGR oranlarında sertlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir [64].
- i. Aşınma testlerinde yapıda NGR oranı arttıkça ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiştir. 0-300, 300-600, 600-900 metre aralığında yapılan tüm testlerde en az ağırlık kayıpları 600-900 metre aralığında olduğu tespit edilmiştir.
- j. En fazla ağırlık kaybı 0,0127 g ile takviyesi AA7020 alaşımında meydana geldiği tespit edilmiştir.
- k. En az ağırlık kaybı 0,0052g ile SiC10-NG1 deney numunesinde (%89 AA7020, %10 SiC ve %1 NGR) olduğu tespit edilmiştir.
- l. Takviye fazındaki SiC aşınma esnasında yüzeyden kopma ve yırtılma ile plastik deformasyona sebep olmuştur. Ancak yapıya eklenen NGR takviyesinin yağlayıcı etkisi ile aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir [65].

## 8.2. Öneriler

AA7020 matris yapısı ile elde edilen kompozit yapılardan elde edilen sonuçlar neticesinde, daha sonrasında yapılacak olan deneysel çalışmalara yol göstermesi amacıyla aşağıda yer alan konular incelenebilir;

- a) SiC seramik takviyesi yerine aynı parametrelerde farklı seramik takviyeler ile aynı parametre değerleri ile deneysel çalışmalar yapılabilir.
- b) Kapalı atmosfer koşullarında, sıcak presleme işlemi ile elde edilen veriler incelenebilir.
- c) Matris yapısına eklenen ağırlıkça NGR oranı sabit tutulup, SiC seramik takviyesi ağırlıkça azaltılabilir.
- d) AA7020 matris yapısını nano boyutta elde edilerek, aynı parametrelerde çalışma yapılabilir.
- e) AA7020 matris yapısının yerine farklı AA70XX serisi alaşımları kullanılabilir.
- f) SiC seramik takviyesinin yerine farklı seramik takviyeleri kullanılabilir.
- g) NGR yerine başka katı yağlayıcılar kullanılabilir.
- h) NGR ile birlikte bir başka nano boyutta katı yağlayıcı birlikte kullanılabilir.
- i) SiC seramik takviyesi ile birlikte bir başka seramik takviyesi birlikte kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Gürbüz, M., Gençoğlu, O., Durmuş, A., Kolbakır, F., Pekşen, C., Üreyen, M.E., Kopal, A.S. ve Doğan, A. (2010). Kompozit Malzemeler ve Nano Boyutlu Antibakteriyel Seramik Toz Katkılı Kompozitlerin Havacılık Sektöründe Kullanımı, III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 16-18 Eylül, Eskişehir.
- [2] Şahin, İ. (2014). Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesi konusunda yapılan çalışmaların incelenmesi. Mühendis ve Makina Dergisi, 55:649, 9-16.
- [3] Kurşun, T. (2011). Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oluşumunun önlenmesi ve sinerjik kontrollü darbeli MIG (GMAW-P) kaynak yöntemi. Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi, 10:1, 86-98.
- [4] Kılıç E. F. (2007). Alüminyum Alaşımli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, Ankara, Y. Lisans Tezi, Eylül.
- [5] Yavuz N., Güner R, (2002). Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağında Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1.
- [6] Dr. M.Aydın, Dr. M.Gavas, Dr. M. Yaşar ve Dr. Y. Altunpak, (2012). Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri Kitabı, Sayfa 231, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- [7] Yılmaz R., Özyürek D. (2009). Toz Metalürjisi İle Üretilen Fe-Cu-C Esaslı Malzemelerin Aşınma Özellikleri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13–15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- [8] Baksan B., Gürler R., Toz Metalürjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi, Metalürji Enstitüsü, Eskişehir.
- [9] Çavdar, U. (2005). Demir Esaslı Sinter Metallerine Yapılabilecek Isıl İşlemlerin Belirlenmesi ve Geliştirilmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 115 s.
- [10] Öztürk, S., İcin, K. (2015). Toz Metalürjisi Deneyi Laboratuvar Föyü, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 10s
- [11] C. Nazik, (2013). Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 07-2013.
- [12] İ. Aritman, (2014). Soğuk izostatik presleme ile üretilen Al/SiC p metal matrisli kompozitlerde faktör etkileşimlerinin mekanik özelliklere etkisi ve karakterizasyon çalışmaları' Yüksek Lisans Tezi Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014



