



**T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA7075- Al₂O₃ VE SiC PARÇACIK TAKVİYELİ HİBRİT/ KOMPOZİT
MALZEMELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN
İNCELENMESİ**

**Zübeyde ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı**

**MAYIS 2019
KONYA**

TEZ KABUL VE ONAYI

Zübeyde Özkan tarafından hazırlanan “AA7075-Al₂O₃ ve SiC Parçacık Takviyeli Hibrit/Kompozit Malzemelerinin Aşınma Davranışı ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi” adlı tez çalışması 03/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Bülent BOSTAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE

Üye

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 181351001 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

Zübeyde ÖZKAN

Tarih:03/05/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AA7075- Al₂O₃ VE SiC PARÇACIK TAKVİYELİ HİBRİT/ KOMPOZİT MALZEMELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Zübeyde ÖZKAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE
Doç.Dr. Uğur GÖKMEN

2019, 116

Jüri

Prof. Dr. Bülent BOSTAN
Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE
Doç. Dr. Uğur GÖKMEN
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL
Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler sonucunda kompozit malzemelerin önemi günümüzde giderek artmaktadır. Kompozit malzemeler sayesinde yüksek akma mukavemeti, yüksek elastiklik modülü, yüksek basma gerilmesi, yüksek aşınma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek sıcaklık mukavemeti gibi özelliklerinde önemli ölçüde iyileştirmeler meydana getirilmiştir. Ancak yapılan birçok çalışmada tek tip seramik malzeme takviyesi ile kompozit üretimi yapılmaktadır. Bu çalışmada iki farklı seramik malzeme takviyesi ile kompozit üretimi gerçekleştirilerek her geçen gün sürtünmeden kaynaklı aşınmadan dolayı ekonomik kayıpları azaltmak amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilmiş AA7075 metal matrisli Al₂O₃ ve SiC takviyeli hibrit/kompozit numuneler üretilmiştir. Bu kapsamda AA7075 metal matrisine ağırlıkça %5-%10 ve %15 yüzdelere sahip Al₂O₃/SiC seramik tozları ilave edilmiştir. Hazırlanan AA7075 tozları ve seramik parçacıklar üç eksenli bir karıştırıcıda 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karışım tozlar 700MPa basınçta tek yönlü soğuk preste silindir deney numuneleri şeklinde preslenmiştir. Daha sonra deney numuneleri, 600 °C'de 60 dakika boyunca argon gazı altında sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası numunelerin mikro yapı incelemeleri, sertlik, yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Pin-on-disk tipi cihaz kullanılarak, 10 N yükte 500 rpm dönüş hızında ve 1000-1500 ve 2000 metre aşınma mesafesine bağlı olarak aşınma testleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda artan seramik faz takviye miktarına göre, numunelerin sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Aşınma mesafesinin artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında ve aşınma kaybında artışın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA7075, Al₂O₃/SiC, aşınma, hibrit kompozit

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION WEAR BEHAVIOUR AND MECHANICAL PROPERTIES OF AA7075- Al₂O₃ AND SiC PARTICLE REINFORCED HYBRID / COMPOSITE MATERIALS

Zübeyde ÖZKAN

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

Advisor: Assist. Prof. Dr Hakan GÖKMEŞE
Assoc. Dr. Uğur GÖKMEN

2019,116

Jury

Prof. Dr. Bülent BOSTAN
Assist. Prof. Dr. Hakan GÖKMEŞE
Assoc. Prof. Dr. Uğur GÖKMEN
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Assist. Prof. Dr Şaban BÜLBÜL
Assist. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

As a result of developments in science and technology, the importance of composite materials is increasing. Significant improvements have been made in the properties of the composite materials such as high yield strength, high elastic modulus, high compressive stress, high wear resistance, low thermal expansion coefficient and high temperature strength. However, in many studies, composite production is performed with one type of ceramic material reinforcement. In this study, it is aimed to reduce the economic losses due to friction-induced wear by performing composite production with two different ceramic material reinforcement.

In this thesis, AA7075 metal matrix fabricated by gas atomization method Al₂O₃-SiC reinforced hybrid / composite samples were produced. In this context, Al₂O₃ / SiC ceramic powders with 5% -10% and 15% wt were added to the AA7075 metal matrix. Prepared AA7075 powders and ceramic particles were mixed in a three-dimension mixer for 30 minutes. The mixture powders were pressed in the form of cylinder test specimens in a one-way cold press at 700MPa pressure. The test specimens were then sintered at 600 ° C for 60 minutes under argon gas flow. Microstructure, hardness and density measurements to the samples after sintering were applied. Using a pin-on test disc-type device, wear tests were carried out at a rotation speed of 500 rpm at 10 N load and depending on the wear distance of 1000-1500 and 2000 meters.

As a result of the experiments, the hardness values of the samples were increased depending on the increasing amount of ceramic phase reinforcement. It was determined that there was an increase in the friction coefficient and the loss of wear regarding to the increase in the wear distance.

Keywords: AA7075, Al₂O₃/SiC, wear, hybrid composite

TEŐEKKÖRLER

Yüksek lisans tez çalışmaları süresince her türlü yardımcı esirgemeyen, tez çalışmalarımı yürütülmesinde değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulduğum kıymetli hocalarım Doktor Öğretim Üyesi Hakan GÖKMEŞE ve Doç. Dr. Uğur GÖKMEN'e sonsuz teşekkür ve şükranlarımı en içten dileklerle sunarım. Deneysel çalışmalarım ile ilgili olarak laboratuvar çalışmalarım da gerekli imkân ve kolaylıkları sağlayan başta Gazi Üniversitesine minnetlerimi sunarım. Lisans ve Yüksek lisans eğitimim boyunca burs desteklerini esirgemeyen Beyçelik Gestamp A.Ő 'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Beni bugünlere kadar getiren ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmadan her türlü desteğı veren canım babam ve anneme, her zaman moral kaynağı olan ablama teşekkürü bir borç bilirim.

Zübeyde ÖZKAN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1.Simgeler	vii
2.Kısaltmalar	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Araştırması	2
2. TOZ METALURJİSİ VE UYGULAMALARI	6
2.1. Toz Metalurjisi	6
2.2. Toz Üretim Yöntemleri	7
2.2.1. Mekanik üretim yöntemleri.....	8
2.2.2. Elektroliz ile üretim yöntemi	8
2.2.3. Kimyasal üretim yöntemi.....	9
2.2.4. Atomizasyon üretim yöntemi.....	10
2.3. TM Parça Üretimi.....	11
2.3.1. Karıştırma	12
2.3.2. Presleme	12
2.3.3. Sinterleme	14
2.4. Kompozit Malzemeler	16
2.4.1. Metal matrisli kompozitler.....	18
2.4.1.1. Metal matris kompozit olarak alüminyum	19
2.4.1.2. Metal matris kompozitlerde takviye malzemeler	24

3. AŞINMA.....	29
3.1. Aşınma Çeşitleri.....	31
3.1.1. Adhesif aşınma.....	31
3.1.2. Abrasif aşınma	32
3.1.3. Yorulma aşınması	33
3.1.4. Erozif aşınma	33
3.1.5. Öğütmeli aşınma	34
3.1.6. Oymalı aşınma	34
3.1.7. Kazımalı aşınma.....	35
3.1.8. Koroziyel aşınma.....	35
3.1.9. Termal aşınma.....	36
3.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	36
3.3. Aşınma Ölçüm Yöntemleri	36
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
4.1. Giriş.....	38
4.2. Malzemeler.....	38
4.3. Tozların Hazırlanması	38
4.4. Tozların Preslenmesi	39
4.5. Yoğunluk Ölçümleri.....	40
4.6. Sinterleme İşlemi.....	41
4.7. Metalografik İncelemeler	41
4.8. Sertlik Ölçümü	42
4.9. Aşınma Testi.....	43
4.10. Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri ve Analizleri	43
5.DENEYSEL SONUÇLAR.....	45
5.1. Yoğunluk Değişimleri	45
5.2. Mikro Yapı Sonuçları.....	48
5.3. Sertlik Değerleri	53

5.4. Kompozit Numunelerde Aşınma Davranışı	55
5.4.1. Numunelerin sürtünme katsayıları	55
5.4.2. Aşınma sonucu kayıplar	57
5.5. SEM ve EDS analiz sonuçları	60
5.6. Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri.....	75
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	82
6.1. Sonuçlar.....	82
6.2. Öneriler.....	85
KAYNAKLLAR	86
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

1.Simgeler

B ₄ C: Boryum Karbür	Si: Silisyum
SiC: Silisyum Karbür	Si ₂ O: Silisyum dioksit veya silika
Al: Alüminyum	
Cu: Bakır	
Al ₂ O ₃ : Alüminyum Oksit	
TiO ₂ : Titanyum dioksit	
Zn: Çinko	
Gr: Grafit	
W: Tungsten	
WC: Tungsten karbür	
Co: Kobalt	
WC-Co: Tungsten karbür-Kobalt	
Fe: Demir	
Cr: Krom	
Mg: Magnezyum	
Mn: Mangan	
Si ₃ N ₄ : Silisyum Nitrür	
Ti: Titanyum	
TiC: Titanyum Karbür	
Mo: Molibden	
Ni: Nikel	
C:Karbon	
MgO: Magnezyum Oksit	
Al ₄ C ₃ :Alüminyum karbür	
W/m°K: Isıl iletkenlik katsayısı	
HF: Hidroflorik asit	
HCl: Hidroklorik asit	
HNO ₃ : Nitrik asit	
H ₂ O: Su	
AlN: Alüminyum nitrür	
d: Yoğunluk (g/cm ³)	
N: Kuvvet	
Rpm: Dakikadaki devir sayısı	
HB: Brinell Sertlik Değeri	
A°: Atom çapı	
C _p : Özgül ısı JK ⁻¹ /g	
λ: Isıl İletkenlik katsayısı W K ⁻¹ /m	
ν : Poisson oran	
σ _e : Eğme Mukavemeti	
σ _b : Basma Mukavemeti	
σ _ç : Çekme Mukavemeti	
τ: kayma Gerilmesi	
K _{IC} : Kırılma Tokluğu	
E: Elastik Modül	
S: Elektriksel iletkenlik (mΩ ⁻¹ /mm ²)	

2.Kısaltmalar

T/M: Toz Metalurjisi

M.Ö.: Milattan Önce

GPa: Gigapascal

MPa: Megapascal

Dk: Dakika

TIG: Tunsten İnerit Gaz

Vb: Ve benzeri

MMK: Metal matrisli kompozitler

g: Gram

ml: Mililitre

m: Ağırlık

Vy: Yaş ağırlık

Vs: Su içerisindeki ağırlık

Km: Kilometre

M:Metre

mm: Milimetre

μ m: Mikro metre

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

Al 2014-2024: Alüminyum bakır esaslı alaşımı

Al7075: Alüminyum 7075 alaşımı

HV: Vickers Sertlik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. toz metalurji yöntemi ile üretilen ürünler	7
Şekil 2.2. partikül şekilleri ve tanımları	8
Şekil 2.3. mekanik öğütme ile toz üretiminin sematik gösterimi	8
Şekil 2.4. elektroliz üretim yönteminin şematik gösterimi	9
Şekil 2.5. kimyasal üretim yönteminin şematik gösterimi	10
Şekil 2.6. atomizasyon üretim yöntemleri	11
Şekil 2.7. tm parça üretim aşamaları	11
Şekil 2.8. presleme işleminin aşamaları; (1) işlem başlangıcı, (2) toz doldurma, (3) presleme başlangıcı, (4) preslemenin bitişi, (5) preslenmiş parçanın çıkarılması	12
Şekil 2.9. presleme kalıpları; a) tek etkili pres b) çift etkili pres	13
Şekil 2.10. izostatik presleme	14
Şekil 2.11. boyun çapı x olan iki küresel partikül için sinterleme profili	15
Şekil 2.12. temas halindeki iki partikül	16
Şekil 2.13. alüminyumun üretim aşamaları	20
Şekil 2.14. alüminyum alaşımları	21
Şekil 3.1. aşınma safhaları	30
Şekil 3.2. adhesif aşınma oluşumunun şematik gösterimi	31
Şekil 3.3. adhesif aşınmada kullanılan geometriler	32
Şekil 3.4. abrasif aşınma mekanizmaları;a) iki elemanlı abrazyon, b) üç elemanlı abrazyon	32
Şekil 3.5. yorulma aşınması	33
Şekil 3.6. erozif aşınma çeşitleri	34
Şekil 3.7. korozif aşınma	35
Şekil 4.1. presica b-220a hasas terazisi	39
Şekil 4.2. turbula t2f tipi karıştırıcı	39
Şekil 4.3. deneyde kullanılan metal kalıp	39
Şekil 4.4. mse press series marka pres çift etkili pres	40
Şekil 4.5. sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı	40
Şekil 4.6. sinterleme fırını	41
Şekil 4.7. atm saphir 330:manyetik çift diskli zımpara-parlatma cihazı	42
Şekil 4.8. emco test duravision 2000	42
Şekil 4.9. pin on disk deneyinin şematik gösterimi	43
Şekil 4.10. uts t10/20 tipi triboloji cihazı	43
Şekil 4.11. leica dm 4000m: metal mikroskobu	44

Şekil 4.12. jeol jem 6060 lv tarama elektron mikroskobu (eds ünitesi mevcut).....	44
Şekil 5.1. sinterleme sonrası numunelerin % parçacık miktarına yoğunluk değerleri; a) Al ₂ O ₃ b)SiC c) Al ₂ O ₃ .SiC d)AA7075- Al ₂ O ₃ /SiC/ Al ₂ O ₃ -SiC e) farklı parçacık takviyelerine sahip hibrit/kopozit numuneler	46
Şekil 5.2. AA7075 alaşımının 100µm büyütme oranındaki optik mikroskop görüntüsü	48
Şekil 5.3. AA7075 matrisli Al ₂ O ₃ takviyeli kompozit numuneler; a) %5 b) %10 c) %15	50
Şekil 5.4. AA7075 matrisli SiC takviyeli kompozit numuneler; a) %5 b) %10 c) %15.....	51
Şekil 5.5. AA7075 matrisli Al ₂ O ₃ -SiC takviyeli hibrit kompozit numuneler; a) %5 b) %10 c) %15	52
Şekil 5.6. sinterleme sonrası numunelerin % parçacık miktarına sertlik değerleri; a) Al ₂ O ₃ b)SiC c) Al ₂ O ₃ .SiC d) AA7075/Al ₂ O ₃ /SiC/ Al ₂ O ₃ -SiC e)farklı takviye hibrit/kopozit numuneler	54
Şekil 5.7. aşınma sonucu kayıplar; a) Al ₂ O ₃ takviyeli b)SiC takviyeli c) Al ₂ O ₃ .SiC hibrit takviyeli d)farklı takviye malzemesine sahip hibrit/kopozit numuneler.....	59
Şekil 5.8. takviye malzemesiz AA7075'in farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000	61
Şekil 5.9. %5 Al ₂ O ₃ 'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000.....	61
Şekil 5.10. %10 Al ₂ O ₃ 'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000 .	62
Şekil 5.11. %15 Al ₂ O ₃ 'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000 .	62
Şekil 5.12. %5 SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000	63
Şekil 5.13. %10 SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000	63
Şekil 5.14. %15 SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000	64
Şekil 5.15. %5 Al ₂ O ₃ -SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000	64
Şekil 5.16. %10 Al ₂ O ₃ -SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b)1000	65
Şekil 5.17. %15 Al ₂ O ₃ -SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüleri; a) x500 b) x1000	65
Şekil 5.18. AA7075 alaşımının genel eds analiz sonuçları.....	66
Şekil 5.19. %5 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 1 ve 2 noktalarındaki eds analiz sonuçları.....	67
Şekil 5.20. %10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 1 noktasındaki eds analiz sonuçları	68
Şekil 5.21. %15 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 1 noktasındaki eds analizi sonuçları.....	69
Şekil 5.22. %5 SiC takviyeli kompozitin 1 noktasındaki eds analiz sonucu	70
Şekil 5.23. %10 SiC takviyeli kompozitin 1 noktasındaki eds analiz sonucu	70

Şekil 5.24. %15 SiC takviyeli kompozitin 1 noktasındaki eds sonucu.....	71
Şekil 5.25. %5 Al ₂ O ₃ -SiC'ün 1 ve 2 noktalarındaki eds sonuçları	72
Şekil 5.26. %10 Al ₂ O ₃ -SiC takviyeli hibrit kompozitin 1 ve 2 noktalarındaki eds sonuçları	73
Şekil 5.27. %15 Al ₂ O ₃ -SiC takviyeli hibrit kompozitin 1 ve 2 noktalarındaki eds sonuçları	74
Şekil 5.28. takviye malzemesiz AA7075'in aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	75
Şekil 5.29. %5 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	76
Şekil 5.30. %10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	77
Şekil 5.31. %15 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	77
Şekil 5.32. %5 SiC takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	78
Şekil 5.33. %10 SiC takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	79
Şekil 5.34. %15 SiC takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500	79
Şekil 5.35. %5 Al ₂ O ₃ /SiC takviyeli hibrit kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500.....	80
Şekil 5.36. %10 Al ₂ O ₃ /SiC takviyeli hibrit kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500.....	81
Şekil 5.37. %15 Al ₂ O ₃ /SiC takviyeli hibrit kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki sem görüntüsü; a) x250 b) x500.....	81

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. saf alüminyumun genel özellikleri.....	21
Çizelge 2.2. alüminyum alaşımları	22
Çizelge 2.3. AA7075 alaşımı ve içerisindeki elementler.....	24
Çizelge 2.4. AA7075 mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 2.5. bazı takviye malzemelerin özellikleri	25
Çizelge 2.6. Al ₂ O ₃ (alümina) özellikleri	26
Çizelge 2.7. B ₄ C bazı özellikleri.....	26
Çizelge 2.8. SiC mekanik ve kimyasal özellikleri	27
Çizelge 2.9. TiC fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
Çizelge 4.1. AA7075 alaşımının kimyasal birleşimi ve toz boyutu.....	38
Çizelge 4.2. Al ₂ O ₃ tozunun özellikleri	38
Çizelge 4.3. SiC tozunun özellikleri	38
Çizelge 5.1. hibrit/kompozit numunelerin 1000-1500-2000 metredeki sürtünme katsayıları .	56

1.GİRİŞ

Toz metalurjisi (T/M) en basit tanımıyla, ortalama tane boyutu 150 µm'den daha küçük olan, katı ve toz formundaki metal, alaşım veya seramiğin, şekli ve özellikleri önceden belirlenmiş bir forma dönüştürülme prosesidir [1].

Gelişen dünyanın değişen ihtiyaçlarını karşılamak için birçok bilim insanı tarafından farklı yöntemler ortaya çıkarılmıştır. Bunların başında ise toz metalurjisi gelmektedir. Tarih öncesi devirlerden başlayarak günümüze kadar birçok değişime ve gelişme kaydetmiştir.

Metal tozlar dünyanın birçok yerinde tarih öncesi dönemde kullanılmaya başlanmıştır. M.Ö 3000 yıllarında Mısırlılar toz metalurjisi kullanılarak demir takımlar yapmışlardır [2].

Toz metalurjisi modern çağıımıza Edison'un tungsten tozlarından bir lamba filamanı yapması ile girmiştir. 1930'larda ise semente karbürler, poroz bronz ve bakır-grafit elektrik iletkenleri olarak üretilmiştir. Günümüzde toz metalurjisi nükleer, uçak, uzay sanayi, elektrik ve manyetik gibi birçok uygulama alanlarına sahiptir [3].

İkinci Dünya Savasından sonra ise toz metalurjisi yönteminin kullanımı hız kazanmıştır. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ürünlerin % 70'i otomotiv sektöründe, %12'si makinelerinde, %5'i tarım aletlerinde ve % 13'ü ise güncel araç gereçlerin imalatında kullanılmaktadır [4].

Günümüzde ise toz metalurjisi imalat sektöründe kullanım alanını ve üretim yöntemlerinin kullanım yüzdesini hızla artırarak gelişme kaydetmektedir. Uçak endüstrisi, ileri teknoloji kompozitlerin üretimi, elektronik parçalar, kesici takımlar, sağlık alanında kullanılan implantlarda vb. üretimlerde kullanılmaktadır.

Gelişen teknoloji modern mühendislik sorunlarına farklı bir bakış açısını beraberinde getirmiştir. Geleneksel malzemeler ve üretim yöntemleri yerlerini yeni malzemelere ve alışılmamış imalat yöntemlerine bırakmışlardır. Malzeme seçimleri, malzemelerin çalışma ortamına göre tekrardan gözden geçirilmesiyle beraber bu malzemelerin üretim yöntemlerinde daha elverişli hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler, üstün özellikleri nedeniyle birçok endüstri alanında geleneksel olan malzemelerin yerlerini almaya devam etmektedirler [5].

Kompozit terimi geniş anlamda doğal veya sentetik birden fazla bileşenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzeme olarak adlandırılabilir [6]. Kompozit malzemeler tasarımda istenen özellikleri sağlayabilecek uygun yeni bir malzeme üretmek amacıyla, makro boyutta iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile üretilen yeni malzemelerdir [7]. Kompozit malzemeler matris adı verilen bir ana birleşenden ve takviye (fiber/parçacık) adı verilen birleşenlerden meydana gelir. Matris malzemeye uygulanan yükün elyaflara eşit ve

düzensiz dağılmasını sağlar ayrıca elyafı bir arada tutarak çevresel etkilerden korur. Elyaf birleşenler ise malzemeye uygulanan yükü taşır, malzemenin mukavemetini artırır [8].

Kompozit malzeme üretim çalışmaları hibrit kompozitlerin üretimi ile başka bir boyut kazanmıştır. Hibrit kompozitler; aynı kompozit içerisinde birden fazla elyaf çeşidinin kullanılmasıyla elde edilen bir kompozit çeşididir. Hibrit kompozit farklı özelliklerdeki elyafın artı yönleri bir araya getirilerek en uygun malzeme üretimi gerçekleştirilebilir [9].

Yapılan bu tez çalışmasında AA7075 matrisine ağırlıkça %5-10-15 Al_2O_3 , SiC ve Al_2O_3 -SiC takviye malzemeleri eklenerek hibrit kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin aşınma davranışları ve mekanik özelliklerin incelenmiştir.

1.1. Kaynak Araştırması

Çağlar yaptığı çalışmada, katkı malzemesi olarak silisyumu tercih etmiştir ve bor karbür-silisyum kompozitleri hacimce %5, %10, %15 yüzdelerinde silisyum katkısı içeren tabakalı kompozitler spark plazma sinterleme metoduyla 1300-1725°C sıcaklıkları arasında, vakum ortamında, 40 MPa basınç altında üretmiştir. Mikro sertlik ölçümleri sonucunda, spark plazma sinterleme tekniği ile üretilmiş tabakalı kompozit malzemelerin B_4C tabakasına ait sertlik değerlerinin Si katkılı tabakaya ait değerlerden daha yüksek ve 28 GPa mertebesinde olduğu gözlemlenmiştir. Yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda; kompozisyonun ve sinterleme sıcaklığının kompozitlerin yoğunluk değerlerinde etkili olduğu belirlenmiş, faz analizleri neticesinde sinterlenmiş yapıda silisyuma rastlanmamıştır. Sadece B_4C ve SiC fazları tespit etmiştir. SiC fazının yapı içinde yer yer aglomere olduğunu gözlemlenmiştir. Yapıya ilave edilen hacimce Si miktarı arttıkça, difraksiyon paternlerindeki B_4C 'ye ait pik şiddetinde düşüş gözlemlenmiştir [10].

Karakaş tarafından yapılan çalışmada; farklı hacim oranlarında B_4C parçacık takviyeli Al ağırlıkça %4 Cu alaşımlarından oluşan metal ana yapı kompozitler sıcak presleme yöntemi ile üretilmiştir. Takviye elemanı ilavesinin eğme mukavemetinde düşüşe sebep olduğunu tespit etmiştir. Eğme mukavemetinin artan deformasyon hızı ile önce artış gösterdiğini, ancak belirli bir değerden sonra azaldığını gözlemlenmiştir. Kompozitlerin ve takviyesiz alaşımın mekanik performansı ısı işlem ile büyük ölçüde iyileştirilebilmiştir. Zırhlarda ön plaka olarak kullanılan metal anayapılı kompozitlerin monolitik seramiklere nazaran daha zayıf olduğu tespit etmiştir [11].

Karabulut ve arkadaşları Al+%10Al₂O₃ kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemi ile üretebilmek için Al ve Al₂O₃ tozları 2, 4, 6, 8 ve 10 saat süreyle mekanik alaşımlama işlemine tabi tutmuşlardır. Tozlar eş eksenli preste 700 MPa basınçla sıkıştırılarak blok numuneler haline getirilmiştirler. Blok haline getirdikleri numuneler 600 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterleşmişlerdir. Yaptıkları bu deneysel çalışmalar sonucunda, mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla toz tane boyutlarında ve yoğunlukta azalma, sertlik ve eğme dayanımlarında artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir [12].

Rajesh ve arkadaşları alüminyum oksit, farklı oranda Al₂O₃ ve SiC ve karbon lif takviyeli polimer (GFRP)içeren silisyum karbür ile epoksi ve polyester reçine malzemelerle kompozit imalatını gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri verilere göre epoksi reçineye sahip kompozitler, polyester reçineli kompozitlere ve reçinesiz kompozitlerle kıyaslandığında daha yüksek bir mukavemet gösterdiğini tespit etmişlerdir [13].

Nuruzzaman ve arkadaşları %10 - %20 ve %30 hacim fraksiyonlarına sahip Al₂O₃ takviye Al- Al₂O₃ kompozitler hazırlamışlardır. Hazırladıkları bu numuneleri 15 ve 20 ton basınçları altında presleyerek farklı basınçlar altındaki numunelerin mekanik özelliklerindeki farklılıkları araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda 20 ton sıkıştırma yükü altındaki numuneler 15 ton sıkıştırma yükü altında hazırlanan kompozit numunelerden daha fazla yoğunluk ve sertliğe sahip olduğunu ve gelişmiş mikro yapı gösterdiği bulunmuşlardır [14].

Şahin %5 -%10 ve %15 oranlarına sahip Al₂O₃ içeren Al metal matrisli kompozit numuneler üretmiştir. Yaptığı bu çalışmada Al₂O₃ takviye malzemesi ile Al metal matris tozlarını 1-2-3-4 saat olmak üzere farklı saatlerde yüksek enerjili atritör de karıştırarak numuneleri farklı karıştırma saatlerini mekanik özelliklerinin üstündeki etkisini araştırmıştır. Elde ettiği verilere göre atritörde karıştırma süresinin artmasıyla Al₂O₃'nın Al matris içerisinde daha homojen olarak dağıldığını ve homojen dağılım sonucunda kompozitin mekanik özelliklerinde artış gözlemlenmiştir [15].

Kalaycıoğlu yaptığı çalışmada, SiC parçacık takviyeli Al 2017 alaşımlı metal matrisli kompozitleri toz metalurjisi yöntemiyle üretmiştir. Ürettiği kompozitlerde takviye malzemesi SiC ağırlıkça %5 ve %15 oranlarında seçmiştir. Toz karışımları 680 MPa ve 780 MPa'da tek yönlü bir kalıpta presleyerek blok numuneler üretilmiştir. Elde edilen bütün numuneler, kademeli sıcaklık artışıyla; 30 dakika süreyle 300 °C'de yağlayıcı uçurma işleminden sonra

100 dakika 620°C tüp fırında argon gazı ortamında sinterlemiştir. Ürettiği kompozit numunelerde toz tane boyutu küçüldükçe ve presleme basıncının artmasıyla yoğunluğun arttığını, prozitenin azaldığını ve mekanik özelliklerinin iyileştiğini ve takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça % miktarı artmasıyla üretilen kompozitlerde prozitenin arttığını, yoğunluğunun düştüğü ancak sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir [3].

Çakır yaptığı bu çalışmada toz metalurji yöntemi ile sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğini araştırmak amacıyla bu çalışmayı yapmıştır. 45x55x5 mm boyutlarında alüminyum toz metal bloklar 290, 330, 370, 410 MPa basınçlar kullanılarak üretilmiştir. Üretilen bu blokları 600 °C'de vakum atmosferinde 60 dakika sinterlemiştir. Sinterlenmiş numuneleri alın altına sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirmiştir. Deney sonucunda sıkıştırma basınçları arttıkça elde edilen toz metal malzemelerdeki sertlik değerinin arttığını belirlemiştir. Kaynak bölgesinde karıştırıcı ucun plastik şekil değiştirici etkisi sebebiyle yoğunlaşmanın arttığını ve buna bağlı olarak çapraz kırılma sonuçlarına göre kaynaklı numunelerin esas malzemeye oranla daha mukavemetli olduğunu gözlemlenmiştir. Toz metal alüminyum parçalarda yoğunluk arttıkça kaynaklanabilirliğin arttığını ve toz metal parçaların mekanik ve metalografik özellikleri öncelikle kaynak bölgesinde ve ısı etkisi altındaki bölgede değiştiğini tespit etmiştir[4].

Karabulut ve arkadaşı Al 2024 alaşım tozlarının içerisine ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranında Si ilavesi yaparak klasik toz metalurjisi yöntemiyle üretmişlerdir. Blok haline getirdikleri numuneler kademeli olarak önce 300°C'de 30 dakika, ardından 590°C'de 90 dakika bekletilerek sinterlemiştirler. Üretilen numunelere farklı parametrelerde yaşlandırma işlemi uygulanarak, kompozitler de yaşlandırma süresinin ve Si miktarının sertlik özelliklerine etkisi incelemiştirler. 530 °C'de 2 saat bekletilerek solüsyona alma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Numuneleri, 2 saatin sonunda fırından alarak bekletilmeden suda soğutmuşlardır. Yaşlandırma sıcaklığını 180°C olarak belirlemiş ve sabit tutmuşlardır. Yaşlandırma sürelerini ise 30 dk, 1 saat, 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat olarak belirlemiştirler. Mikro yapı incelemeleri sonucunda Si parçacıklarının tane sınırlarında kısmen topaklanmalar oluşturduğu ve yaşlandırma sürelerinin artmasıyla nispeten gözeneklerin kapanmaya başladığı tespit etmişlerdir. Artan Si miktarına bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı ve en yüksek sertlik değerlerini 180°C sıcaklık ve 4 saatlik yaşlandırma işlemine tabi tutulan %15 Si içeren numunelerde tespit etmişlerdir [16].

Durmuş ve arkadaşları Al-SiC toz metalurjisi ile üretilmiş numunelerin lazer kaynağı ile birleşimini tespit edebilmek için bu çalışmayı gerçekleştirmiştir. 2014 Al- %10 ve %20 SiC içeren kompozitler üretmişlerdir. Numuneleri 600 ± 5 °C de bir kısmını da 620 ± 5 °C sinterlemişlerdir. Daha sonra numuneler lazer kaynak ile kaynaklamışlardır. Kaynaklanan 2014 Al-SiC kompozitlerinde takviye oran arttıkça çekme dayanımında bir düşme gözlemlenmiştir. Kaynak metalinde gaz kabarcıkları bulunmuşlardır. En yüksek çekme dayanım, kaynaklanan ve SiC seramik takviyesi içeren örnekler arasında 600 °C de sinterlenerek üretilen Al2014- % 5 SiC kompozitler de elde etmişlerdir. Kaynak işleminden sonra yaşlandırma işlemi yapılması deney sonuçlarında bir iyileşme gösterebilir [17].

Gökmen yaptığı bu çalışmada B_4C ve SiC parçacık takviyeli Al 2024 esaslı hibrit/kompozit numuneleri toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi ile üretmiştir. Al 2024 matris içerisine ağırlıkça %10 oranında B_4C ve SiC seramik parçacıklar ilave ederek kompozit numuneler ağırlıkça %5 B_4C ve %5 SiC tek bir matris içerisine ilave ederek hibrit kompozit numuneler üretmiştir. Elde ettiği bu numuneleri TIG kaynak yöntemiyle birleştirmiştir. Hibrit/kompozit numunelerin tamamında sinterleme işleminden sonra yapılan sıcak ekstrüzyon işlemi ile Al 2024 esaslı yoğunluğunun arttığını tespit etmiştir. Numunelerde en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %10 B_4C içeren kompozitlerde, en düşük sertliği takviye elemanı içermeyen numunelerde olduğunu tespit etmiştir. Hibrit kompozit numunelerde SiC içeren kompozitlerden daha yüksek sertlik değeri tespit edilmiştir Hibrit kompozit numunelerin kaynak bölgesinden ölçülen sertlik değerlerinin takviye elemanı içermeyen Al 2024 numunelerden ve %10 SiC içeren numunelerden daha yüksek olduğu belirlemiştir [18].

Ravichandran ve arkadaşları %99.7 saflık oranına sahip Al ve takviye malzeme olarak TiO_2 ve Gr kullanılmıştır. Saf Al, Al+%2.5 TiO_2 , % 2.5 TiO_2 + %2 Gr ve Al +% 2.5 TiO_2 + %4 Gr gibi farklı oranlara sahip tozları toz metalurjisi tekniği ile karıştırarak hibrit kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri bu numuneler ile işlenebilirlik davranışı üç eksenli gerilme durumunda incelemişlerdir. %2.5 ağırlık yüzdesi TiO_2 ilavesi, performans sertliğini artırır ve Al +% 2.5 TiO_2 'ye ağırlıkça % 4 grafit ilavesi ile kompozit sertliğinin azatlığını tespit etmişlerdir [19].

2. TOZ METALURJİSİ VE UYGULAMALARI

2.1. Toz Metalurjisi

Genel olarak toz metalurjisi, saf metal ve alaşım tozları ile seramik esaslı tozlar ile karıştırılarak preslenmesi, sinterlenmesidir. Böylece dayanımlarını artırmak amacıyla yeni malzeme üretim tekniği şeklinde tanımlanmaktadır. Kısaca toz metalurjisi tozların bazı işlemlerden geçirilerek yararlı mühendislik malzemelerine dönüştürülme yöntemidir [20].

Toz metalurjisinin diğer yöntemlerden ayıran üstün özellikleri;

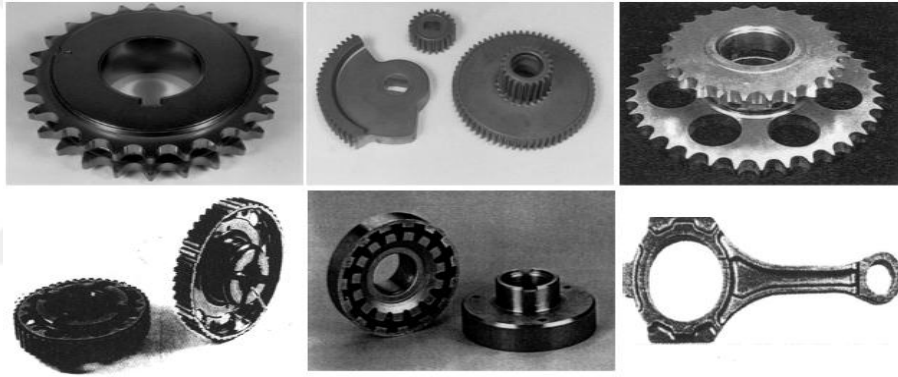
- İleri bir üretim yöntemi olan toz metalurjisi teknolojik malzemelerin üretimine uygun ve küçük parçaların seri üretimine uygun ekonomik bir üretim yöntemidir [21].
- Toz metalurjisi ile üretilen parçaların boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesinin oldukça iyi olmasından dolayı talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır. Böylece malzeme kaybı yaşanmaz. T/M parçaların üstünlüklerinden biri de, diğer üretim tekniklerinden daha kısa imalat çevrim süresidir. Bazı işlem kademeleri uygulanmaksızın nihai ölçülerde, doğrudan kullanmaya müsait parça üretimi mümkündür[22].
- Yüksek takviye hacim oranını elde etmek mümkündür. Bundan dolayı da yüksek elastisite modülüne ve düşük termal genleşme katsayısına sahip kompozitler üretilmektedir [23].

Toz metalurjisinin üstün özelliklerine rağmen bazı dezavantajları da vardır. Bunlar;

- Büyük parçalarda yüksek basınç gereksinimi maliyeti artırır.
- Kullanılan tozun temiz olması gerekir. Aksi halde yabancı maddeler, artıklar ve benzeri malzemeler içine nüfuz ederek mekanik özellikler üzerine olumsuz etki yapabilmektedir [23].
- Toz karıştırma işleminde kısa fiber takviyesinin yapıldığı uygulamalarda kısa fiberler kırılabilir.

Yüksek derecede reaktif tozların işlemlerini kapsadığından, potansiyel tehlike oluşturan ve fazla zaman alan işlemdir. Kullanılan tozların saflık oranları yüksek olmalıdır. Aksi takdirde ürün içinde inklüzyonlar oluşacak ve istenmeyen oluşumlar kırılma tokluğu ve yorulma dayanım değerlerini olumsuz yönde etkileyecektir [24].

Toz metalurjisi üretim yönteminin sayısız avantajından dolayı sanayide kullanım alanı giderek artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Fujiki'nin de makalesinde belirttiği gibi arabaların çeşitli kısımlarında toz metalurji yöntemi ile üretilen parçalar kullanılmaktadır. Bunlar; motorlarda çok valfli sistemler (dişliler, supap yuvaları, supap kılavuzları), otomatik şanzımanlar (göbekli türbinler, plaka tutucu), ön motor, ön sürücü ön ağırlık, hidrolik direksiyon sistemleri, hidrolik sistemlerin parçaları, klimalar (kompresörler parçaları), elektronik sistemler (elektrikli camlar, elektrikli yan aynalar, otomatik kapı kilitleri), ABS ve hava yastıkları gibi güvenlik cihazlarının üretiminde kullanılmaktadır [25]. Kontrollü gözeneklilik ile üretimin mümkün olmasından dolayı metalik filtreler, kendinden yağlamalı yatakların üretimi yapılabilmektedir. Dökülmesi veya talaşlı işlenmesi mümkün olmayan WC-Co gibi seramik metal kompozit malzemeleri bu yöntem ile üretebiliriz [26]. Şekil 2.1'de toz metalurji yöntemi ile üretilen ürünlere örnek verilmiştir.



Şekil 2.1. Toz metalurji yöntemi ile üretilen ürünler

2.2. Toz Üretim Yöntemleri

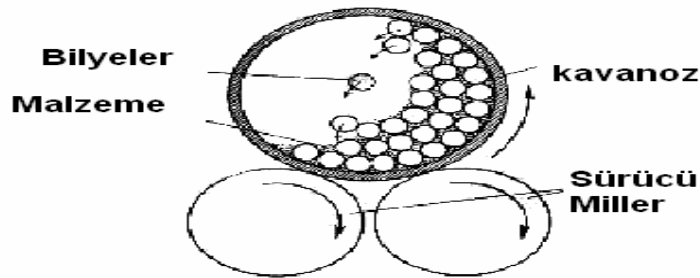
Toz metalurjisinde ortalama boyutları birkaç mikrondan, birkaç yüz mikrona kadar ulaşan parçalanmış partiküller toz olarak tanımlanmıştır. Üretim yöntemine göre tozlar, Şekil 2.2' de şematik olarak gösterildiği üzere küresel veya dendritik form gibi farklı geometrik şekiller alabilmektedirler. Aynı şekilde tozun yüzey durumunun düzgün veya gözenekli olması da üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir. Tozun ortalama boyutları, şekli ve yüzey durumu parça imalatı açısından önemlidir. Toz üretim yöntemi mekanik üretim yöntemleri, elektroliz ile üretim teknikleri, kimyasal üretim teknikleri ve atomizasyon teknikleri olmak üzere dört ana gruba ayrılır.



Şekil 2.2. Partikül şekilleri ve tanımları [2]

2.2.1. Mekanik üretim yöntemleri

Bu yöntemde malzemeler, mekanik ya da pnömatik olarak kırma, çarpma veya öğütme şeklinde parçalanarak toz haline getirilir. Bu amaçla kullanılan makineleri kırıcılar, kaba ve ince öğütücüler olarak gruplandırılır. Kırıcılar cevher hazırlamada, kaba ve ince öğütücüler ise birkaç mikrona kadar değişen boyutlardaki toz üretiminde kullanılır. Seramik malzemeler, metaller arası bileşikler, ferro alaşımlar, ferrosilis, ferrokrom gibi gevrek malzemeler ise bilyalı değirmenlerde öğütülür ve toz haline getirilir. Şekil 2.3’de Mekanik öğütme ile toz üretiminin şematik resmi görülmektedir. Gevrek olmayan malzemelerin kırılması zor olduğu için öğütme işlemi genellikle bu tür malzemelere uygulanmaz [4].

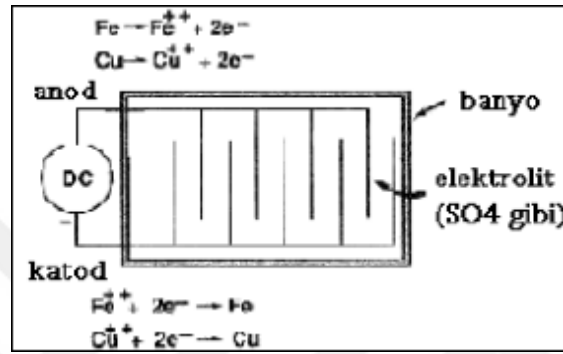


Şekil 2.3. Mekanik öğütme ile toz üretiminin şematik gösterimi [4]

2.2.2. Elektroliz ile üretim yöntemi

Bu metot da tozlar doğrudan elektrolitik banyoda çökeltilir ya da elektrolitin kimyasal bileşimi ve mukavemeti, sıcaklık, akım yoğunluğu gibi şartları uygun seçerek, birçok metal

sünger veya toz durumunda iyi kırılabilirlik özelliği olan katot da toplanır. Katot üzerinde biriken Cu veya Fe tozları sıyrılarak alınır, yıkanır, kurutulur ve toz boyutu küçültülmek istenirse öğütme işlemi yapılır. Bu yöntemle elde edilen tozlar indirgeyici gazlar ile tavlansarak toz metalurjisinde istenen sıkıştırılabilirlik özelliği artırılır. Bu yöntemde genelde Cu ve Fe için yapılır ancak gerekirse Cr ve Mg içinde yapılır. Elektroliz yönteminde saf element tozları üretilebilir, alaşım tozları üretilemez. Üretilen tozlar dendritik yapıya sahiptirler [2]. Şekil 2.4’de elektroliz üretim yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



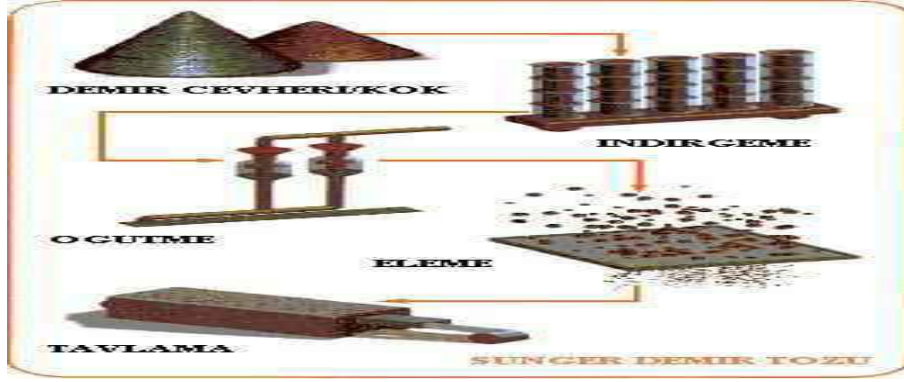
Şekil 2.4. Elektroliz üretim yönteminin şematik gösterimi [4]

2.2.3. Kimyasal üretim yöntemi

Kimyasal toz üretim yönteminde katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleriyle toz üretimi yapılmaktadır. Demir tozların üretiminde bu yöntem çok tercih edilmektedir. Bu yöntemle üretilen tozların boyutları 5–10 µm ila 100–500 µm arasında ve değişik geometrik boyutlara sahip olabilmektedir. Kimyasal yöntemle toz üretiminin avantajları şunlardır;

- Katı redüktif olarak kullanılan karbonun ucuz olması
- Metal oksitlerin kolaylıkla temin edilebilmesi
- Gözenekli toz üretimin yapılabilmesi
- Metal ve oksitlerin boyut kontrolünün yapılabilmesi [27]

Seçilen cevher öğütülür daha sonra kokla da karıştırılır, elde edilen karışım indirgemenin olduğu sürekli fırından geçirilir ve kek şeklinde sünger demir elde edilir. Elde edilen sünger demir öğütülür, metalik olmayan malzemelerden ayrıştırılır ve elenir. Üretilen tozların saflığı ham malzemelere bağlıdır. Üretilen düzensiz süngerimsi tanecikler yumuşaktır ve kolayca preslenebilir ve böylece ham mukavemeti iyi olan ürünler oluşur. Şekil 2.5’de kimyasal üretimin şematik gösterimi verilmiştir [2].



Şekil 2.5. Kimyasal üretim yönteminin şematik gösterimi [2]

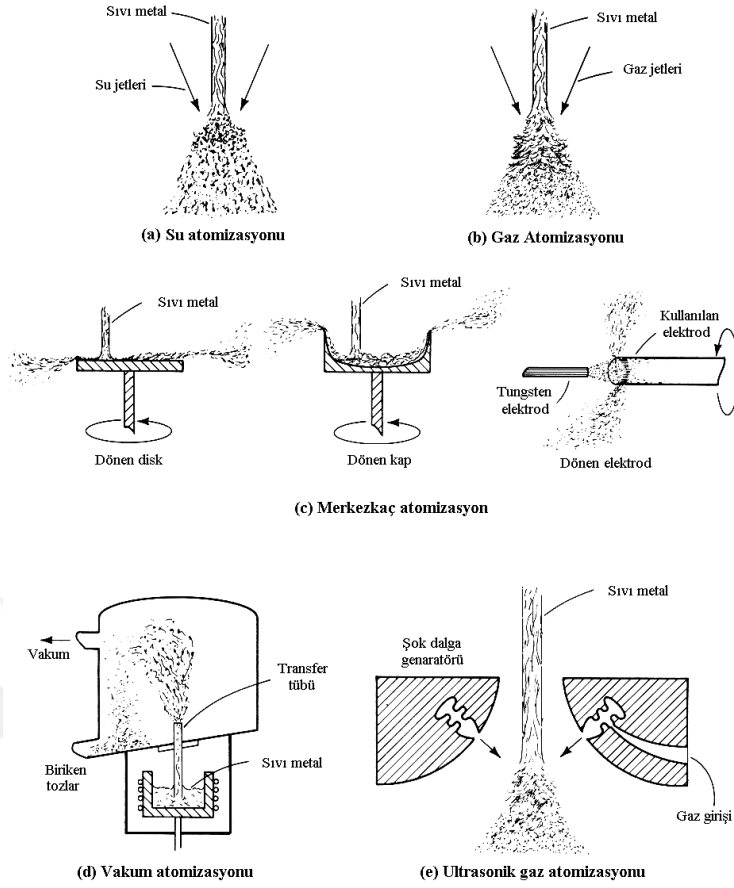
2.2.4. Atomizasyon üretim yöntemi

Gaz atomizasyonun ana prensibi, ergitilmiş haldeki sıvı metalin parçalanarak damlacıklar haline getirilmesi ve katılaşmasının sağlanmasıdır. Bu işlem için öncelikle kararlı haldeki sıvı metale hava, azot, helyum, argon vb. gaz jetleri vasıtası ile parçalanması sağlanır [28].

Püskürtme açısı ve konisi, akışkanın hızı ve debisi, akan metalin kalınlığı gibi birçok parametrenin değiştirilmesi ile farklı boyutlarda toz üretimi mümkündür. Katılaşma hızına bağlı olarak parçacığın şekli küresel su veya düşük ısı kapasiteli gaz kullanılması halinde ise daha düzensiz parçacığa kadar birçok farklılık gösterebilir. Bu yöntem ergitilebilen bütün metallere uygulanabilir ancak ticari olarak üretilebilen tozlar arasında, demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, bronz ve alüminyum, kurşun, kalay, çinko ve kadmiyum gibi diğer düşük ergime derecesine sahip metal tozlar üretilebilir. Krom gibi kolay oksitlenebilen metaller içeren alaşımların üretiminde argon gibi asal gaz altında oksitlenmesi engellenerek üretilebilir [29].

Atomizasyon tekniğinin birçok üstün özellikleri vardır. Bu teknik ile bir tozun ortalama boyutu, toz boyutu dağılımı, toz şekli, yüzey kompozisyonu da dahil olmak üzere birçok kimyasal bileşimi ve mikro yapısı kontrol edilebilir. Bu temel özellikleri, tozların ve bitmiş parçaların yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler. Aynı zamanda atomizasyon yöntemi ile hızlı yüksek toz üretim sağlar ve ekonomiktir [30].