- [13] Degirmenciođlu S. D., (2005). Akımsız Nikel Kaplamanın Demir Esaslı T/M Malzemelerde Aşınma Dayanımına Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara,2005(Yüksek Lisans Tezi)
- [14] German, R.M. (2007). Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri (Çev. N. Durlu, S. Sarıtaş, M. Türker). Türk Toz Metalürjisi Derneđi Yayınları, Ankara
- [15] Ayata, A. (2014). Toz metal alüminyum malzemelerin mikro dalga enerjisi ile sintirlene bilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 86, Ankara.
- [16] Koçanaoğulları, S. (2010). Demir esaslı toz metalürjisiyle üretilmiş parçalarda alüminyum kaplamanın yüzey özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 87, Manisa.
- [17] Babayev, Y. (2007). Bir kompresör gövdesi imalatının toz metalürjisi ve difüzyon kaynağı yöntemleri uygulanarak optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, 127, İzmir.
- [18] Şahin, Y. (2006). Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayınevi, 2. Baskı, Ankara.
- [19] Pul, M. (2010). Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, 210, Ankara. Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile.
- [20] Ekici, E. (2012). Alüminyum matrisli B4C takviyeli ve grafit katkılı kompozitlerin).
- [21] Erdođan, M. (2005). Çelik takviyeli alüminyum kompozit üretimi ve mekanik).
- [22] Anonim (2004). Alüminyum Raporu. Retrieved from
- [23] Anonim (2017). <http://www.alcircle.com> (Erişim tarihi: 25.12.2018)
- [24] Kılıç, C. (2008). Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg3/SiC Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 115, Edirne.
- [25] Öztop, B. (2017). Atık Alüminyum Kullanarak Grafen ve Silisyum Nitrür Takviyeli Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, Samsun
- [26] Özsarı, A., R., B. (2018). Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B4C ve SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi, İıyapı, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- [27] Anonim (2013). <https://www.accuratus.com/silicar.html> (Erişim tarihi: V. Ş ahin Ekinci,2007, Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve.03.2019
- [28] Doğan, Ö., H. (2014). Grafit oksitin elektrokimyasal indirgenmesi ile grafen ve metal-grafen kompozit sentezi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 233, Erzurum.
- [29] Şenel, M. C., Gürbüz, M. ve Koç, E. 20V. Ş ahin Ekinci, (2007). Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler. Mühendis ve Makine, 56:669, M. Can Şenel, M. Gürbüz, E. Koç (2015) Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil-47.
- [30] Cilasun, N., S. (2013). Karıştırmalı Döküm Yöntemi ile SiC Takviyeli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Kırıkkale.
- [31] Aslan, A. (2014). Atık Metal Talaşlarının Geri Dönüştürülmesiyle Metal Matris Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 119, Konya.
- [32] İ. Şimşek, (2017). Toz metalurjisi ile üretilen titanyum alaşımı biyomalzemelerin korozyon ve aşınma davranışlarının incelenmesi" Doktora Tezi Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri.
- [33] H. Arık, P. Semerci, G. Kırmızı (2017). ‘Sıcak Presle me ile Alüminyum Matrisli ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- [34] L. Esatoğlu, (2018) Elyaf takviyeli PPS kompozitlerinin sürtünme ve aşınma karakterizasyonu.
- [35] A. Sönmez, (2017) ‘Alüminyum esaslı B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemenin aşınma
- [36] H. Ay, (2014) ‘Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımına Ti ve B<sub>4</sub>C
- [37] İ. Öztürk Yılmaz, (2012), Otomotiv sac şekillendirme kalıpların da kullanılan malzemeler.
- [38] D. Shaik, (2021), Tribological behavior of friction stir processed AA6061 aluminium alloy.
- [39] M, Singh, (2021), A review of the mechanical performance of nanoparticles reinforced aluminium matrix nanocomposites.
- [40] H. Liao, (2021), Hybrid reinforced aluminum matrix composites fabricated by selective laser melting