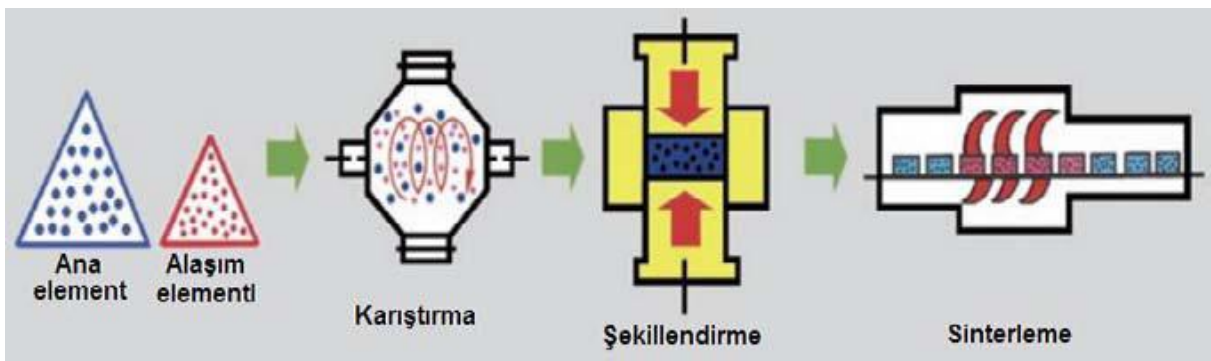
Geniş uygulama alanı bulan diğer birçok atomizasyon yöntemleri vardır. Bunlardan başlıcaları; Gaz atomizasyon yöntemi, su atomizasyon yöntemi, döner disk yöntemi, döner elektrot yöntemi ve vakum atomizasyon yöntemi bunlardandır [2]. Şekil 2.6'te atomizasyon yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Atomizasyon üretim yöntemleri [2]

2.3. TM Parça Üretimi

Toz metalurjisi, nihai ölçülerde ve hassas boyutlarda parça üretimine olanak verdiği için oldukça ekonomik sayılabilecek bir üretim tekniğidir. T/M parça üretimi çeşitli aşamalardan oluşmaktadır (Şekil 2.7). Bunlar; karıştırma, presleme (şekillendirme), sinterleme işlemleridir.



Şekil 2.7. TM parça üretim aşamaları [26]

2.3.1. Karıştırma

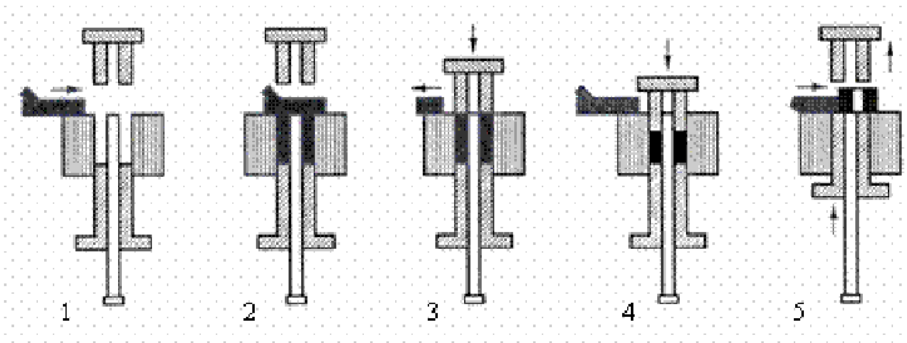
Tek bir boyut ve sabit kompozisyona sahip bir toza, istenen karakteristiklerin kazandırılması çok nadir gerçekleşmektedir. Bu nedenle, çoğu zaman başlangıç malzemesi olarak değişik şekil, boyut ve farklı kompozisyondaki tozlar, yağlayıcı ve bağlayıcıdan oluşan karışımlar kullanılmaktadır.

T/M yöntemi ile parça üretiminde parçanın homojen preslenenebilmesi, kalıptan kolay çıkarılması ve sinterleme işlemi esnasında elementlerin difüzyon ile gerekli miktarda mukavemetini oluşturabilmek için metal tozu içinde bulunan farklı bileşenlerin birbirleri ile karıştırılması gerekir. Tozların karışım işlemi, üretimi yapılacak parçanın ağırlığına göre, % olarak karışımı yapılacak elementlerin ağırlıkları tespit edilerek gerçekleştirilir. Karıştırma işlemi sırasında yağlayıcılar kullanıldığı gibi istenirse kullanılmayabilir. Karışıma genellikle kuru toz şeklindeki yağlayıcılar takviye edilir. Parafin, metalik stearatlar, stearik asit ve çinko stearat en çok kullanılan yağlayıcılardandır [31].

Yağlayıcı kullanmanın amacı, tozların şekillendirilmesi sırasında toz kütlelerinin kalıp duvarlarını daha az aşındırması ve kalıptan daha kolay çıkartılmasıdır. Toz taneleri arasındaki sürtünmeleri azaltarak tozların akışını kolaylaştırıp, enerji kayıplarını azaltmaktır. Toz karıştırıcılar; dönen tambur, dönene çift koni, vidalı karıştırıcı ve bıçak karıştırıcı olmak üzere 4'e ayrılırlar.

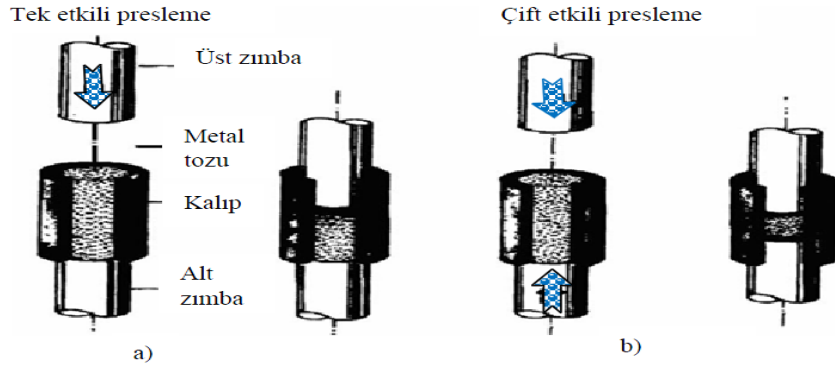
2.3.2. Presleme

Presleme bir yük altında serbest yapıdaki toz parçacıkların istenilen şekle dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemidir. Tozların sıkıştırılmasındaki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın artırılmasıdır. Toz üzerine uygulanan basınç artışına bağlı olarak toz taneciklerinin arasındaki boşluklar azalarak parçanın gerçek yoğunluk değerinde artışlar meydana getirilir. Şekil 2.8'de presleme işleminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.8. Presleme işleminin aşamaları; (1) işlem başlangıcı, (2) toz doldurma, (3) presleme başlangıcı, (4) preslemenin bitişi, (5) preslenmiş parçanın çıkarılması [32]

Presleme işlemi üst zımba, alt zımba ve sabitlenmiş kalıp vasıtasıyla gerçekleştirilir. Tek ve çift etkili preslemeler sabit kalıp ile gerçekleştirilir Şekil 2.9’da verilmiştir. Şekil 2.9 (a)’da ki tek etkili presleme de kalıp ile alt zımba sabit olmakla beraber, üst zımbanın hareketi ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirir. Şekil 2.9 (b)’ de verilen çift etkili presleme de ise kalıp sabittir. Alt ve üst zımbalar aynı anda aşağı ve yukarı hareket ederek metal tozlarını presleme işlemi ile şekillendirirler.



Şekil 2.9. Presleme kalıpları; a) tek etkili pres b) çift etkili pres [31]

Sıkıştırma işlemi sırasında tozların kalıp içerisinde kütle hareketi meydana gelir. Sıkışma, genellikle presleme kuvveti doğrultusunda ve kalıp yan yüzeylerine doğru meydana gelir. Düşük yoğunluklu tozlarda temas yüzeyi az olduğundan, toz kütle hareketi daha kolay olacaktır. Sıkıştırma esnasında plastik deformasyonla birlikte tozlardaki gözenek miktarı azalarak yoğunluk artışı meydana gelir. Artan presleme kuvvetine bağlı olarak, presleme sonrası toz numunelerin mikro sertliklerinde gözlenen artış, plastik deformasyon sertleşmesinin bir sonucudur. Yoğunluk artışı, kütle içerisinde hava boşluklarının azalması yerini toz tanelerinin alması ile gerçekleşir. Artan basınç ile birlikte havanın bir kısmı yapıyı terk etmeyerek gözenekler içerisinde kalır ve iç cephe hasarlarına neden olarak, yüksek basınçlarda artması gereken mukavemetin düşmesine neden olurlar [15].

Birçok presleme yöntemi vardır. Bunlar kalıpta hidrolik presleme (sıkıştırma), yüksek enerjili presleme, ekstrüzyonla, enjeksiyon presleme, titreşimle presleme, izostatik presleme gibi.

Kalıpta hidrolik presleme (sıkıştırma): Basıncın tek veya çift yönlü olarak uygulandığı kalıpta sıkıştırma yöntemidir. Tek yönlü sıkıştırmada, toz üst zımbanın hareketi ile sabit olan alt zımbaya doğru sıkıştırma işlemi yapılır. Çift yönlü sıkıştırma yönteminde ise toz, alt ve üst zımbaların birbirine doğru hareketi ile sıkıştırılır.

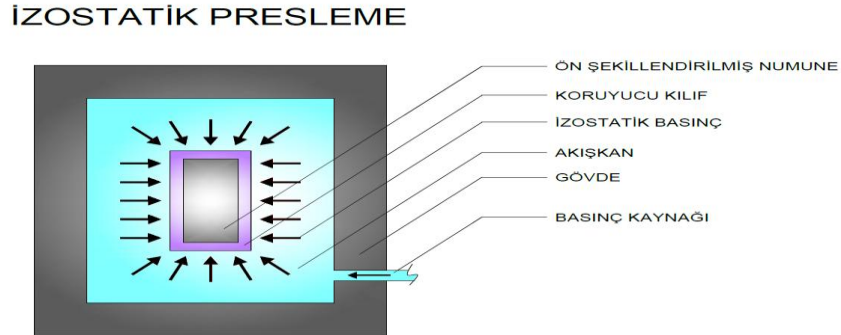
Yüksek enerjili presleme: Bu yöntemde sıkıştırma, pnömatik, mekanik ve patlayıcı gibi basınç uygulama teknikleri kullanılarak çok yüksek bir basıncın kısa bir sürede uygulanması ile sıkıştırma yapılır.

Ekstrüzyon ile presleme: Tozlar kapalı bir kap içerisine doldurulur ve kabın havası alınır. Kap içerisinde tozlar ısıtılarak ekstrüzyon yoluyla parça üretimi gerçekleşir. Üretilen parçaların yoğunlukları yüksektir.

Enjeksiyon ile presleme: Bir seramik toz-bağlayıcı karışımının bağlayıcı eriyene kadar ısıtılması ve daha sonra parçanın istenen şekli aldığı ve yeniden katılaştığı bir kalıp boşluğu içerisine basınçla doldurulması ile gerçekleştirilir.

Titreşim ile presleme: Bu yöntem de sert bir kalıp içerisindeki toza basınç uygulanırken, aynı zamanda belli frekanslarda bir titreşim uygulanarak toz metal parça elde edilir.

İzostatik presleme: Toz metal parçalarda daha homojen bir yoğunluk dağılımı elde etmek için uygulanan bir yöntemdir. Bir toz kütlesine veya ön şekillendirilmiş bir parçaya bütün yönlerden eşit şekilde basınç uygulaması ile gerçekleştirilen bir presleme yöntemidir. Akışkanlarda, bir noktaya etki eden basınç, bütün yönlerde eşit değerde iletilir. Bu noktadan hareketle, izostatik sıkıştırmada, sıkıştırma basıncı, bir sıvı veya gaz yardımı ile parçaya her yönde eşit olacak biçimde iletilir ve daha homojen bir yoğunluk dağılımı elde edilir [3]. Şekil 2.10'da izostatik presleme şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10. İzostatik presleme [24]

2.3.3. Sinterleme

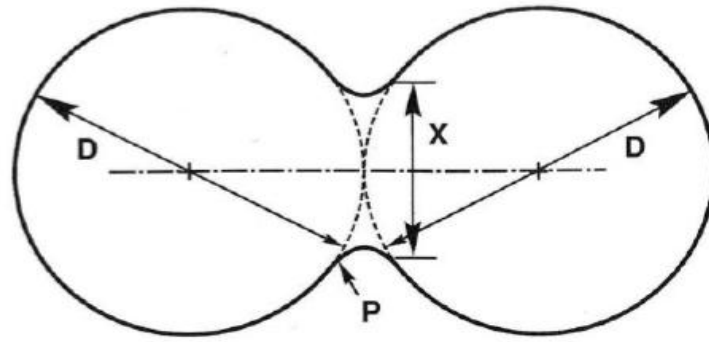
Sinterleme genellikle atomik ölçekte gerçekleşen, kütle taşınım yoluyla katı parçacıklarını birbirine yoğun bir yapı oluşturacak şekilde bağlayan ısıl işlemdir. Sinterlenecek malzeme tek çeşit saf metal veya seramik gibi bir malzemedен oluşuyorsa tek bileşenli sistem, birden çok malzemedен oluşuyor ise çok bileşenli sistem adını alır. Tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının 0,8 katıdır. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme

sıcaklığı, bileşimde en düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime sıcaklığın hemen altındadır. Ergime sıcaklığının altında yapılan sinterlemeye katı faz sinterlemesi, çok bileşenli sistemlerde ise bileşenlerden en az birinin ergime sıcaklığının üzerinde yapılan sinterlemeye ise sıvı faz sinterlemesi denir [33] .

Sinterleme ısıl işlemi sonrasında malzemelerde bazı istenen ya da istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır. En büyük değişimler şunlardır:

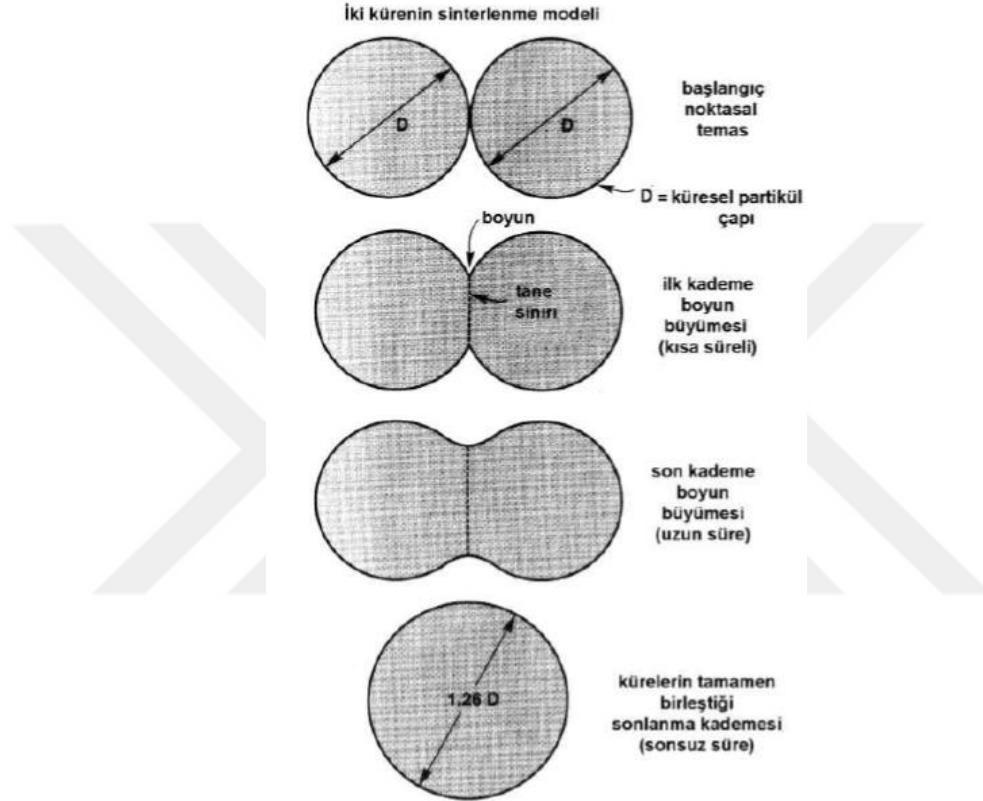
- Dayanım, elastik modül,
- Sertlik, kırılma tokluğu,
- Elektrik ve termal iletkenlik,
- Sıvı ve gaz geçirgenliği,
- Ortalama tane sayısı, boyutu ve şekli,
- Tane sınırlarının ve şeklinin dağılımı,
- Kimyasal bileşim ve kristal yapısıdır [3].

Mikro yapısal ölçekte bakıldığında toz parçacıklarında bağlanma parçacık temas noktalarındaki kohezif boyun büyümesi ile meydana gelir. Boyun büyümesi özelliklerin değişmesine neden olmaktadır. Toz partikülleri, toz konumundan kaynaklanan yüksek yüzey enerjisini ortadan kaldıran atom hareketleri sayesinde sinterlenir. Birim hacim başına düşen yüzey enerjisi, parçacık çapı ile ters orantılı olarak değişir. Yüzey enerjisi tipik olarak yüzey alanı üzerinden değerlendirilir. Bu nedenle yüksek özgül yüzey alanına sahip daha küçük olan parçacık daha fazla enerjisi vardır ve daha hızlı sinterlenirler. Şekil 2.11’de boyun çapı X olan iki küresel partikül için sinterleme profili verilmiştir [24].



Şekil 2.11. Boyun çapı X olan iki küresel partikül için sinterleme profili [24]

Şekil 2.12’de görülen temas halindeki iki parçacığı inceleyelim. Bir toz kompakt (sıkıştırılmış toz yığını) bulunan her bir parçacıkta buna benzer birçok temas noktası vardır. Sinterleme prosesinin ilerlemesiyle temas eden parçacıklar arasındaki bağlar genişler ve birleşir. Her bir temasta katı-buhar ara yüzeyi yerine bir tane sınırı büyür. Şekilde gösterildiği gibi uzun süreli bir sinterleme sonucunda iki partikül tamamen birleşerek başlangıç çapının 1.26 katı büyüklüğüne ulaşabildiği tespit edilmiştir [24]



Şekil 2.12. Temas halindeki iki partikül [24]

2.4. Kompozit Malzemeler

Kompozit terimi iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzeme anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar [34]. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin şu özellikleri iyileştirilebilmektedir; dayanım, yorulma ömrü, korozyon direnci, sıcaklığa dayanım, aşınma direnci, ısı yalıtımı, estetik görünüm, ısıl iletkenlik, düşük ağırlık ve ses yalıtımı gibi özelliklerin iyileştirilmesine olanak sağlar [15]. Kompozit malzemeler takviye elemanı ve matris elemanı olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Takviye malzemeler kompozitin mekanik özelliklerini istenilen düzeye getirmek için kullanılan

malzemelerdir. Matris malzemeler ise takviye malzemelerini bir arada tutan ana yapıyı korurlar [36]. Matris malzemesine göre kompozitler; metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli olmak üzere 3'e ayrılırlar.

1.Metal matrisli kompozit malzemeler: Ana malzemeleri metal ve metal alaşımı olan kompozitlerdir. Metal matrisli kompozit malzemeler, metal ve takviye elemanın üstün özelliklerini birleşmesiyle yüksek dayanım/yoğunluk, yüksek elastiklik modülü, yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir.

2.Seramik matrisli kompozit malzemeler: Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçaların imalatında kullanılırlar. Sert ve kırılman malzemeler oldukları için çok düşük kopma uzaması ve düşük tokluğa sahiptirler. Termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne, düşük yoğunluğa ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler. Seramik matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılanlar arasındadır [3].

3.Polimer matrisli kompozit malzemeler: Genellikle petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, yorulma ömürleri uzun, işlenmesi kolay, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır;

- Termoset matrisler; lif takviyeli kompozit yapımında daha fazla kullanılır ve sıvı halde bulunurlar, katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katlaşırlar. Poliamidler, plastikler arasında olan, şekil verilebilen, ısıl direnci en yüksek polimerlerdir.
- Termoplastik matrisler; genellikle sünek ve ısı ile eritilebilir, soğutma ile katılaştırılırlar. Bu da onlara tekrar kullanma olanağı sağlar. Termoplastikler amorf veya yarı kristalin yapıda olabilirler [34].

Takviye malzemeler ise kendi içinde fiber takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı ve karma olmak üzere dörde ayrılırlar.

Elyaf takviyeli kompozitler: Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, sünek matris malzemesi içerisinde, mukavemeti ve elastiklik modülü yüksek elyafların ilave edilmesiyle oluşturulurlar. Yük taşıma kapasiteleri oldukça yüksektir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak en çok cam kullanılmaktadır. Takviye elyafları uzun elyaflar, dokuma kumaş, kısa kesilmiş elyaf ve farklı şekillerde olabilirler.

Parçacık takviyeli kompozitler: Bu kompozitler düşük maliyetli ve yüksek performanslarıyla ön plana çıkmaktadırlar. Takviye malzemesinin boyutları, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar genellikle kompozitin sertlik değerini artırır ancak dayanımlarını artırmada fazla bir etkiye sahip değildir. Parçacık takviyeli malzemelerde performansı etkileyen farklı etmenler vardır. Bunlar parçacık boyutları, boyut dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadıkları, eksen oranı kompozit özelliklerini etkilemektedir. Takviye parçacıkları küresel, kübik, tek tip veya farklı tip geometrilere sahip olabilmelerinin yanında kompozit malzeme içerisinde rastgele veya yönlendirilmiş şekilde konumlandırılmaktadır [34].

Tabakalı kompozitler: Isı ve neme karşı dayanıklıdırlar. Metallere göre hafif olması yüksek mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısıl genleşme özelliklerine sahiptir [34].

Karma (hibrit) kompozitler: İki ya da daha fazla malzemedan meydana gelen kompozit malzemelerdir. Örneğin kevlar ve grafit gibi iki farklı malzeme çeşidini karşılaştıracak olursak; cam elyaf ucuz ve tok olmasına rağmen basma mukavemetinin düşüktür. Grafit de basma mukavemetinin yüksek olmasına rağmen pahalı ve düşük tokluğa sahip bir elyaftır. Cam ve grafit ikilisinden oluşan hibrit kompozit yapılarda ise her ikisinin olumlu özelliklerini alan, yani yeterince tok, ucuz ve basma mukavemetinin iyi olduğu yeni bir yapının ortaya çıkar [35].

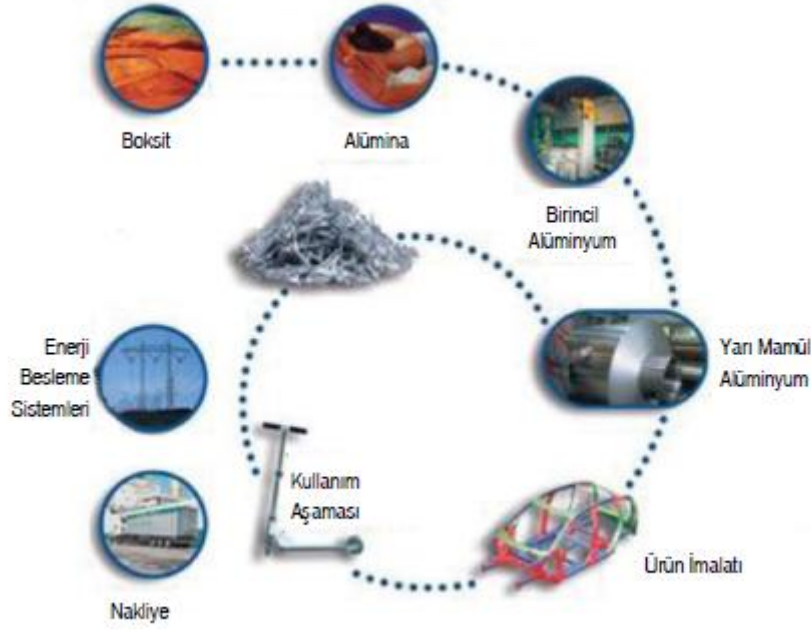
2.4.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK), ana yapısı metalden oluşan ve takviye elemanı olarak seramik veya organik bir malzemenin kullanıldığı kompozitlerdir. MMK malzemeler, geleneksel mühendislik malzemelerine kıyasla yüksek dayanım, hafiflik, yüksek mekanik, ısıl özellikler ve kolay şekillendirilmelerinden dolayı çeşitli uygulamalarda tercih edilmektedir.

MMK'ler, uzay ve havacılık, otomotiv ve demiryolu taşıtları, elektronik ve ısıl sistemler, güç iletimi, eğlence ve spor ürünleri, aşınmaya karşı dirençli malzemelerde ve birçok endüstriyel alanda kullanımı giderek artmaktadır. MMK'lerdeki matris malzemelerinin en önemli görevi, kompozit malzemeye gelen yüklerin homojen olarak takviye elemanlarına aktarılmasını sağlamaktır. Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımları metal matrisli kompozitlerde matris malzeme olarak sıkça kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde matris malzeme kadar takviye elemanlarda önemlidir. Takviye elemanı, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü taşımakta olup, metal matrisli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan parçacık takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , TiC, WC, W, C, MgO ve karbon esaslı (grafen, karbon nanotüp) malzemelerdir. Metal matris kompozitlerde matris malzeme olarak kullanılan alüminyum, demirden sonra dünyada en fazla tüketilen madendir. Bu madenin yoğun bir şekilde kullanılması, şekillendirilebilirliğinin yüksek olması, hafif olması, iyi bir ısı ve elektrik iletkeni olmasından kaynaklanmaktadır. Günümüzde alüminyum ve alaşımları, havacılık ve uzay sanayi, otomotiv sanayi ve inşaat sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır [36].

2.4.1.1. Metal matris kompozit olarak alüminyum

Alüminyum ilk olarak 1808 yılında İngiltere'de ortaya çıkmıştır. Alüminyumun endüstriyel alanda üretimi ise 1886 yılında geliştirilen elektroliz yöntemi ile başlamıştır. Günümüzde alüminyum, beş üretim aşamasından oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; boksit madeni işletmeciliği, boksit cevherinden alümina üretimi, alüminadan ise elektroliz yolu ile sıvı alüminyum üretimi, sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak dökülmesi, ekstrüzyon, haddeleme işlemleriyle yarı ürün veya uç ürün üretimini kapsamaktadır. Şekil 2.13'de, genel olarak alüminyum üretim aşamaları verilmiştir [36].



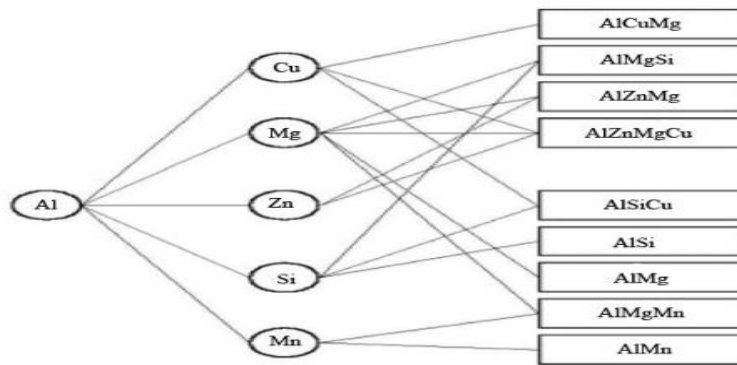
Şekil 2.13. Alüminyumun üretim aşamaları [36]

Alüminyum dünyada üretim ve tüketim değerleri bakımından demir ve çelikten sonra ikinci sırada bulunan metal ve alaşım gurubunu oluşturmaktadır. Hafif ve kolay şekillendirilebilir olmasından dolayı otomotiv, uzay ve havacılık sanayinde olmak üzere pek çok alanda kullanımı tercih edilen bir malzemedir. Alüminyumun pek çok üstün özelliklerinin olmasına karşın sertliğinin ve ergime derecesinin düşük olması sertlik, mukavemet ve yüksek aşınma özellikleri kullanım alanlarını daraltmaktadır. Bu olumsuzlukları azaltmak için alüminyum matrisli ve seramik esaslı takviye elamanı ile güçlendirilmiş alüminyum matrisli kompozit üretimi ve karakterizasyonu çalışmaları yapılmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerle alüminyum ve alaşımlarına göre mukavemet, sertlik ve aşınma direnci gibi temel özelliklerde önemli iyileştirmeler sağlanabilmiştir. Kompozit üretiminde SiC, B₄C, Al₂O₃, Si₃N₄, ve Al₄C₃ gibi seramik esaslı takviye elemanları kullanılırken kullanılan takviye elemanının kütle oranı, parçacık şekli, parçacık boyutu ve matris yapı içerisindeki dağılımı üretilen kompozitin mekanik özellikleri üzerinde belirleyici öneme sahip parametrelerdir [37]. Çizelge 2.1’de alüminyum özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Saf Alüminyumun genel özellikleri [36]

Özellikler	Değer
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı (g/mol)	26.98
Atom Yarıçapı (Å)	1.82
Kristal Yapısı	YMK
Yoğunluk (g/cm ³) (20 °C'de)	2.6989
Ergime Sıcaklığı (°C)	660.2
Özgül ısısı (JK ⁻¹ /g)	0.90
Isıl İletkenliği (WK ⁻¹ /m)	237
Liner genleşme katsayısı (10 ⁵ /K)	23.86
Elastisite Modülü (GPa)	68.3
Elektrik İletkenliği (mΩ ⁻¹ /mm ²)	37.6
Sertlik (HB)	-21
Çekme Dayanımı (MPa)	<80
Poisson Oranı	0.34

Alüminyum alaşımları, yüksek dayanıklılığa sahiplerdir ayrıca ağırlıkça hafif alaşımlardır. Al' un kullanımı sırasında meydana gelen sorunlar alaşım elementlerinin ilavesi ve ısıl işlemler yardımı ile aşılmaktadır. Alüminyum içerisinde bulunan alaşımlara göre sınıflandırılması Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14. Alüminyum alaşımları [31]

Alüminyum içerisine ilave edilen bakır (Cu) alüminyumun dayanım, işlenebilirlik ve sertlik değerlerini ve korozyon direncini artırır. Silisyum(Si) ilavesi ile korozyon direnci, akıcılık ve kaynak kabiliyeti artar. Çinko (Zn) takviyesi ile alüminyumun çekme mukavemeti,

haddelenebilme, işlenebilme özellikleri ile darbe mukavemetinde artış olur. Magnezyum (Mg), alaşıma yüksek mukavemet ve korozyon direnci kazandırır ve kaynak kabiliyetini artırır. Mangan (Mn) ilavesi ile alaşımın yapısında meydana gelen katı eriyik mukavemetlenmesinden dolayı alaşımın mekanik özelliklerinde iyileşme meydana gelir. Alaşımların tokluk ve süneklik özelliklerini yükseltir [31].

Alüminyum alaşımları içerisinde bulunan elementlere ve ağırlıkça element yüzdelere göre 1xxx-2xxx-5xxx gibi seriler oluştururlar. Üretim yöntemleri dikkate alınarak “dövme” ve “döküm” olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Her grup ise ısıtılabilir ve uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Çizelge 2.2’de alüminyum alaşımlar ısıtılabilirliklerine ve üretim yöntemlerine göre gruplandırılmış olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımları [38]

Dövme Alaşımlar		Isıl İşlem
1xxx	Ticari Saflıkta (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4xxx	Al-Si veya Al-Mg-Si	Magnezyum varsa
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al- Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
Döküm Alaşımlar		Isıl İşlem
1xxx	Ticari Saflıkta (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4xxx	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al- Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8xxx	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

1XXX serisi: Saf ya da çok az alaşım elementi ilaveli malzemelerdir. Al>%99.00 oranındadır. Bu seri fazla dayanım istenmeyen korniş, kapı, pencere profile, mutfak eşyaları gibi düşük

mekanik özellik yüksek işlenebilirlik gerektiren ürünlerin üretiminde kullanılır. Yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri vardır.

2XXX serisi: Bu serinin ana alaşım elemanı bakırdır. Bakır elementinin oranı %12'ye kadar mekanik özellikler üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Bu alaşımların özelliklerini iyileştirebilmek için katı eriyik ısı işlem gereklidir. Bu serinin korozyon direnci düşüktür. Bu serideki alaşımlar otomotiv, vagon ve uçak sanayisi gibi yüksek dayanım ve hafifliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

3XXX: Bu serinin ana alaşım elemanı mangandır. Mangan alaşımının Al içindeki yüzdesi 1,5 ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca seride çok az miktarda demir ve silisyum elementi de bulunmaktadır. Korozyon dirençleri yüksektir ve işlenebilirliği kolaydır. Bu seri ile tank, toplama kapları ve karavan yapımında tercih edilmektedir.

4XXX: Bu serinin ana alaşım elemanı silisyumdur. Bu serideki bulunan birçok alaşıma ısı işlem uygulanmaz. %13 den fazla silisyum içeren alaşımlar işlenmesi çok zordur. Düşük ergime sıcaklığı, esneklik ve dekoratif görünüm bu serinin önemli özelliklerindedir. Bu serideki alaşımlar lehim teli, mimari uygulamalar ve radyatör dilimlerinin imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek silisyum ilaveli alaşımlar dökümler içten yanmalı motorlarda, vites kutularında, silindir ve karakterde, nikel gibi elementlerin ilaveli alaşımlarından da piston üretimi yapılmaktadır.

5XXX: Bu serinin ana alaşım elemanı magnezyumdur. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci ve iyi kaynak edilebilirlik özelliğine sahiptir. Bu serideki alaşımlar sertlik ve dayanım istenilen özel konstrüksiyonlar, üretiminde kullanılmaktadır.

6XXX: Alüminyum-magnezyum-silisyum (AlMgSi) veya alüminyum-magnezyum-silisyum (AlMg₂Si) alaşımları olarak bilinen bu alaşımlar, alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan alaşımlardır. Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarından olan bu serisi alaşımları oldukça iyi ekstrüde edilebilme kabiliyeti, yüksek korozyon dayanımı, iyi kaynak edilebilirlik, sıcak şekillendirmeden sonra temiz yüzey ve orta derece dayanım gibi özelliklere sahiptir.

7XXX: Bu serinin ana elemanı çinko elementidir. Çinko %5 civarında alaşıma eklenir. Bu seride çinko dökülebilirliği düşürür. Çinko ilaveli alaşımlarda sıcak çatlama ve soğuma çekme meydana getirirler. Yüksek dayanıma sahiptirler. Bu seri alaşımları vinç, kamyon kasası ve vidalı makine parçalarının yapımında kullanılmaktadır [38].

AA7075 alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek dayanım, tokluk ve yorulma dayanımı gibi üstün özelliklere sahiptir. Çinko ile alaşımlandırılan AA7075 askeri, uçak sanayi, yüksek mukavemet gerektiren makine parçalarında, kauçuk, plastik kalıplar, kayak direkleri, otomotiv sanayi, perçin, nükleer sanayi de sıkça kullanılmaktadır [39]. Çizelge 2.3'te AA7075 içerisinde bulunabilecek elementlerin en fazla ve en az hangi miktarlarda olabileceği gösterilmiştir. [40].

Çizelge 2.3. AA7075 alaşımı ve içindeki elementler [40]

	Cu	Zn	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Ti	Diğer	Al
En az	1.20	5.10	2.10	0.40	0.30	0.50	0.18	0.20	0.15	Kalan
En fazla	2.00	6.10	2.90	0.40	0.30	0.50	0.28	0.20	0.15	Kalan

AA7075 alaşımlarının sertlik ve dayanım özelliklerini iyileştirmek için uygulanan en yaygın yöntem çökelme sertleştirme işlemleridir. Bu amaçla uygulanan T6 tipi ısıl işlemlerin neden olduğu mikro yapısal değişimler ve matris yapıda oluşan intermetalik bileşikler yüksek mekanik özellikleri sağlamaktadır [41]. Sönmez ve arkadaşının yaptığı çalışmadan alınan veriler Çizelge 2.4'de gösterildiği gibi AA7075 ısıl işlem olup olmama durumuna göre mekanik özellikleri iyileştirildiğini göstermektedir.

Çizelge 2.4. AA 7075 mekanik özellikleri [40]

Malzeme Türü	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Süneklik (%)
AA 7075-0	276	145	9-10
AA 7075-T6	572	503	5-8

8XXX: Alüminyuma diğer bazı alaşım elementleri ilavesi ile elde edilen bir seridir. Örneğin; %2 lityum ilave edilen alaşımlar, hafiflik, yüksek çekme ve akma dayanımı özellikleri görülmektedir [38].

2.4.1.2. Metal matris kompozitlerde takviye malzemeler

Metal matrisli kompozit malzemelerin imalatında; kullanılacak takviye elemanın seçimi, üretim tekniği, üretim esnasında takviye elemanın matris tarafından ıslatılabilmesi, takviye elemanlarının yapısal özellikleri, üretilecek kompozit malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etkilidir. Bu nedenden dolayı takviye elemanın doğru seçilmesi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kullanım yerine bağlı olmakla birlikte

metal matrisli bir kompozit de, genel olarak takviye elemanından iyileştirilmesi istenen özellikler şunlardır: Yüksek modül ve dayanım, düşük yoğunluk, matris ile kimyasal uyumluluk, üretim kolaylığı, yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesi, ekonomik olmasıdır [3]. Metal matrisli kompozitler de en çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , B_4C , SiC , TiC ve grafendir. Çizelge 2.5’de bazı seramik malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı takviye malzemelerin özellikleri [23]

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3 \text{kgm}^{-3}$)	Isıl Genleşme Katsayısı (10^{-6}C^{-1})	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Mukavemet (MPa)	Elastik Modülü (GPa)
Al_2O_3	3.98	7.92	2100	221 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	379 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
SiC	3.21	5.40	2750	-	324 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
C	2.18	-1.44		-	690
SiO_2	2.66	<1.08	1710	-	73
AIN	3.26	4.84	2375	2069 (24 $^{\circ}\text{C}$)	310 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
B_4C	2.52	6.08	2420	2759 (24 $^{\circ}\text{C}$)	448 (24 $^{\circ}\text{C}$)

Al_2O_3 (Alümina): Metal matrisli kompozitler de ana hedef, düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzemeler üretmektir. Bu özellikler genelde yapı içine katılan seramik faz ile sağlanır. Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik özelliklerinden dolayı, takviye elemanı olarak kullanılmasının önemli nedenlerindedir. Alümina, kristalografik olarak oksijen iyonlarının alüminyum iyonları tarafından sıkı hegzogonal olarak sarılmasından oluşur. Beyaz renkli bir tozdur. Ergime sıcaklığı 2050 $^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası 2977 $^{\circ}\text{C}$ olan alümina yüksek sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biridir. Çizelge 2.6’da Al_2O_3 ‘nın %85,0-99,7 saflıkta alüminaların bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.6. Al₂O₃ (Alümina) özellikleri [42]

Alümina İçeriği (%)	85.0	95.0	99.7
Yoğunluk(g/cm³)	3-3.5	3.7	3.9
Dielektrik Sabiti	8.5	9.2	9.0-10.1
Dielektrik Mukavemeti (kV/mm)	²⁸	-	10-3.5
Hacim Direnci Ω.cm (600 °C'de)	4x10 ⁶	5x10 ⁹	4x10 ¹⁰
Termal İletkenlik (W/m °C)	15	20	²⁸⁻³⁶
Termal Genleşme Katsayısı (10⁻⁶/°C)	(20-1000 °C) 7	7.6	8
Maksimum Kullanım Sıcaklığı (°C)	1300	1500	1700
Spesifik ısı (J/K kg)	920	900	-
Eğme Mukavemeti MPa (20 °C'de)	300	350	350
Basma Mukavemeti MPa (20 °C'de)	1800	2000	2200-2600
Elastik Modülü (GPa)	260-330	340-375	380-410
Poisson Oranı	0.22-0.25	0.23-0.26	0.24-0.27
Sertlik (HV1.0)	800-1000	1200-1600	1500-2000

B₄C: Bor karbür, alümina, silisyum karbür ve elmas gibi metal olmayan sert malzemeler grubundadır. Bor karbür, elmas ve bor nitrürden daha düşüğe olsa bile oldukça sert bir malzemedir. Yüksek ergime sıcaklığına, düşük yoğunlukla kombine olmuş yüksek mekanik dayanıma sahiptir. Ayrıca yarı iletkenidir. Çizelge 2.7'de B₄C'ün bazı özellikleri verilmiştir [43].

Çizelge 2.7. B₄C bazı özellikleri [43]

Özellik	Birimi	Değer
Yoğunluk	g/cm ³	2.52
Sertlik (100g.Knopp)	kgf/mm ²	2900-3580
Vickers Mikro sertlik	GPa	31.5
Kristal Yapı		Rombohedral
Kırılma Tokluğu	MPa.m ^{1/2}	2.9-3.7
Ergime Sıcaklığı	°C	2450
Isıl Genleşme	°c	5x10 ⁻⁶
Elektrik İletkenliği (25 °C'de)	S	140
Elastisite Modülü	GPa	450-470
Kayma Modülü	GPa	186.5
Çekme Mukavemeti	MPa	155
Basma Dayanımı	MPa	2855

SiC: Silisyum karbür genel özellik olarak; 3,2 gr/cm³ özgül ağırlığa, 27.4 GPa sertliğe, 40.1 molekül ağırlığına, 5x10⁻⁶/°C ısı genleşme katsayısına, 126 W/m²K ısı iletkenliğe ve kullanılabilir bir elektriksel dirence sahiptir. Çok sert, aşındırıcı bir malzeme olup, yüksek sürünme mukavemetine sahiptir. İndirgen atmosferde, erozyon ve kimyasal etkileşimlerine karşı dayanımları yüksektir. Yüksek bir termal iletkenliğe ve düşük termal genleşme katsayısına sahiptir. Çizelge 2.8’de silisyum karbüre ait özellikler verilmiştir [10].

Çizelge 2.8. SiC mekanik ve kimyasal özellikleri [10]

Kompozisyon	SiC
Molekül Ağırlığı	40,097
Renk	Saf ise sarıya yakın yeşil (Bor, azot veya alüminyum katkısı renkte değişikliğe sebep olabilir)
Yoğunluk (g/cm³)	α -SiC(6H): 3,211 β -SiC: 3,214
Ergime Sıcaklığı	\approx 2545°C’de dekompoze olur
Isıl iletkenlik (W/m. °C)	α -SiC: 41,0 β -SiC: 25,5
Vickers Sert.(GPa)	24,5-28,2
Elastisite Modülü (GPa)	441-475
Kayma modülü (GPa)	192
Kırılma Muk. (MPa)	350-600
Kimyasal dayanımı	Oda sıcaklığında inerttir

TiC: Zirkonyum gibi IV geçiş elementi olan titanyumun karbürü olan titanyum karbür, iyonik, kovalent ve metalik bağlar içermektedir. Metalik bağ TiC’ün yüksek termal iletkenliğe ve yüksek elektrik iletkenlik değerine sahip olmasını sağlar. Kovalent bağlar titanyum karbüre yüksek sertlik, yüksek bağ enerjisi ve yüksek ergime noktasına sahip olmasını sağlamaktadır. Yüksek elektron enerji seviyesine sahip olması iyonik bağlardan kaynaklanmaktadır. TiC, yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerinin değişmemesi nedeniyle kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek modül, yüksek mukavemet ve iyi sürünme dayanımı gibi özelliklerini korumasına rağmen TiC’ün sahip olduğu yüksek yoğunluğu TiC için dezavantaj oluşturmaktadır. Yüksek yoğunluğu TiC takviye malzemesinin yaygın kullanımını engellemiştir. Alüminyum matris, içerisine TiC partiküllerin takviye edilerek, piston ve biyel kolları imal edilmektedir. Bu şekilde aşınmaya karşı dayanımın arttığı tespit edilmiştir [24]. Çizelge 2.9’da TiC bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.9. TiC fiziksel ve mekanik özellikleri [44]

Kristal Yapı	FCC(B1,NaCl)
Latis Parametresi (nm)	0.4328
Molekül Ağırlığı (g/mol)	59.91
Yoğunluk (g/m³)	4.91
Ergime Noktası (°C)	3067
Termal İletkenlik (W/m °C)	21
Elektriksel Direnç (μΩcm)	50±10
Sertlik (GPa)	28-35
Elastisite Modülü (GPa)	410-510
Kırılma Tokluğu (MPa m^{1/2})	2.8

Grafen: Sahip olduğu yüksek mekanik, termal ve elektron mobilitesi özellikleri sayesinde, son yıllarda oldukça büyük önem kazanmıştır. Termal iletkenlik, mekanik, refrakter, sürtünme önleyici, antikorozyon ve biyo uyumluluk gibi özellikleri geliştirmek için çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde grafenin yoğunluk davranışının iyileştiği, grafen plakalarının tanelerin etrafını sardığı ve tane büyümelerini engellediği ve kırılma tokluğunu artırdığı görülmüştür. İki boyutlu bal peteği yapısındaki karbon allotropu, gibi sahip olduğu bu mükemmel özellikleri sayesinde nanoelektronik, sensör uygulamaları, enerji depolayıcılar gibi farklı alanlarda kullanılmak üzere araştırmalara konu olmaktadır [44].

3. AŞINMA

Aşınma ASTM G40-93 ve DIN 50320 standartlarına göre, kullanılan malzemelerin başka bir malzeme ile (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu oluşan mekanik etkenler nedeniyle, yüzeyinde küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması olarak tanımlanmaktadır [45]. Aşınma sonucu katı cisimlerin sürtünme yüzeylerinde malzeme kayıpları meydana gelmektedir. Çeşitli makine ve teçhizatlarının kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Çünkü temas eden yüzeylerde, aşınma işleme toleranslarının kötüleşmesine, sürtünme ise kuvvetleri güç kaybına neden olmaktadır [37]. Aşınmaya maruz kalan parçaların aşınma miktarına bağlı olarak kullanım ömürleri kısalmaktadır. Bu yüzden makine elemanlarının üretildikleri malzemelerin aşınma dayanımlarının artırılması makinelerin kullanım ömürlerinin de artmasını sağlamaktadır. Geçmişten günümüze bu aşınma dayanımlarının artırılması üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır:

Mondal ve arkadaşının yaptığı çalışmada 25-50 ve 50-80 µm tane boyutuna sahip SiC'ü takviye malzemesi Al alaşımını ise matris malzemesi olarak kullanıp kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri bu kompozit malzeme üzerinde yük, takviye elemanın tane boyutu ve takviye hacim oranının değişimi ile yüksek basınçtaki abrasif aşınma miktarının değişimini incelemişlerdir. Takviye hacim oranı olarak %5-12 arasında değişen oranları kullanmışlar ve SiC'ün takviye hacim oranının artması ile abrasif aşınma miktarının düştüğünü belirlemişlerdir [46].

İpek, yaptığı bu çalışmasında matris malzemesi olarak Al4147 alaşımına ağırlıkça farklı oranlarda (%10, %15 ve %20) SiC ve B₄C karbürlerini ilave etmiştir. Kuru sürtünme yöntemi ile aşınma miktarlarını ölçmüştür. Takviye malzemesiz Al4147 alaşımında yüksek miktarda abrasif ve adhesif aşınma gözlemlerken B₄C takviyeli kompozit de az miktarda adhesif aşınma meydana geldiğini belirlemiştir. SiC takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilirliğinin artmasına bağlı olarak kompozitin aşınma direncini arttırdığını ve yüksek ıslatılabilirlik ile matris takviye arasında iyi bir yapışma olduğundan sürtünme esnasında partiküllerin matristen kopmasının zorlaşması ile aşınma mekanizmasının da değiştiğini tespit etmiştir [47].

Gül ise, vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen fused silika takviye edilmiş Al-10Si kompozitlerin abrasif ve adhesif aşınma davranışlarını farklı numara zımpara altında ve farklı yükler altında gerçekleştirmiştir. İnfiltrasyon yönteminde ise matris malzemesi olarak Al10Si ve Al10Si+%5 Mg alaşımları kullanarak farklı yükler altında aşınma işlemini yapmıştır.

Yaptığı deneyler sonucunda matrisin aşınma kaybının arttırdığı, ancak kompozitlerinin aşınma kaybını azalttığı tespit etmiştir [48].

Aşınma sistemi çeşitli mekanizmalardan oluşmaktadır. Aşınma olayının gerçekleşmesinde aşınan, aşındıran, ara malzeme, yük, hareket ve sıcaklık parametreleri söz konusudur [45].

Aşınmanın mekanik bir etken olabilmesi için:

- Sürtünmenin (bağlı hareketin) olması
- Devamlı ve yavaş olmalı
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmeli
- İsteğimiz dışında gerçekleşmiş olması gerekir [49].