- [41] P. D. Srivivas, (2018), Role Of Fabrication Route On The Mechanical And Tribological Behavior Of Aluminum Metal Matrix Composites – A Review
- [42] P. D. Srivivas, (2020) , Tribological characterization of hybrid aluminum composite under boundary lubricating sliding conditions
- [43] A. K. Gajakosh, (2020), Mechanical, tribological and theological studies on hybrid aluminium matrix composite reinforced with silicon carbide and reduced graphene oxide
- [44] P. Kumar, (2020), Dual matrix and reinforcement particle size (SPS and DPS) composites: influence on tribological behavior of particulate aluminum-SiC-Gr metal matrix composites
- [45] P.P. Ikubanni, (2021), Tribological and physical properties of hybrid reinforced aluminium matrix composites
- [46] P. Paulraj, (2020), The tribological behavior of hybrid aluminum alloy nanocomposites at high temperature role of nanoparticles
- [47] J. Zhang, (2020), Microstructural evolution of hybrid aluminum matrix composites reinforced with SiC nanoparticles and graphene/graphite prepared by powder metallurgy
- [48] M. O. Bodunrin, (2015), Aluminium matrix hybrid composites: a review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics
- [49] H. Karakoc, (2019), Wear and mechanical properties of Al6061/SiC/B4C hybrid composites produced with powder metallurgy
- [50] P. Rasagopal, (2020), A study surface integrity of aluminum hybrid composites during milling operation
- [51] A. Aabid, (2022), Optimization of dry sliding wear behavior of aluminium-based hybrid MMC's using experimental and DOE methods
- [52] A. M. Sankhla, (2022), Effect of mixing method and particle size on hardness and compressive strength of aluminium based metal matrix composite prepared through powder metallurgy route
- [53] K. C. Nayak, (2022), Mechanical and physical characterization of powder metallurgy based aluminium metal matrix hybrid composite
- [54] K. Maclin John Vasanth, (2022), Experimental investigation of mechanical and tribological properties of aluminium metal matrix composites fabricated by powder metallurgy route – a review
- [55] M. U. Zaki, (2022), Impact of addition of manganese and boron carbide on aluminium metal matrix composites using powder metallurgy process

- [56] Norul Amierah Binti Nor Zamani, (2020), Tribo-mechanical characterization of self-lubricating aluminium based hybrid metal matrix composite fabricated via powder metallurgy
- [57] G. Straffelini, "Friction & Wear," Springer International Publishing, Switzerland, 2015.
- [58] I. İstif "Prediction of Wear Behavior of Aluminum Alloy Reinforced with Carbon Nanotubes Using Nonlinear Identification", SAE International - Technical Paper, vol. 2014, no. 947, pp.1-6, 2014.
- [59] D.H. Buckley, "Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication," Elsevier, Amsterdam, 1981.
- [60] G.W.Stachowiak and A.W.Batchelor, "Engineering Tribology," Elsevier, Amsterdam, 1993.
- [61] H. Gökmeşe, (2010). Gaz atomizasyonu yöntemiyle AA2014 alaşım tozunun üretilmesi " Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri, Sayfa 99.
- [62] H. Gökmeşe, (2010). Gaz atomizasyonu yöntemiyle AA2014 alaşım tozunun üretilmesi " Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri, Sayfa 100.
- [63] H. B. Karadağ, (2012). Çelik/Bronz talaş kompozitinin üretimi ve mekanik özellikleri " Doktora Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri, Sayfa 94.
- [64] Ö. Yılmaz, (2019). Atık alüminyum içecek kutuları kullanarak grafen/sic takviyeli kompozitlerin üretimi ve mekanik karakterizasyonu " Yüksek Lisans Tezi On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri, Sayfa 116.
- [65] Y Akkaya, (2019). Grafen katkılı alüminyum matrisli kompozitlerin kuru sürtünmeli aşınma özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi " Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri, Sayfa 50.