Aşınmaya birçok faktör etki etmektedir. Bu faktörler şunlardır; malzemelerin cinsi ve kimyasal bileşimi, malzemelerin mikro yapısı, malzemelerin kristal yapısı, malzemelerin sertliği, ısıl işlem, kayma çifti, ortama bağlı faktörler, yük, hız ve sıcaklıktır. Aşınma, ani oluşan aşınma ve zamanla gelişen aşınma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Zamanla oluşan aşınma Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi üç safhadan oluşmaktadır. Birinci aşamada rodaj olup aşınma hızının yükselerek arttığı safhadır. Bu safhada parçaların birbirine alıştığı aşamadır. Aşınmayı azaltmak için bu safhada özel yağlar kullanılabilir. Yüksüz ya da normal hızdan daha düşük hızlarda çalışması bu safha gerçekleştirilebilir. İkinci safhada ise kararlı durum söz konusudur ve aşınma hızı sabittir. Artık malzemeler birbirine alışmıştır. Üçüncü safhada ise hasar meydana gelene kadar aşınma hızı artarak devam eder [49].



Şekil 3.1. Aşınma safhaları [49]

Sürtünme safhasında aşınma miktarı, zamana ve kayma mesafesine bağlı olarak tespit edilir. Aşınma miktarları, aşınan parçanın şekil ve ağırlık değişimine ait sayısal bir büyüklük olup aşınma, aşınma miktarı olarak birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Buna göre aşınma miktarı

parçanın ağırlık kaybı ve hacimsel aşınma veya sürtünme yüzeyinin yükseklik kaybı olarak ifade edilir [49].

3.1. Aşınma Çeşitleri

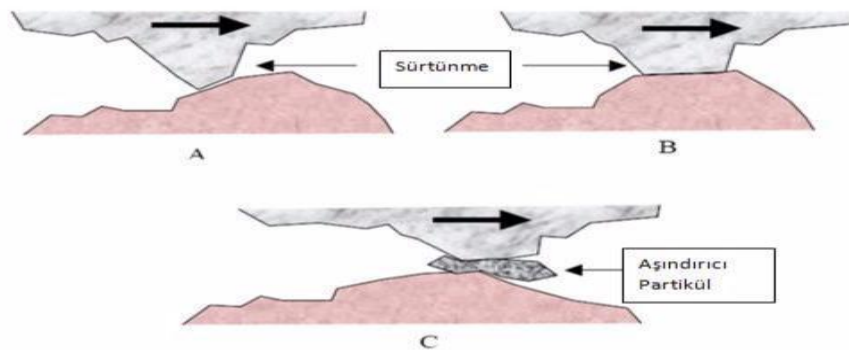
Aşınmanın oluşması ve sürekliliği için gerekli faktörlerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı kimyasal ve fiziksel etkilerin iletilmesine göre dokuz çeşit aşınma mekanizması vardır.

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

3.1.1. Adhesif aşınma

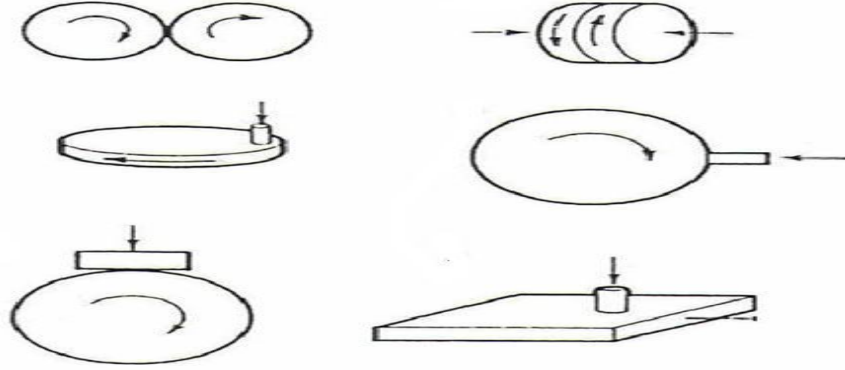
Temas halinde olan iki metal yüzeyinin, basınç ve artan sıcaklık ile birlikte, temas halindeki yüzeylerinde soğuk kaynaklanma meydana gelmektedir. Parçaların teması sırasında oluşan soğuk kaynaklar birbirinden ayrılırken, yüzeylerden ufak parçacıklar kopmaktadır. Bu olayların tekrarlanması ile oluşan aşınma türü, adhesif aşınma olarak adlandırılmaktadır [45].

Şekil 3.2’de adhesif aşınmadaki soğuk kaynak bağının oluşumu görülmektedir.



Şekil 3.2. Adhesif aşınma oluşumunun şematik gösterimi [49]

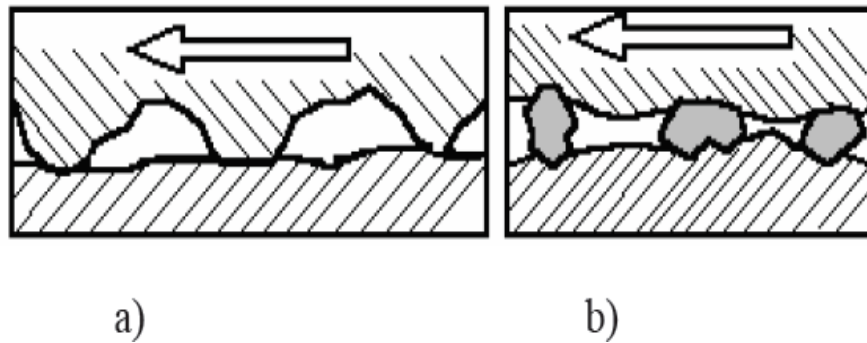
Adhesif aşınma da kullanılan birçok geometrik şekil mevcuttur. Ancak bunlar arasında en fazla kullanılanı disk üzerinde pin geometrisidir. Şekil 3.3.'de adhesif aşınmada kullanılan geometrik şekiller verilmiştir.



Şekil 3.3. Adhesif aşınmada kullanılan geometriler [49]

3.1.2. Abrasif aşınma

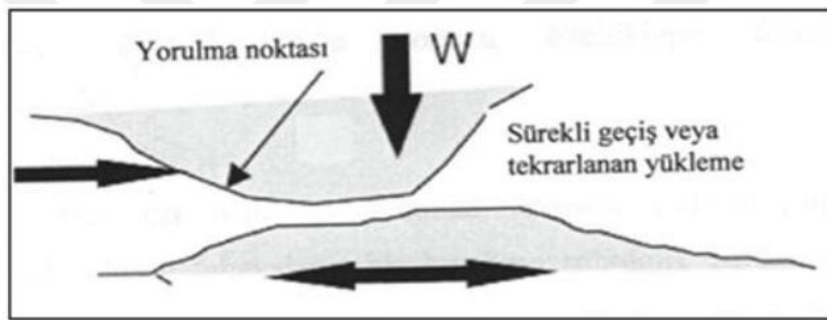
Abrasif aşınmada aşındırılacak malzemenin kendisinden daha sert olan parçacıklarla temas etmesi ve bu parçacıkların malzemenin yüzeyinden parçacıklar koparması ile meydana gelen aşınma mekanizmasıdır. Aşınmayı gerçekleştiren sert parçacıklar sisteme dışardan girebilmekte veya abrasif aşınma ürünleri olarak sistem içerisinde oluşabilmektedir. Abrasif aşınma, iki elemanlı veya üç elemanlı olarak meydana gelmektedir. İki elemanlı abrasif aşınma ana malzeme ve karşı malzemenin teması ile olmaktadır. Üç elemanlı abrasif aşınmada ise, ana ve karşı malzeme temas yüzeyi arasında oluşan parçacıkların, üçüncü eleman olarak görev aldığı abrasif aşınma mekanizmasıdır [45]. Abrasif aşınma mekanizması, Şekil 3.4'te iki elemanlı ve üç elemanlı abrasif aşınma mekanizmaları verilmiştir.



Şekil 3.4. Abrasif aşınma mekanizmaları; (a) iki elemanlı abrazyon, (b) üç elemanlı abrazyon [50]

3.1.3. Yorulma aşınması

Malzemelerde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında zamanla meydana gelmektedir. Yorulma aşınması, malzemenin yüzeyinden başlamaktadır. Yüzey bölgesi sürtünme elemanları tekrarlanan gerilmelerle etkileştiklerinde veya titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında, bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla, yorulma aşınması meydana gelmektedir. Bunun sonucunda malzemenin yapısında parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelmektedir. En fazla kopma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak, çok küçük boşluklar oluşmaktadır. Oluşan boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerlemekte, büyümekte ve nihayet yüzeyde küçük çukurlar oluşturmaktadır. Pitting adı verilen bu aşınma tipi, genellikle dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi, yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelmektedir [51]. Şekil 3.5'te yorulma aşınması şematik olarak verilmiştir.



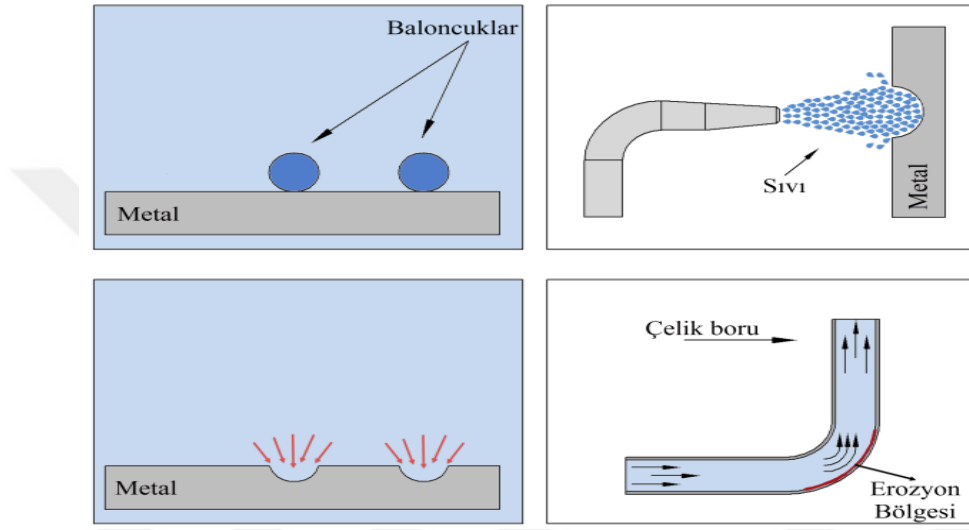
Şekil 3.5. Yorulma aşınması [50]

3.1.4. Erozyon aşınma

Erozyon aşınması kısa zamanda meydana gelen kısa kayma hareketi olarak tanımlanabilir. Sıvı veya gazlı ortam da taşınan aşındırıcı tanelerin yüzeye belirli bir açı ile çarpması sonucunda oluşan enerji, katı cismin mukavemetini aştığında, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelmektedir. Yüzeyde kırılmalara neden olan bu olay sonucu yüzeyde aşınma olmaktadır. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denilmektedir. Endüstride yaygın olarak karşılaşılan bir problemdir. Erozyon aşınmaya bazı sebepler sonucunda meydana gelmektedir. Bu sebepler parçacıkların şekli, sertliği, çarpma hızı ve çarpma açısı gibi malzeme özellikleri erozyona uğrayan yüzeyin özellikleri en önemli sebeplerdendir. Bu sebeplerden çarpma açısı ise en önemli faktörlerden biridir. Sünek olan malzemelerde ve sünek olmayan malzemelerde çarpma açısı farklı etki etmektedir. Sünek olan malzemeler için maksimum çarpma hızı çarpma açısı yaklaşık 30° iken sünek olmayan malzemeler için

çarpma açısı yüzeye normal olduğunda maksimum aşınma hızı oluşur. Eroziyon aşınmanın farklı şekillerde meydana gelmektedir. Şekil 3.6'da eroziyon aşınma çeşitlerinin şematik gösterimi verilmiştir. Bunlar aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Sıvı damlacıkların çarpması
- Sıcak gazların akışı,
- Sıvı ortamın kavitasyonu
- Katı parçacık çarpması [50]



Şekil 3.6. Eroziyon aşınma çeşitleri [45]

3.1.5. Öğütmeli aşınma

Öğütmeli aşınmada, yüksek basınçlı parçacıkların metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeylerin çizilerek veya kesilerek yüzeyinden parçacıkların kopmasıyla meydana gelmektedir. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu, genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan ağır iş makinelerinin çalışma koşullarında, araçların kesici uç yüzeylerinde meydana gelmektedir [45].

3.1.6. Oymalı aşınma

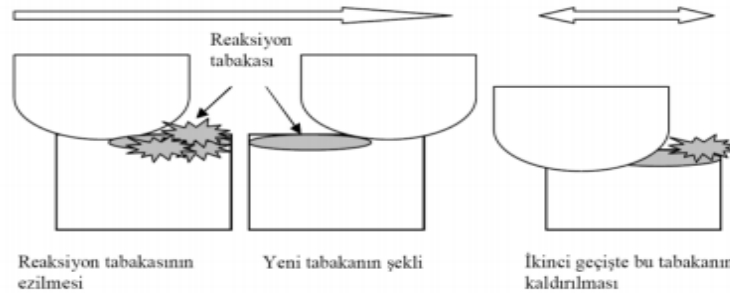
Malzemenin yüzeyinde yüksek hızlardaki çarpma sonucunda oluşmaktadır. Yüzeyde kesme, kesilme ve oyulma koşullarında meydana gelen bir aşınma türüdür. Bu tür aşınmalar, genellikle delme işlemini ve benzeri çalışma alanlarında çalışan ekipmanların kesici ve delici takım olarak kullanılan kısımlarında görülmektedir. Çalışma sırasında aşındırıcı parçacıkların, gerilmenin yüksek olduğu malzeme yüzeyine çarpmaları sonucunda, malzemenin yüzeyinde hızla hasar oluşturmaktadır [45].

3.1.7. Kazımalı aşınma

Kazımalı aşınma adhesif aşınma mekanizmasına benzemektedir. Birbirine kuvvetle bastırılan iki metalin düşük genlikli titreşim hareketinden dolayı yüzeylerde oluşan pürüzler yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler. Yüzeyden kopan parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı tane haline gelerek abrasif aşınma miktarını artırır. Bu etkileşimlerden dolayı, temas noktalarında gerilme yığılmaları meydana gelerek titreşim artar. Bu nedenle yüzeyde yorulma çatlakları artmasına ve zararın artmasına sebep olur. Kazmalı aşınma genellikle, iş makinelerinde, sıkı geçmelerde, kama ve cıvata bağlantılarında meydana gelir [49].

3.1.8. Koroziif aşınma

Temas yapısı farklı olan tabakaların oluşması ve sürtünme hareketi sonucu tabakaların parçalanıp yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların birlikte kimyasal ve elektrokimyasal tahribatların oluşmasına korozyon denir. Metal ve metal alaşımlarının çevreleri ile (katı, sıvı ve gaz ortamlar) kimyasal veya metalurjik ilişkiden dolayı yüzeylerinde meydana gelen aşınmaya koroziif aşınma denir. Koroziif aşınmanın oluşması için korozyonun ve sürtünme hareketinin olmasıdır. Koroziif aşınma, adhesif ve abrasif aşınmalar ile birlikte oluşabilir. Şekil 3.7’de koroziif aşınmanın oluşum şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Koroziif aşınma [52]

Korozyonlu aşınması bazı önlemler alınarak kısmen veya tamamen ortadan kaldırılabilir. Bu önlemler şunlardır:

- Malzeme seçimine dikkat etmek,
- Yüksek sertliğe ve korozyon direncine sahip kaplama malzemeleriyle yüzeyi kaplamak,
- Ortamın hava ile temasını kesmek,
- Kromat ve nitratlar gibi oksit önleyici kullanmak, katodik koruma gibi yöntemler uygulanabilir [52].

3.1.9. Termal aşınma

Kimyasal ve mekanik aşınma mekanizmalarının oluşumunu kolaylaştıran ve bu mekanizmalarla, eş zamanlı işleyen bir oluşumdur. Sıcaklık etkisi ile atomik hareketler hızlanmaktadır. Isıl işlemlerle malzemenin sünekleşmesi sonucunda atomik aşınma gerçekleşmektedir. Termal şoklar ve yüksek sıcaklıkta ki oksidasyonlar da, termal aşınmaya sebep olmaktadır [51].

3.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda aşınmaya etki eden etmenlerini üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Bunlardan ilki aşınmaya uğrayan malzeme, ikincisi aşındırıcı görevi gören malzeme ve sonuncusu ise malzemenin çalıştığı ortamdır.

Aşınmaya uğrayan malzemenin; malzemenin cinsi, kimyasal bileşimi, mikro yapısı, hacimsel ve yüzeysel sertliği, elastiklik modülü, akma ve kırılma özellikleri, yüzeyin pürüzlülük durumu, şekli ve boyutları, soğuk şekillendirme durumu, gördüğü ısıl işlemler etki etmektedir.

Aşındırıcı malzemenin sahip olduğu; tane büyüklüğü, tane şekli, tane dağılımı aşınan malzemenin aşınma miktarına etki etmektedir. Ve son olarak aşınan ve aşındıran malzemenin çalıştıkları ortamdaki sıcaklık ve nem aşınan malzeme üzerinde meydana gelen aşınma miktarına ve çeşidine etki etmektedir [52].

3.3. Aşınma Ölçüm Yöntemleri

Aşınma miktarının ölçülmesinde, hassasiyet, kolay ve seri uygulanabilirlik, ekonomik ve standartlaştırılmış bir yöntem kullanılmaktadır. Bu esaslar çerçevesinde kendi içerisinde farklılık gösteren bazı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar:

- 1) **Ağırlık Farkı Yoluyla Ölçme:** Bu yöntem ölçüm cihazının oldukça hassas olması ve ekonomik olması nedeni ile yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ölçüm hassasiyeti yüksek teraziler kullanılmaktadır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirken, alınan yol metre veya kilometre olarak ifade edilmektedir. Kayma veya sürtünme yoluna göre birim kayma mesafesine karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km), (mgr/m) ile ifade edilmektedir. Deneylerde elde edilen ağırlık kaybının hacimsel olarak belirtilmesi istendiğinde, ağırlık kaybının yanı sıra, malzemenin yoğunluğu da göz önüne alınarak hesaplama yapılmaktadır.

- 2) Kalınlık Ölçme Yöntemi: Aşınmaya başlamadan önceki boyut değeri ile aşınma sonrası boyut ölçümlerinin kıyaslanması gerçekleştirilir. Kalınlık olarak baz alınan değer, hacimsel olarak hesaplanarak, birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilmektedir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile (1 µm hassasiyetinde) yapılmaktadır.
- 3) İz Değişiminin Ölçülmesi Yöntemi: Plastik deformasyon ile sürtünme yüzeyi bölgesinde belirlenen bir iz geometrisi oluşturulmaktadır. Deney boyunca karakteristik olarak bu iz boyut değişimi ölçülmektedir. Bu yöntemde genellikle Vickers veya Brinell ölçüm cihazları kullanılır. Bilye veya elmas piramidin bıraktığı iz çapındaki değişim, mikroskop yardımıyla ölçülmektedir.
- 4) Radyoizotoplarla Ölçme Yöntemi: Sürtünme yüzeyinin nötron, proton veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu ölçme yönteminin en büyük avantajı büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesidir. Ancak ekonomik olmaması nedeniyle, özel problemlerin çözümü dışında, yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir [45].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Bu çalışmada ağırlıkça farklı yüzdelere sahip SiC ve Al₂O₃ seramik tozları gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen küresel AA 7075 metal matrisli tozun içerisine ilave edilerek karışım tozları hazırlanmıştır. Daha sonra toz metalurjisi yöntemi kullanılarak AA7075/SiC, AA7075/Al₂O₃ kompozit ve AA7075/SiC-Al₂O₃ hibrit kompozit malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen hibrit/kompozit malzemelerin karakterizasyon ve aşınma davranışları araştırılmıştır.

4.2. Malzemeler

Matris malzemesi olarak kullanılan AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca takviye malzemesi olarak kullanılan Al₂O₃ ve SiC seramik tozlarının özellikleri ise sırasıyla Çizelge 4.2. ve 4.3.’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. AA7075 alaşımının kimyasal birleşimi ve toz boyutu

Al	Mg	Zn	Cr	Zr	Si	Fe	Mn	Cu	Toz Boyutu(μm)
89.6	2.596	5.480	0.012	0.030	0.403	0.549	0.014	1.568	74

Çizelge 4.2. Al₂O₃ tozunun özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Toz Boyutu(μm)
3.97	2040	<32

Çizelge 4.3. SiC tozunun özellikleri

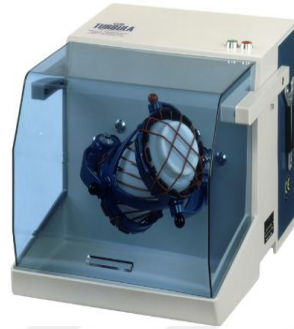
Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Toz Boyutu(μm)
3.21	2545	<44

4.3. Tozların Hazırlanması

AA7075 alüminyum alaşım tozunun içerisine ağırlıkça % 5-%10 ve %15 oranlarında SiC, Al₂O₃ ve hibrit olarak SiC-Al₂O₃ seramik tozları ilave edilmiştir. Matris ve takviye tozların Şekil 4.1’de gösterilen 0,0001 g hassasiyete sahip Presica B-220A marka hassas terazi kullanılarak tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hazırlanan tozlar Şekil 4.2’de gösterilen 3 eksenli Turbula T2F tipi cihazında 30 dk boyunca homojen dağılımın sağlanması için karıştırılma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1. Presica B-220A hasas terazisi



Şekil 4.2. Turbula T2F tipi karıştırıcı

4.4. Tozların Preslenmesi

Matris ve takviye tozlarının homojen dağılımının sağlanması bakımından yeterli süre karıştırma işlemine takiben, hazırlanan karışım tozlar Şekil 4.3'te verilen metal kalıp içerisinde preslenmiştir. Presleme çalışmalarında tek eksenli çift etkili MSE Press Series pres (Şekil 4.4) kullanılarak toz malzemelerden 10 mm çapında hibrit/ kompozit deney numuneleri üretilmiştir. Deney numunelerinin üretilmesinde yaklaşık 2.50 gr matris-takviye toz karışımları kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Deneyde kullanılan metal kalıp



Şekil 4.4. MSE Press Series marka pres çift etkili pres

4.5. Yoğunluk Ölçümleri

Presleme işleminden sonra numunelerin ham yoğunluklarının tespiti için 0,0001 g hassas terazi kullanılmıştır. Sinterleme işlemi uygulanan numunelerin yoğunluk değişimlerinin tespiti için Archimedes yöntemi kullanılarak numunelerin yoğunluk ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için Şekil 4.5'te verilen Sartorius marka yoğunluk ölçüm cihazı deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı

Sinterleme işlemi sonrası yoğunluk ölçümleri denklem 4.1’de verilen Arşimet prensibine göre yapılmıştır [53].

$$d = \frac{m}{V_y - V_s} \quad (4.1.)$$

Denklem 4.1.’ e göre;

d: Yoğunluk (g/cm³)

m: Ağırlık (g)

V_y: Yaş ağırlık (g)

V_s: Su içerisindeki ağırlık (g), değerlerini ifade etmektedir.

4.6. Sinterleme İşlemi

Presleme sonrası elde edilen hibrit/kompozit numuneleri, yüksek sıcaklık dayanımının kazandırılması amacıyla sinterleme işlemi uygulanmıştır. Deney numunelerinin sinterleme işlemi 600 °C sıcaklıkta atmosfer kontrollü ısıtım fırını kullanılarak 60 dakikada gerçekleştirilmiştir. Numunelerde oksitlenmeyi önlemek amacıyla sinterleme çalışmaları yüksek saflıkta argon gazı akışı altında gerçekleştirilmiştir. Sinterleme çalışmaları Şekil 4.6’da verilen ısıtım fırını kullanılarak yürütülmüştür.



Şekil 4.6. Sinterleme fırını

4.7. Metalografik İncelemeler

Numuneler en başta Şekil 4.7’de verilen disk dönüş hızı 30-600 rpm olan ATM Saphir 330:Manyetik Çift diskli zımpara-parlatma cihazında 600-800 ve 1200 numaralı zımparalar

ile su altında zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra parlatma cihazında 3 µm ve 6 µm boyutta parlatma keçeleri kullanılarak elmas pasta ile numune yüzeyleri parlatılmıştır. Son olarak numune yüzeyleri Keller çözeltisi ile (1 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5ml HNO₃, 95 ml H₂O) ile dağlama işlemi yapıldıktan sonra, mikro yapısal incelemeler için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.7. ATM Saphir 330:Manyetik Çift diskli zımpara-parlatma cihazı

4.8. Sertlik Ölçümü

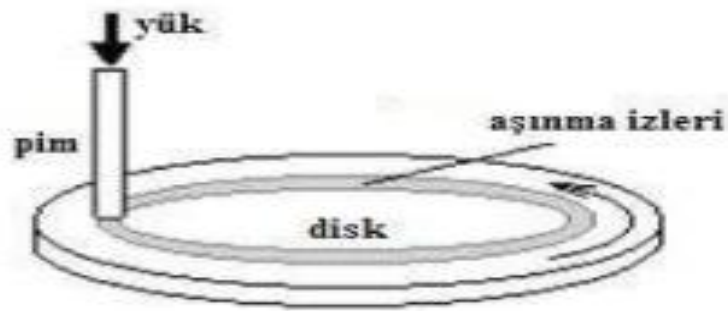
Mikro yapısal karakterizasyon çalışmaları sonrası numunelerin yüzeyinde beş farklı noktadan sertlik değeri alınarak, ortalama bir değer tespit edilmiştir. Şekil 4.8’de görünen EMCO Test Duravision 2000 marka test cihazında Brinell sertlik testi yapılmıştır. Bilye çapı 2,5mm olup 31.20 kg.f yükte, yükleme süresi 5 saniye ile sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



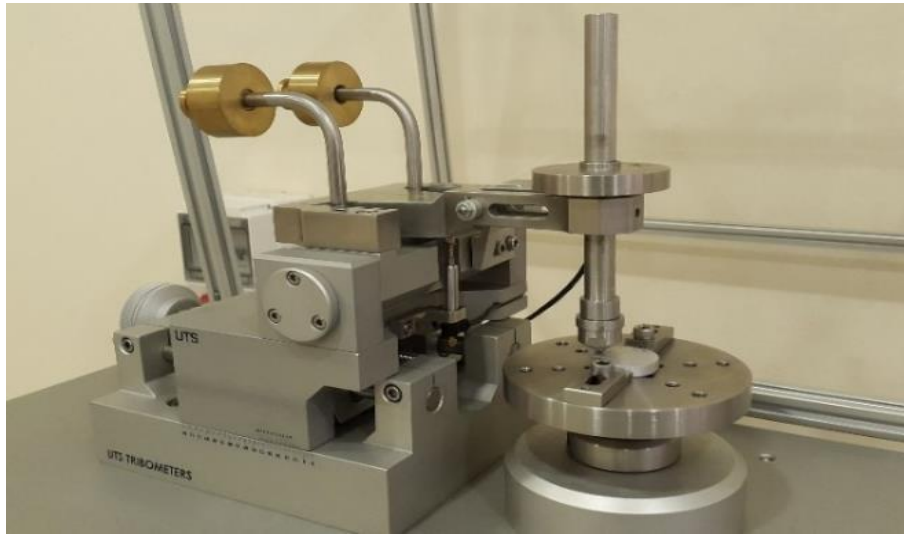
Şekil 4.8. EMCO Test Duravision 2000

4.9. Aşınma Testi

Aşınma deneyleri için adhesif aşınma koşullarında pin on-disk tipi aşınma cihazı ile çalışmalar yapılmıştır. Adhesif aşınma mekanizmasında aşındırıcı olarak Hardox 500 çeliğinden hazırlanan ve 52 HRC sertliğe sahip bir çelik disk kullanılmıştır. Şekil 4.9’da pin on disk test düzeneği şematik olarak gösterilmiştir. Aşınma testleri, 10 N kuvvet, 500 rpm dönme hızı ve 1000-1500 ve 2000 metre aşınma mesafelerinde uygulanmıştır. Hibrit/kompozit deney numunelerinin aşınma testleri Şekil 4.10’da verilen UTS T10/20 tipi triboloji cihazında yapılmıştır.



Şekil 4.9. Pin on Disk Deneyinin Şematik gösterimi

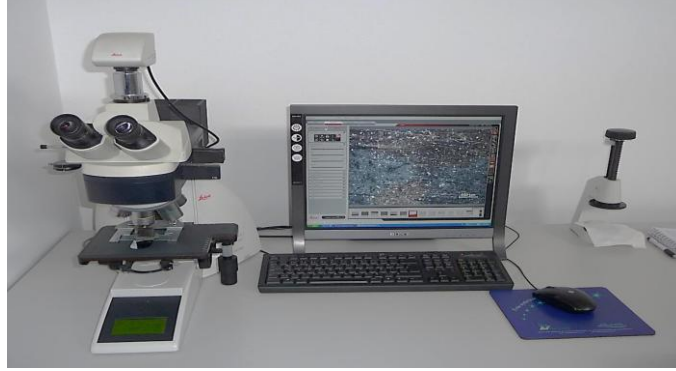


Şekil 4.10. UTS T10/20 tipi triboloji cihazı

4.10. Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri ve Analizleri

AA7075 matrisli Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin metalografik hazırlıklarının arkasından, Şekil 4.11’de verilen LEICA DM 4000M metal mikroskobunda mikro yapı

görüntüleri alınmıştır. Mikro yapı görüntüleri 100X büyütmede alınmıştır. Matris ve takviye arasında presleme ve sinterleme işleminin yapı ve gözenek ilişkisi açısından farklılık teşkil eden bölgeleri incelenmiştir.



Şekil 4.11. LEICA DM 4000M: Metal Mikroskobu

Optik mikroskopta yapılan incelemeler SEM incelemeleri için bir ön hazırlık niteliği taşımaktadır. SEM incelemelerinde numunelerin hem aşınma işlemi uygulanmamış yüzeylerinden hem de aşınma işlemi uygulanmış yüzeylerinden görüntüler alınarak toz numunelerin şekil ve morfolojileri incelenmiştir. AA7075 matrisi ile ağırlıkça farklı yüzdelere sahip Al_2O_3 ve SiC seramik takviye malzemelerin presleme, sinterleme ve aşınma sonrasında oluşabilecek oksitlenme, yapı farklılıkları gibi bölgesel değişimlerini tespit edebilmek için SEM-EDS yardımıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.12’de verilen Jeol JEM 6060 LV Tarama Elektron Mikroskobu (EDS ünitesi mevcut) ile x500 ve x1000 büyütme oranları ile analizler gerçekleştirilmiştir.

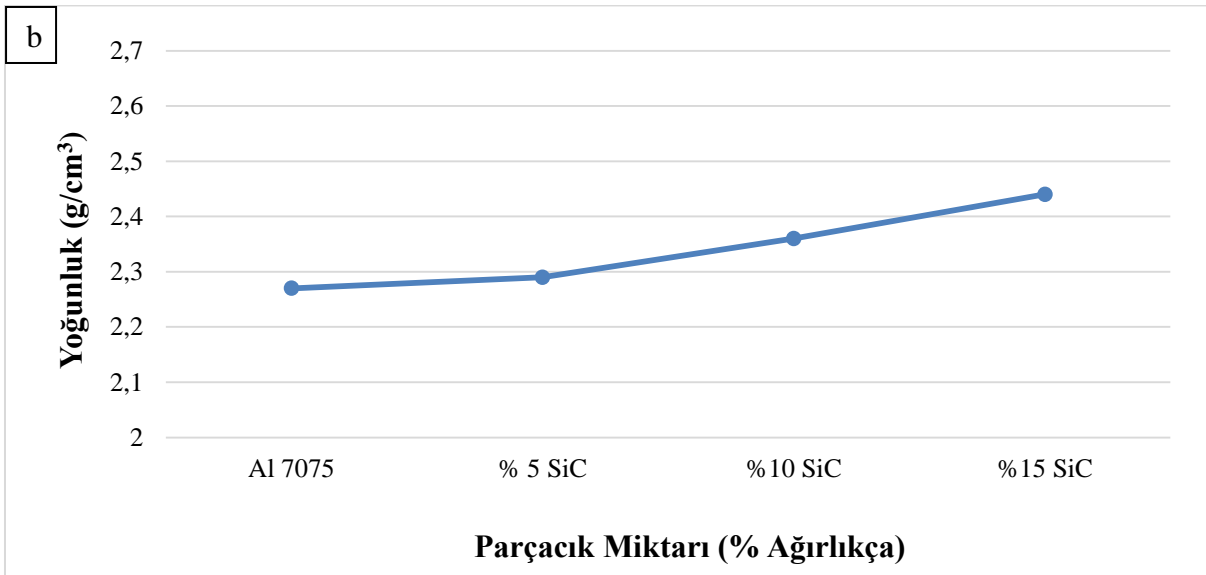
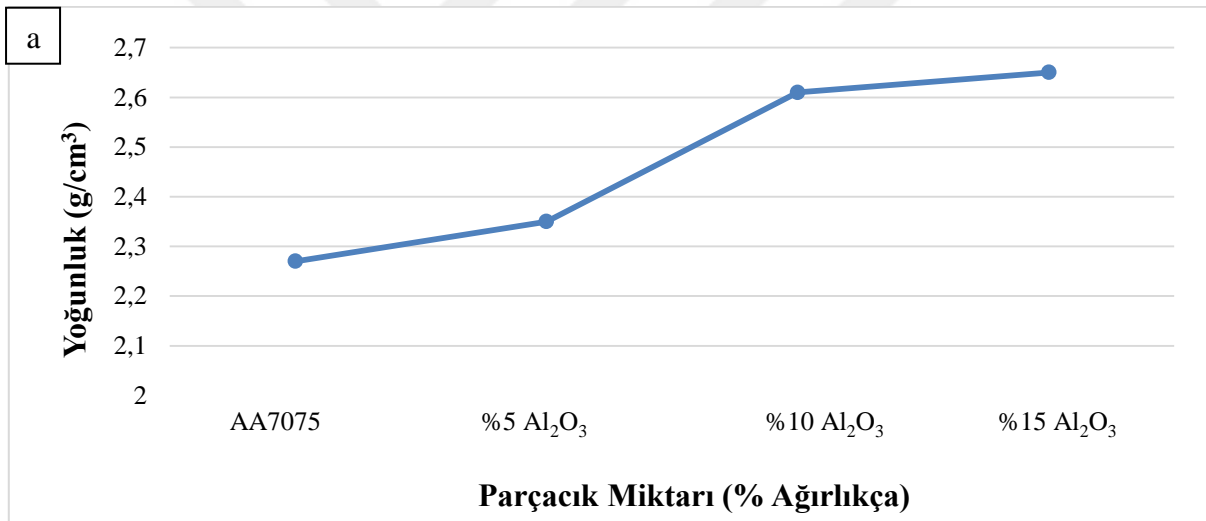


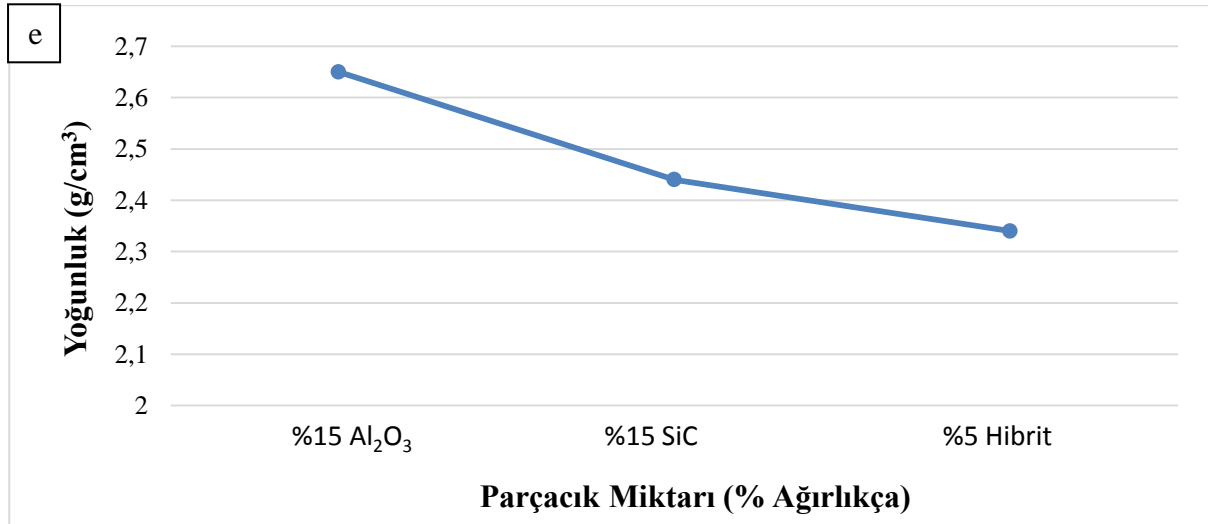
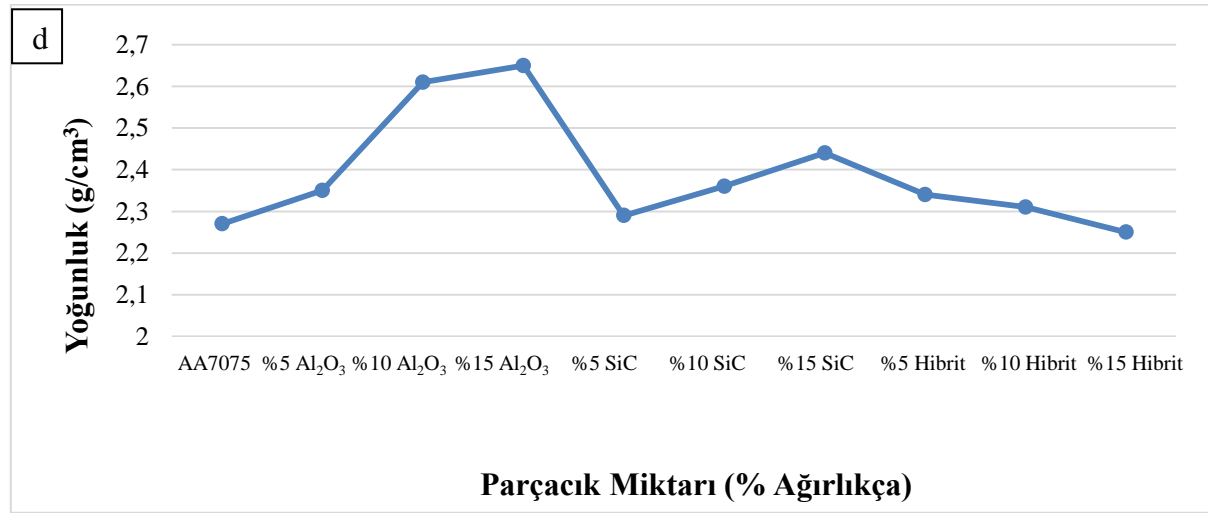
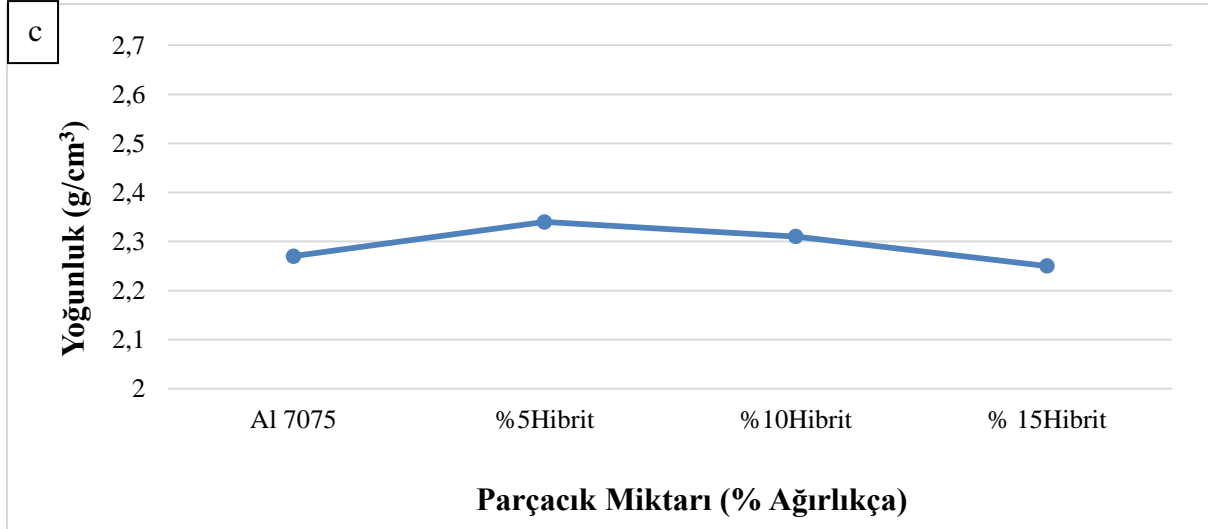
Şekil 4.12. Jeol JEM 6060 LV Tarama Elektron Mikroskobu (EDS ünitesi mevcut)

5.DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Yoğunluk Değişimleri

Sinterleme işlemi sonrası AA7075- Al_2O_3 /SiC seramik parçacık takviyeli hibrit/kompozit malzemelerin presleme işlemi sonrası deney yoğunluğunda artışı sağlanması amaçlanmıştır. Sinterleme işlemi öncesi numunelerin ham yoğunlukları yaklaşık 2.60 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda Şekil 5.1a-b-c'de AA7075 matrisli Al_2O_3 -SiC seramik takviyeli malzemelerin, % parçacık miktarına göre sinterleme sonrası yoğunluk değerleri grafik olarak verilmiştir. Şekil 5.1d ise bu üç farklı takviye malzemesine sahip deney numunelerin yoğunluk değişimi bir arada verilmiştir. 5.1e'de ise farklı parçacık takviyelerine sahip hibrit/kompozit numunelerin sahip oldukları en yüksek yoğunluk değerleri kıyaslanarak verilmiştir.





Şekil 5.1. Sinterleme sonrası numunelerin % parçacık miktarına yoğunluk değerleri;
a) Al₂O₃ b) SiC c) Al₂O₃-SiC (Hibrit) d) AA7075- Al₂O₃/SiC/ Al₂O₃-SiC(Hibrit)
e) Farklı parçacık takviyelerine sahip hibrit/kompozit numuneler

AA7075 alaşımı yoğunluk değerinde sinterleme sonrası %12.69'luk bir azalma meydana gelmiştir. Sinterleme sonrasında Al_2O_3 takviyeli olan numuneler, AA7075 alaşımdan daha yüksek yoğunluk değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. En fazla yoğunluk değerindeki artış, %1.92'lik sinterleme sonrası yoğunluk artışıyla %15 Al_2O_3 'da meydana gelmiştir.

Sinterleme sonrasında SiC takviyeli olan numuneler arasında en fazla azalma %11.92'lik azalma ile %5 takviyeli numunede meydana gelmiştir. Numuneler içerisine takviye malzemesinin ilave yüzdesi artıkça numunelerin yoğunluk değerlerinde artma meydana gelmiştir.

Hibrit takviyeli numuneler içerisinde en fazla azalış %13.46'lık ile %15 hibrit numunede meydana gelmiştir. Numuneler içerisindeki takviye oranı azaldıkça numunelerin yoğunluk değerlerindeki azalma miktarı artmıştır.

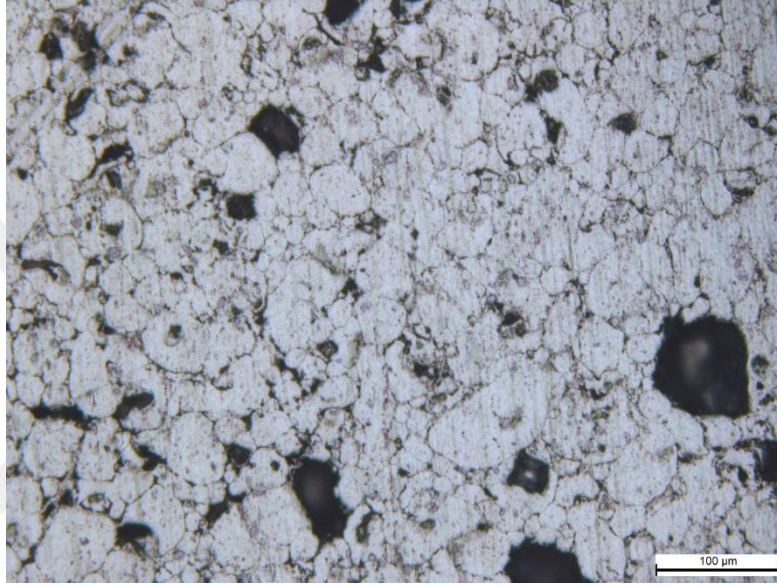
Kamber ve arkadaşının yaptığı bu çalışmada matris malzemesi olarak Al6061 alaşımı, geleneksel takviye elemanlarından SiC ve Al_2O_3 ve atık takviye malzemesi olarak ise kiremit üretimi yapan fabrikalardan toplanarak bilyalı değirmende oğtlp toz haline getirilmiş kiremitler kullanılarak tekli, ikili ve üçlü hibrit kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri %5 kiremit tozu takviyesi %3'lk Al_2O_3 'li hibrit kompozitin porozitesini %3 SiC takviyeli hibrit kompozite göre daha fazla artırdığını tespit etmişlerdir. Porozite değeri yüksek olan %3 kiremit tozu ve %5 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozit, düşük olan ise %3 SiC ve %5 kiremit tozu takviyeli hibrit kompozit olmuştur. Bunun gerçekleşme sebebini ise matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünmektedirler. Takviye malzemesi oranı artırıldııka porozite miktarında artış olduğu belirlemişlerdir [54]. Yapılan bu çalışmada da artan takviye oranına bağlı olarak hibrit numunelerde gözenekliliğine bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

Grafik 5.1d incelendiğinde AA 7075 matrisinin içerisine ilave edilen seramik tozlarından SiC için en iyi yoğunluk sonuçları %15 SiC'de, Al_2O_3 için %15 Al_2O_3 ve hibrit kompozitler arasında ise en iyi sonuç %5 hibritden elde edilmiştir. Tüm numuneler kıyaslandığında ise en iyi sonuç AA 7075-%15 Al_2O_3 elde edilmiştir.

Kumar ve arkadaşının yaptığı bu çalışma da ağırlıkça farklı yüzdelere sahip (0,% 4 %8,%12) Rutil TiO_2 içerisine Al + % 15 SiC toz metalurjisi ile üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranı artıkça plastik değormasyona diren hibrit kompozitlerin yoğunluk artışının meydana geldiği tespit edilmiştir [55]. Yapılan çalışmada hibrit numunelerde % parçacık artışına bağlı olarak sinterleme sonrasında ham yoğunluk değerine kıyasla azalma olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Mikro Yapı Sonuçları

AA7075 matrisli Al_2O_3 /SiC seramik malzeme parçacık hibrit/kompozit numunelerde, takviye tozlarının homojen dağılımı ve numunelerin içerisinde meydana gelen gözenek tane yapısı etkileşimini incelemek için optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.2'de AA7075 alaşımının 100 μ m büyütme oranındaki optik mikroskop görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.2. AA7075 alaşımının 100 μ m büyütme oranındaki optik mikroskop görüntüsü

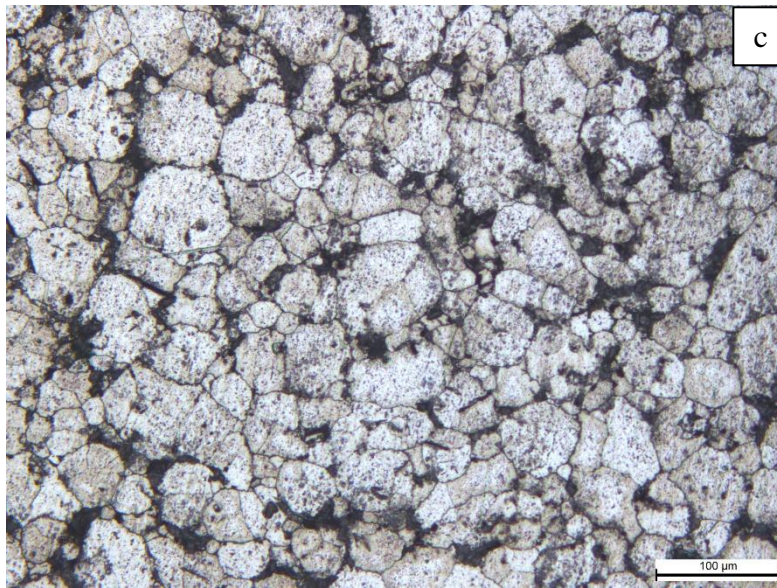
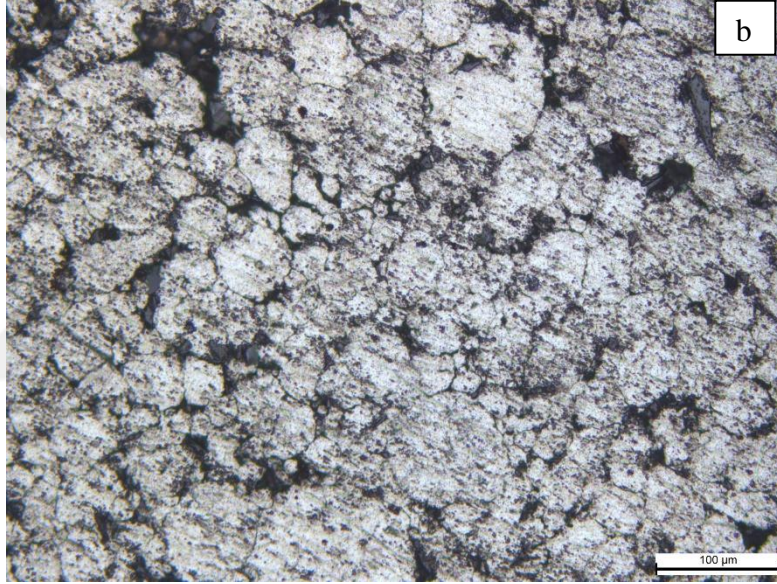
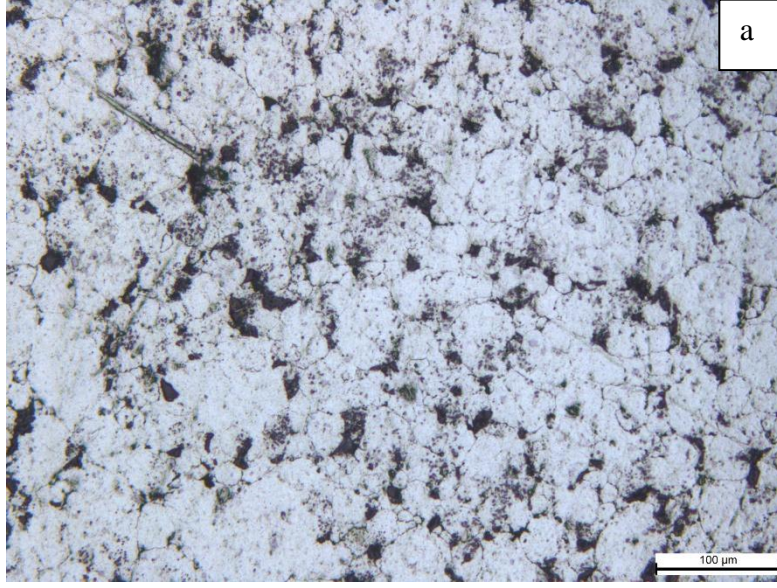
Şekil 5.3 a-b-c'de AA7075 metal matrisli Al_2O_3 seramik takviyeli ağırlıkça (% 5-10-15) kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Farklı Al_2O_3 takviye oranlarına bağlı olarak elde edilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde en fazla gözenek miktarının %15 Al_2O_3 içeren numunelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Takviye Al_2O_3 seramik fazının artışına bağlı olarak malzemedeki gözeneklilik miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.4 a-b-c'de AA7075 metal matrisli SiC seramik takviyeli ağırlıkça (% 5-10-15) kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Bu kompozit numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde en fazla gözenek miktarı %15 SiC takviyeli numunelerde meydana gelmiştir. Takviye malzemesinin artışına bağlı olarak malzemedeki gözeneklilik artmıştır.

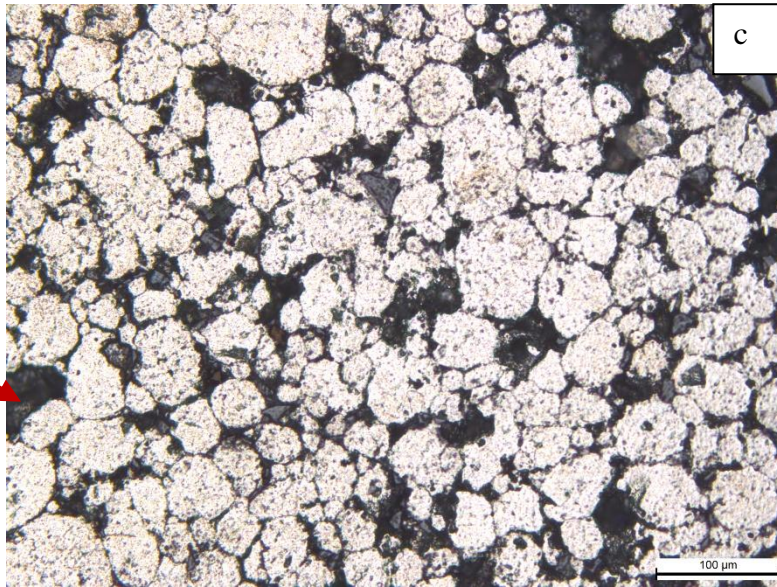
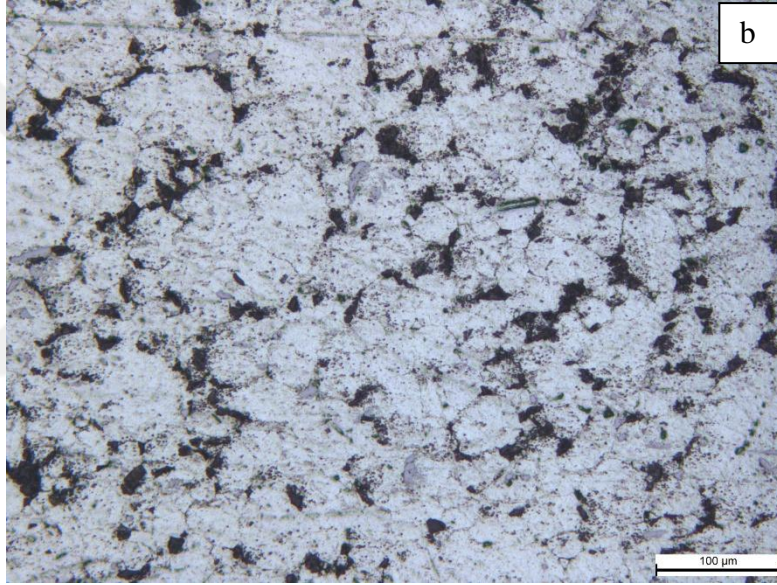
Şekil 5.5 a-b-c’de AA7075 metal matrisli Al_2O_3 -SiC seramik takviyeli ağırlıkça (% 5-10-15) hibrit kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde gözenek miktarı seramik parçacık takviye oranı artıkça artış eğilimi göstermiştir. Bu durumda AA7075 metal matris yapısına kıyasla gözenekli yapının artış miktarı dikkat çekmektedir.

Tek faz takviyeli kompozit numunelere kıyasla hibrit numuneler incelendiğinde takviye malzemesinin matris malzemeye tutunma oranının azalmasına bağlı olarak, en fazla gözenekli yapının hibrit kompozit numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir.





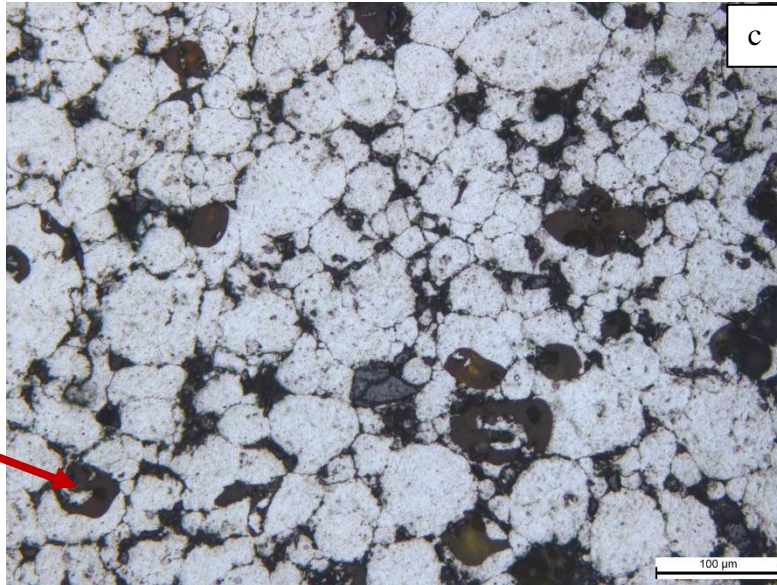
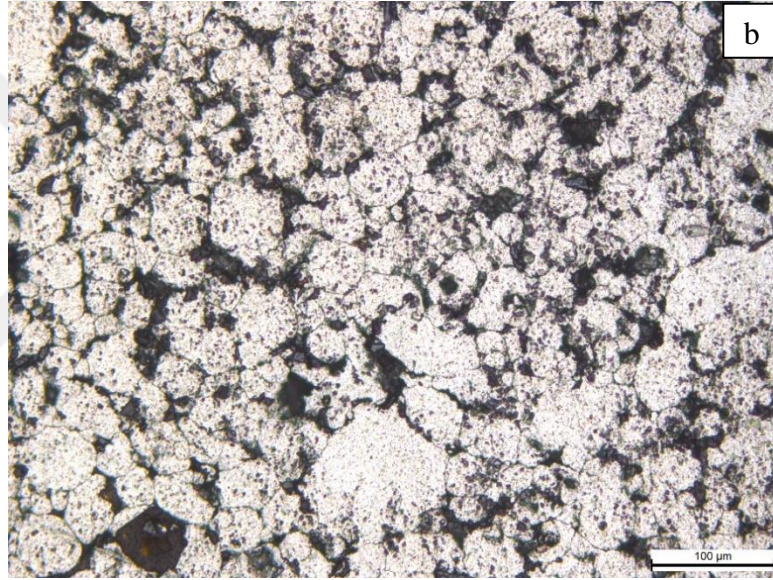
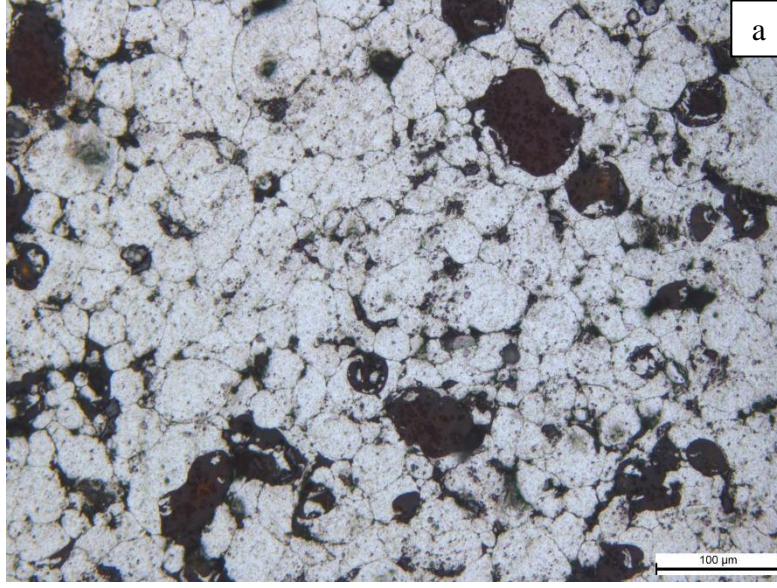
Şekil 5.3. AA7075 matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozit numuneler; a) %5 b) %10 c) %15



Gözenek



Şekil 5.4. AA7075 matrisli SiC takviyeli kompozit numuneler; a) %5 b) %10 c) %15

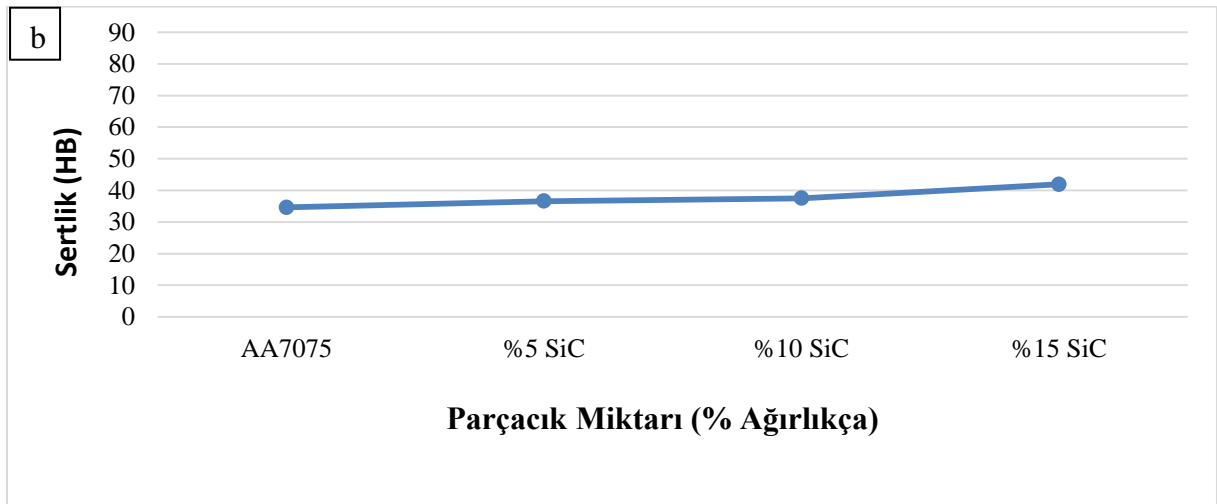
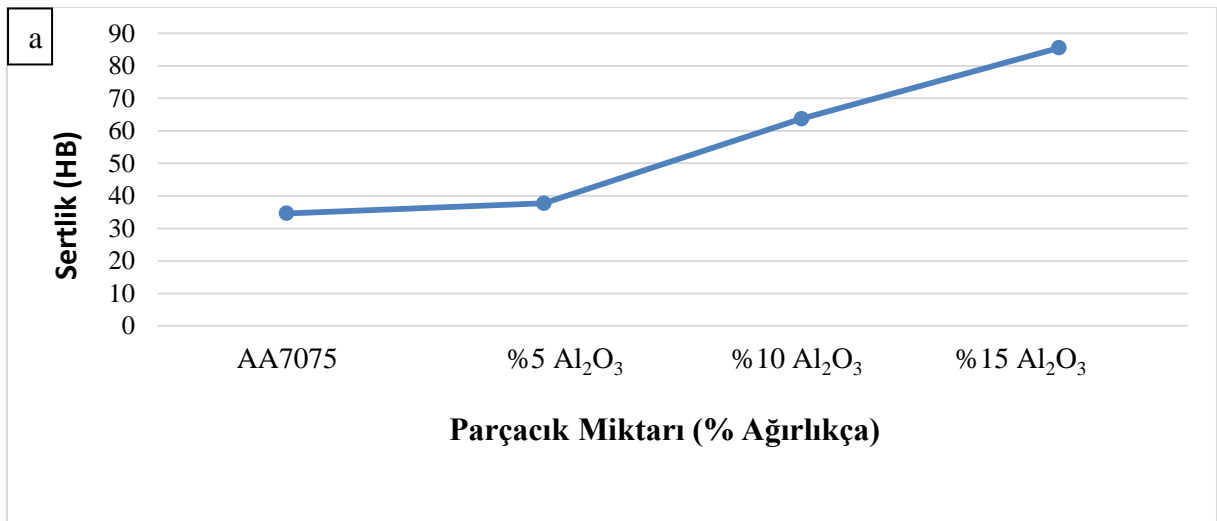


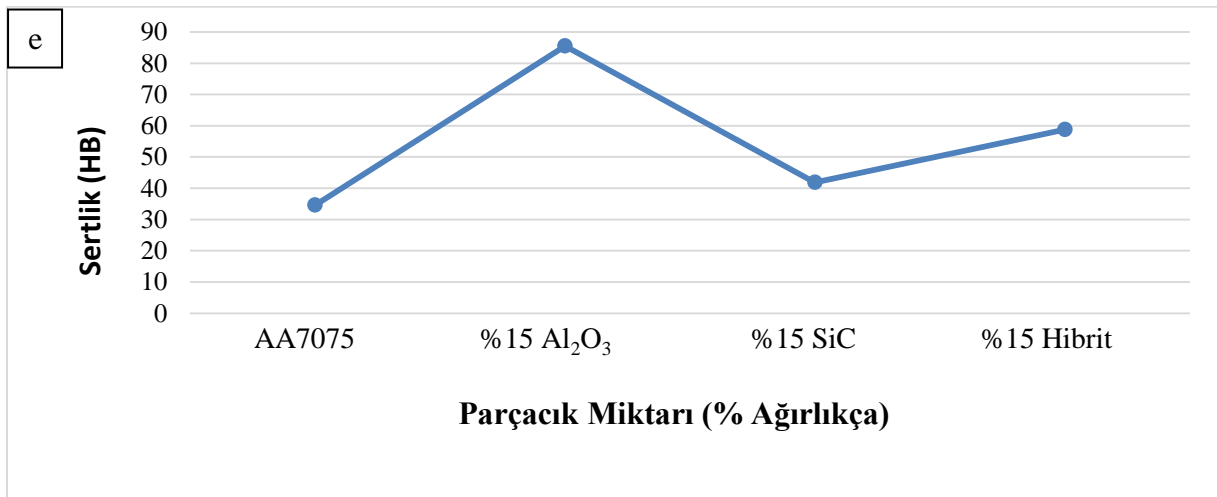
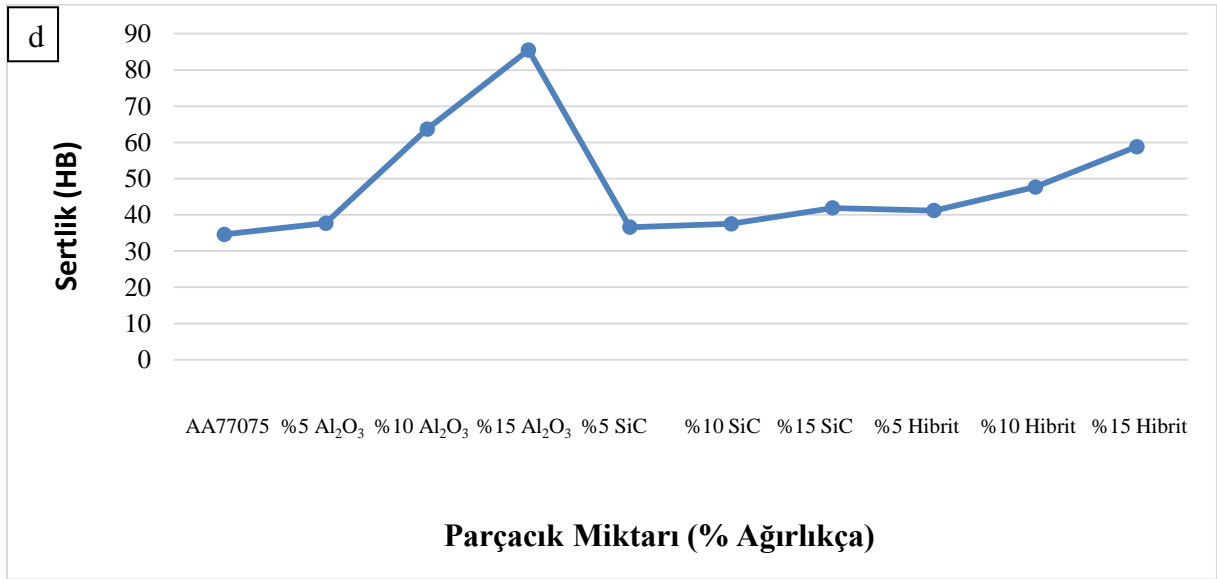
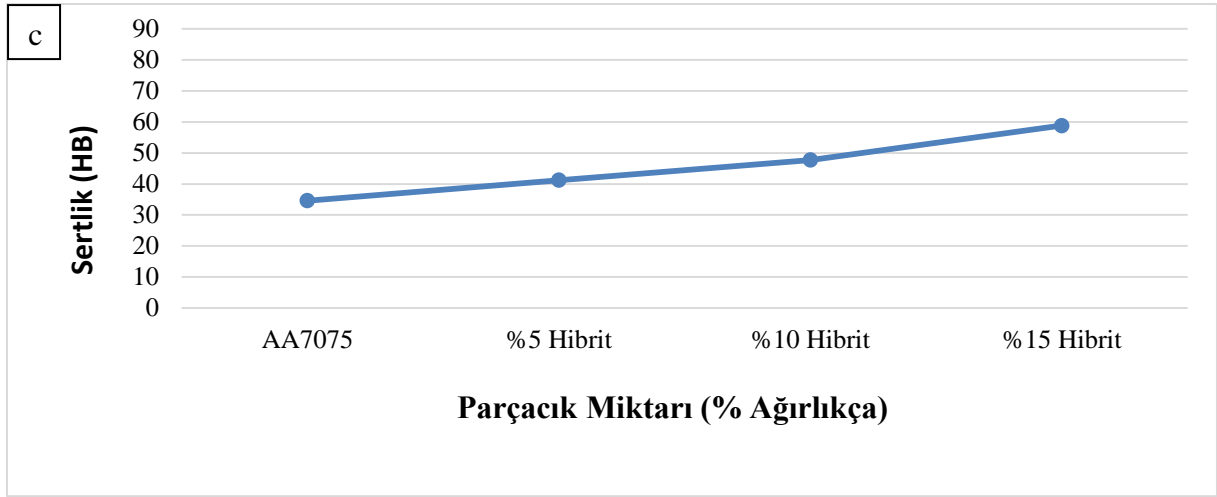
Gözenek

Şekil 5.5. AA7075 matrisli Al_2O_3 -SiC takviyeli hibrit kompozit numuneler; a) %5 b) %10 c) %15

5.3. Sertlik Değerleri

Brinell sertlik deneyi ile hibrit/kompozit numunelerinin beş farklı bölgesinden sertlik ölçüm yapılmıştır. Daha sonra bu ölçümlerinin ortalaması alınmıştır. Şekil 5.6 a-b-c'de AA7075 matrisi ile ağırlıkça yüzde değişen Al_2O_3 (alümina), SiC ve Al_2O_3 -SiC(hibrit) içeren hibrit/kompozit numunelerin brinell sertlik değerleri verilmiştir. Şekil 5.6d ise ana matris yapısı ve seramik takviye fazlarına bağlı olarak hibrit/kompozit numunelerin sertlik değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekil 5.6e'de ise farklı takviye hibrit/kompozit numunelerin en yüksek değere sahip sertlik değeri kıyaslanarak verilmiştir.





Şekil 5.6. Sinterleme sonrası numunelerin % parçacık miktarına sertlik değerleri; a) Al₂O₃ b)SiC c) Al₂O₃.SiC(hibrit) d) AA7075/Al₂O₃/SiC/ Al₂O₃-SiC e)Farklı takviye hibrit/kompozit numuneler

AA7075 metal matrisli Al_2O_3 seramik takviyeli numunelerde, takviye malzemesi içermeyen AA7075'e göre sertlik değerinde artış meydana gelmiştir. Şekil 5.6a AA7075/ Al_2O_3 kompozit numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında takviye malzemesin % ağırlıkça artışına bağlı olarak, sertlik değerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek sertlik değerine sahip numunenin sertlik değeri 85.5 HB ile %15 Al_2O_3 kompozit numunelerinde tespit edilmiştir.

AA7075 metal matrisli SiC seramik takviyeli kompozit numunelerde takviye malzemesi içermeyen AA7075'e göre sertlik değeri daha yüksek olarak belirlenmiştir. AA7075/SiC kompozit numuneleri kendi içerisinde kıyasladığımızda, Al_2O_3 'de olduğu gibi % ağırlıkça takviye malzemesi artığında, numunelerin sertlik değeri de artmıştır. AA7075-SiC numunelerin en yüksek sertlik değeri 41.9 HB ile %15 AA7075/SiC kompozit numunelerde tespit edilmiştir.

AA7075 matrisli Al_2O_3 -SiC seramik takviyeli hibrit kompozit numunelerin, takviye malzemesi içermeyen AA7075'e göre sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. AA7075/ Al_2O_3 -SiC kendi içerisinde kıyaslandığında 58.8 HB ile en yüksek sertlik değeri %15 SiC- Al_2O_3 hibrit kompozit numunelerde elde edilmiştir.

Rao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, AA7075 metal matrisli ile 2 μm boyutuna sahip TiC seramik partikülleri ağırlıkça değişen yüzdelerde (%2-%4-%6-%8-%10) karıştırılarak döküm yolu ile ürettikleri numunelerde yaptıkları deneylerde en fazla sertlik değerine sahip olan numunenin %8 SiC olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları deneylerde takviye malzemenin artışına bağlı olarak numunelerde sertlik değerinde artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir [56]. Yapılan bu çalışmada ise Rao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalara paralel olarak takviye malzemenin artışına paralel olarak sertlik değerinde artışın meydana geldiği tespit edilmiştir.

5.4. Kompozit Numunelerde Aşınma Davranışı

5.4.1. Numunelerin sürtünme katsayıları

Çizelge 5.1'de pin-on-diskte 1000-1500 ve 2000 metrede aşınma testi yapılan hibrit/kompozit numunelerin sürtünme grafiklerinden elde edilen sürtünme katsayılarının ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Hibrit/kompozit numunelerin 1000-1500-2000 metredeki sürtünme katsayıları

Numuneler	1000m'deki sürtünme Katsayısı	1500m'deki sürtünme Katsayısı	2000m'deki sürtünme Katsayısı
AA 7075	0,571	0,567	0,435
%5 Al ₂ O ₃	0,458	0,466	0,530
%10 Al ₂ O ₃	0,769	0,808	0,391
%15 Al ₂ O ₃	0,294	0,592	0,711
% 5 SiC	0,541	0,497	0,500
% 10SiC	0,561	0,490	0,475
% 15 SiC	0,645	0,575	0,688
%5 Al ₂ O ₃ -SiC(hibrit)	0,508	0,408	0,473
%10 Al ₂ O ₃ -SiC(hibrit)	0,683	0,508	0,536
%15 Al ₂ O ₃ -SiC(hibrit)	0,662	0,583	0,650

Takviye malzemesiz AA7075 alaşımının artan kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayılarında azalma meydana gelmiştir.

AA7075 matrisli %5 Al₂O₃ ve %15 Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozit numunelerinde kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayılarında artış meydana gelmiştir. Ancak AA7075 matrisli %10 Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozit numunesinde 1000-1500 metrede kayma mesafesi artışına bağlı olarak sürtünme katsayısının da artış meydana gelirken 2000 metrede azalma meydana gelmiştir.

AA7075 matrisli %5 SiC ve %15 SiC parçacık takviyeli kompozit numunelerin kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayıları arasında paralel bir ilişki tespit edilememiştir. AA7075 matrisli %10 SiC parçacık takviyeli kompozit numunede kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısında azalmalar meydana gelmiştir.

Pin-on disk yöntemi kullanarak benzer şekilde Yıldırım ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada TiAl₃ takviye fazını elde edebilmek için toz metalurjisi yöntemi ile AA7075 alaşımına % 4 Ti ve ağırlıkça farklı yüzdelere sahip B₄C (%3-%6-%9) ekleyerek hibrit kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri bu hibrit kompozit numuneler üzerinde 500m-1000m-1500m-2000m-2500m ve 3000 m'de 30 N yükü altında 1 m⁻¹ kayma hızında aşınma testleri yapmışlardır. Bu testler sonucunda en düşük sürtünme katsayısını % 4 Ti+ %3 B₄C alaşımı kompozit numunelerde elde etmiştir. Sürtünme katsayısında yüzde malzeme artışına bağlı olarak paralel bir sürtünme katsayısı artışı meydana gelmediğini tespit etmişlerdir [57].

Yapılan bu çalışmada da Yıldırım ve arkadaşının yaptığı çalışmalara benzer nitelikte sonuçlar elde edilmiştir. Artan Al_2O_3 ve SiC parçacık takviyesi ile sürtünme katsayıları arasında paralellik tespit edilmemiştir.

AA7075 matrisli %5-10-15 Al_2O_3 /SiC seramik takviyeli hibrit kompozit numunelerde artan kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısı değerinde her hangi bir paralellik tespit edilememiştir. Ancak 1500 ve 2000 metrede artan takviye oranına bağlı olarak sürtünme katsayılarında artışın olduğu tespit edilmiştir. Tüm hibrit numunelerin 1000 metredeki sürtünme katsayıları en yüksek değerde seyrederken, en düşük sürtünme katsayısı değerini ise 1500 metrede çıkmıştır.

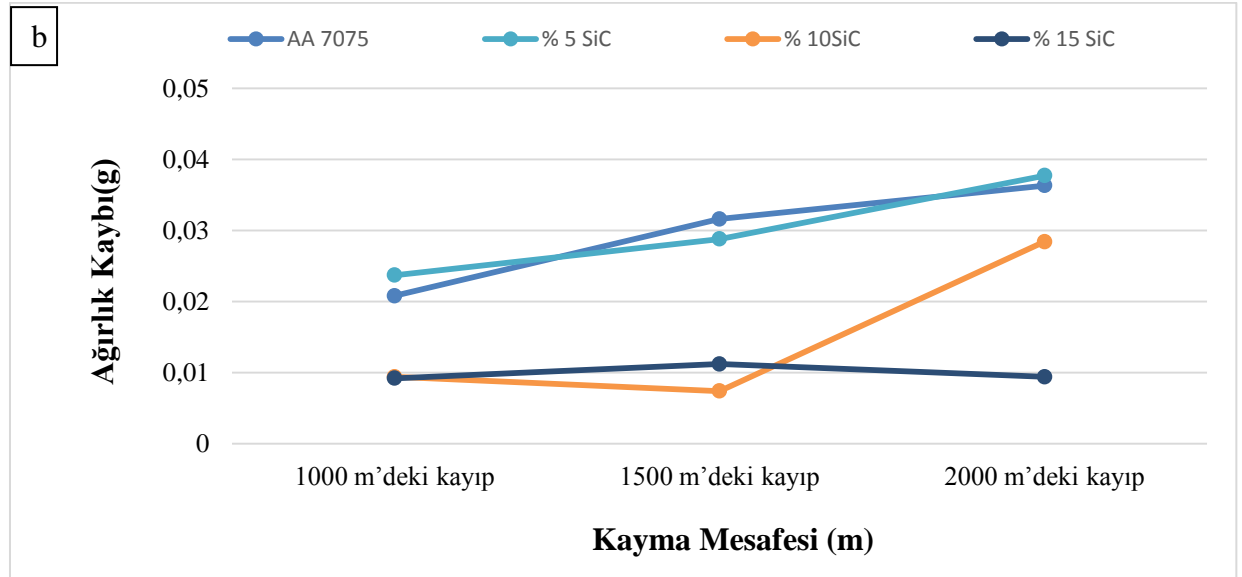
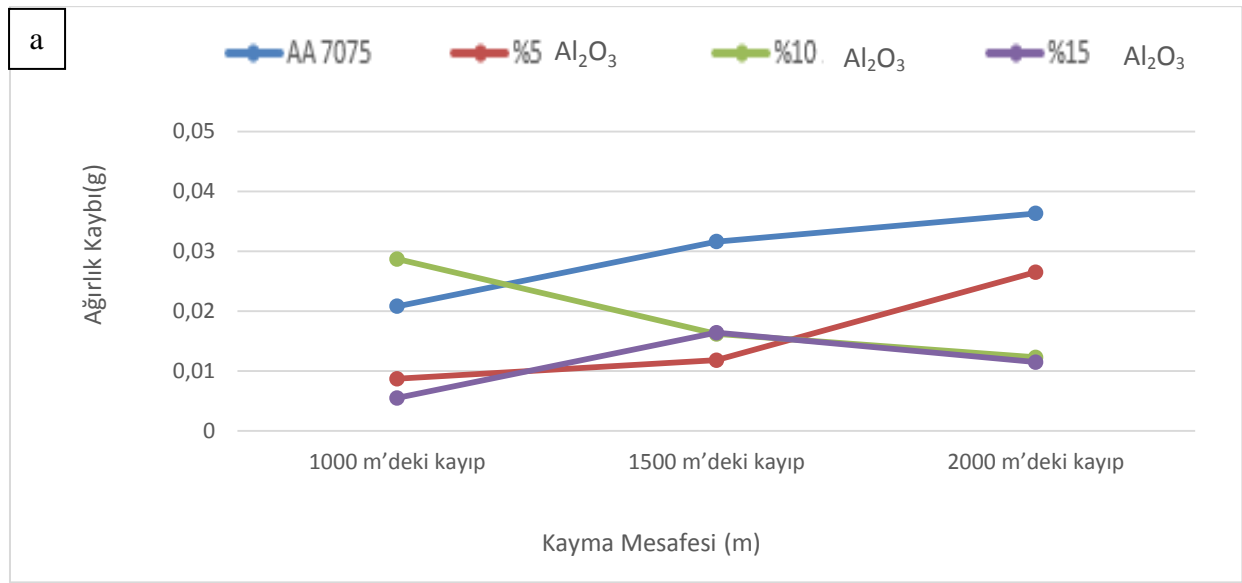
Lakshmipathy ve arkadaşının yaptıkları bir başka çalışmada ise ağırlıkça farklı yüzdelere sahip (%10-%15-%20) AA7075/ SiC ve AA6061/ Al_2O_3 döküm yöntemini kullanarak pistonlu aşınma test cihazında farklı yük koşulları altında farklı vuruş sayılarında aşınma testi yapmışlardır. Test sonucunda sürtünme katsayıları vuruş sayısındaki artış ile azaldığını tespit etmişlerdir. AA7075 ve AA6061 alaşımların sahip olduğu sürtünme katsayısı Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozit malzemelerden daha düşük çıkmıştır. AA7075/ SiC ve AA6061/ Al_2O_3 kompozitleri birbiri ile kıyaslandığında sürtünme katsayısının büyüklüğü AA7075/SiC numuneden daha yüksek olarak tespit etmişlerdir [58].

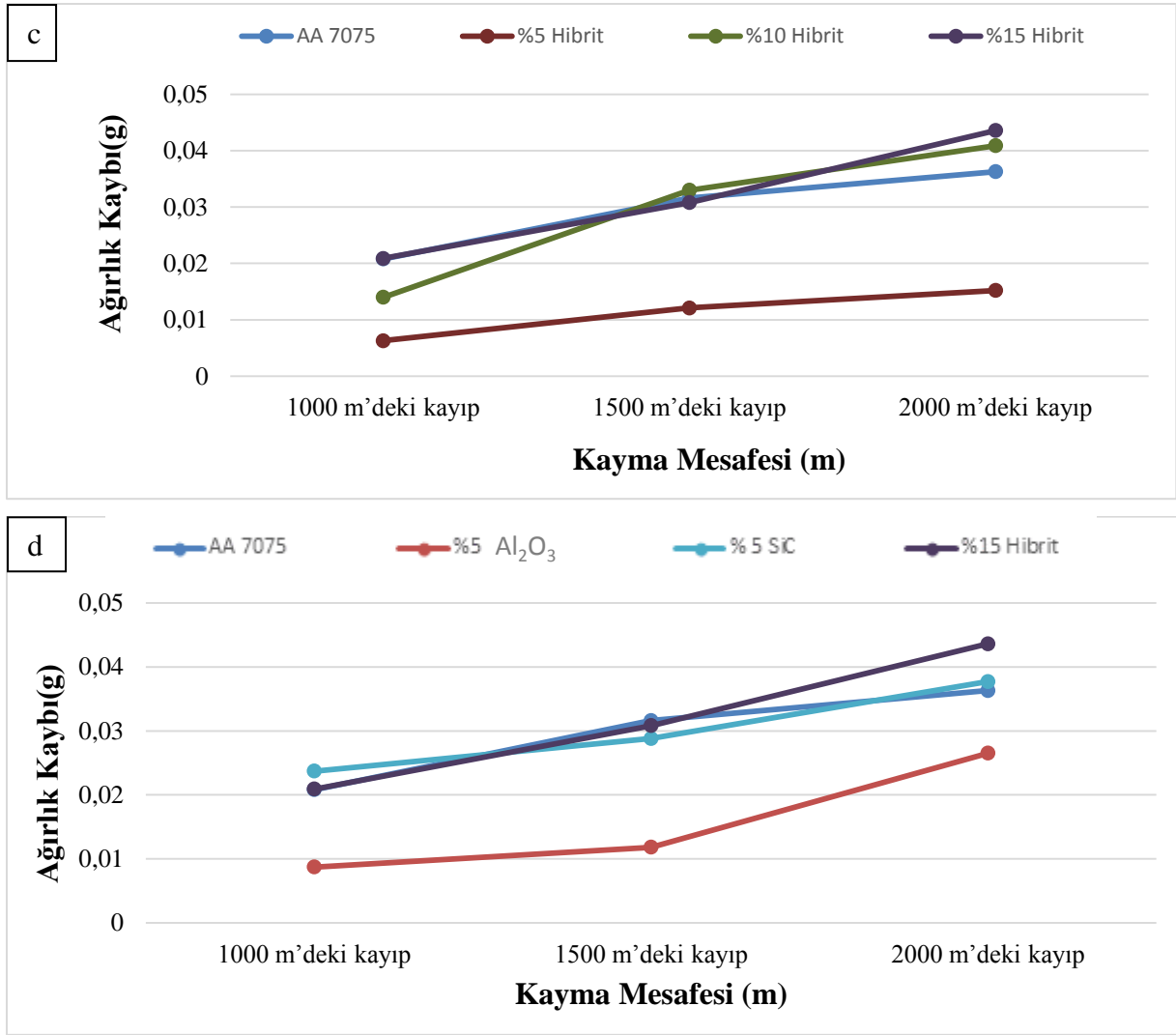
Benzer çalışmalar dikkate alındığında AA7075 alaşımının kullanılan takviye malzemeler ile sürtünme katsayısında artışların meydana geldiği tespit edilmiştir. Al_2O_3 ve SiC takviyeli numunelerde sürtünme katsayılarında takviye oranına bağlı olarak önemli bir artışın meydana gelmediği tespit edilmiştir. Ancak hibrit kompozitler de, yüzde ağırlık miktarı artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı ise % 15 Al_2O_3 -SiC hibrit kompozit numunelerde meydana gelmiştir.

5.4.2. Aşınma sonucu kayıplar

AA7075 matrisi ve %5-10-15 ağırlıkça yüzdelere sahip Al_2O_3 ve SiC seramik malzeme takviyeli kompozit-hibrit numuneler aşınma test cihazında 10 N yük, 500 rpm dönme hızında 1000-1500 ve 2000 metrede deneye tabi tutulmuştur. Her bir aşınma mesafesinde numuneledeki kayıplar hassas terazi ile hesaplanmıştır. Deney numunelerine ait elde edilen ağırlık kayıpları ise Şekil 5.7 a-b-c'de sırasıyla verilmiştir. Takviyesiz AA7075, Al_2O_3 ve SiC takviyeli hibrit/kompozit deney numunelerinin ağırlık kayıpları incelendiğinde, genel olarak

2000 metre kayma mesafesinde artan takviye oranına bağlı olarak ağırlık kaybı daha az olmuştur. Özellikle takviyesiz AA7075 malzemesinde artan kayma mesafesi ile ciddi oranda ağırlık kaybı artmıştır. Bu durum matris ile uyumlu sert takviye fazlarının aşınma mekanizmasındaki etkinliğini göstermektedir. Ağırlık kayıplarının özellikle 1000 metre başlangıç kayma mesafesinde ve başlangıç yollarında rodaj olarak da belirtilebilen ilk etapta yüksek seyretmesine sebep olmuştur. Artan kayma mesafesi ile aşınma mekanizmasının özellikle sert seramik fazlarında etkisiyle ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 5.7d ise farklı takviye malzemelere sahip hibrit/kompozit numunelerde en fazla meydana gelen malzeme kayıplarının kıyaslaması yapılmıştır.





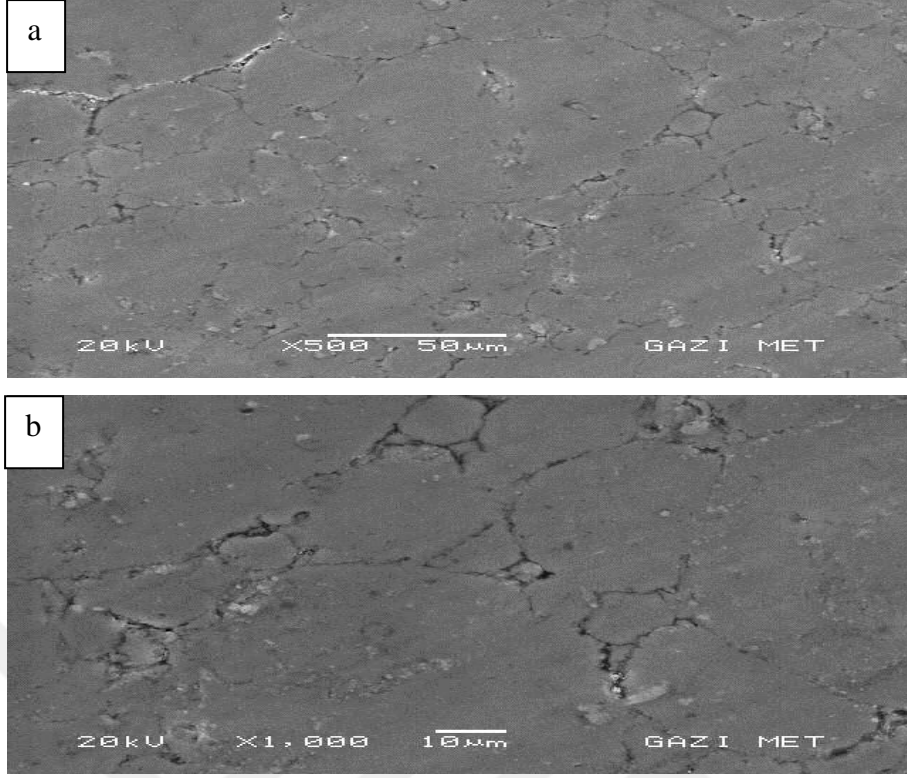
Şekil 5.7. Aşınma sonucu kayıplar a) Al₂O₃ takviyeli b)SiC takviyeli c) Al₂O₃.SiC hibrit takviyeli d)Farklı takviye malzemeye sahip hibrit/kompozit numuneler

Haq ve arkadaşının yaptıkları benzer bir çalışmada ise, matris malzeme olarak AA7075 takviye malzeme olarak ağırlıkça %8 Si₃N₄ ve ağırlıkça değişen (%0-%2-%4-%6) oranlarında Gr takviyesi eklenerek döküm yöntemi ile hibrit kompozitler elde etmişlerdir. Üretilen bu hibrit kompozitler 1 m/s kayma hızında 1500m sabit mesafede 10N-20N-30N-40N ve 50N yük de ve 30N yük altında 4m/s ve 7 m/s kayma hızlarında pin on disk ile aşınma testleri yapılmıştır. Yaptıkları bu testler sonucunda aşınma kaybının AA7075+%8 SiC+%4 Gr kadar azaldığı daha sonra ise aşınma kaybında artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Yük artışına ve hız artışına bağlı olarak malzeme kaybında artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Ağırlıkça yüzde artışına bağlı olarak malzeme kaybı arasında bağlantı tespit edilememiştir [59].

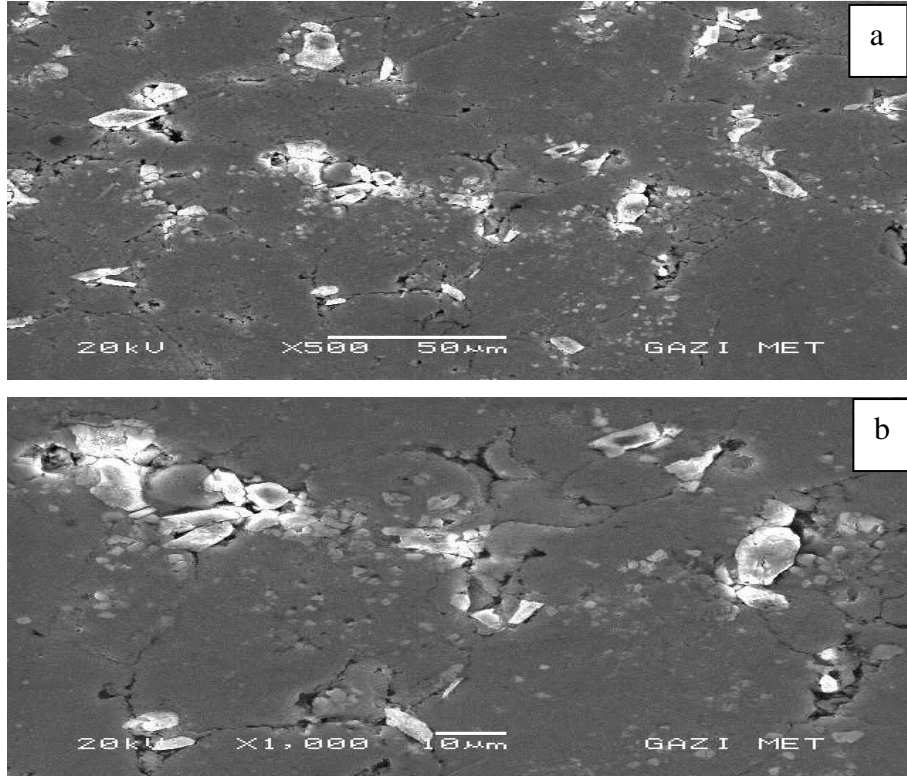
Yapılan bu çalışmada ise özellikle hibrit deney numunelerinde, tek faz seramik takviyesine kıyasla ağırlık kayıpları giderek artmıştır. Özellikle hibrit kompozit numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında en az ağırlık kaybı %5 Al₂O₃/SiC takviyeli deney numunelerde meydana gelmiştir. En fazla kayıp ise %15 Al₂O₃/SiC(hibrit) numunede meydana gelmiştir. Hibrit numunelerde sürtünme katsayısı ile malzeme kayıpları arasında paralellik tespit edilmiştir. Tek fazlı takviye malzemesine kıyasla hibrit takviye malzeme (Şekil 5.7d) daha fazla malzeme kayıpları meydana gelmiştir.

5.5. SEM ve EDS analiz sonuçları

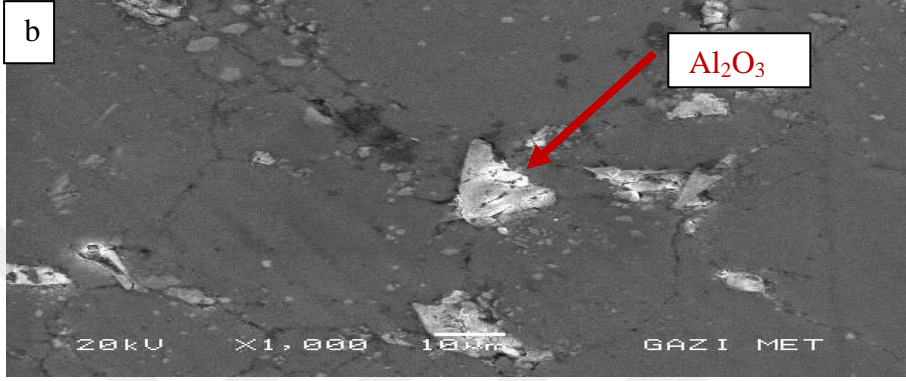
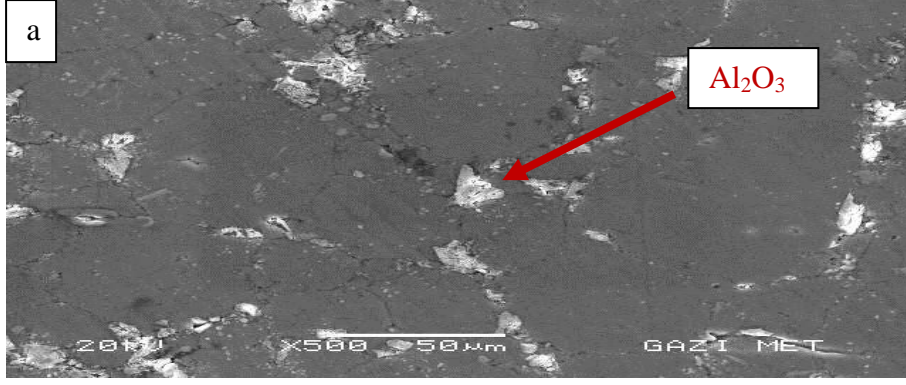
Şekil 5.8’de verilen takviye malzemesi içermeyen AA 7075 metal matrisli yapısının SEM görüntüleri incelendiğinde sinterlemeye bağlı olarak gözenek-tane yapılı etkileşimi açık bir şekilde görünmektedir. Özellikle tane yapısı ve tane sınırlarında ortaya çıkan gözenekliliklerin yüksek sıcaklık dayanımı açısından sinterlemenin tamamlandığı belirtilebilir. Şekil 5.9-5.14’de verilen tek faz seramik takviyesi üretilen kompozit malzeme SEM görüntüleri incelendiğinde, takviye fazın artışına bağlı olarak metal matris yapısında gözenek dağılımlarının artışı açık olarak görülebilmektedir. Şekil 5.15-5.17’de genellikle her iki seramik (Al₂O₃-SiC) takviye fazı artışına bağlı olarak (%15), tane sınırlarında gözeneklilik miktarının arttığı söylenebilir. Özellikle Al₂O₃ fazının daha düzensiz şekilli yer aldığı görülürken, SiC seramik fazının poligonal yapılarında tane sınırlarında dağılımından bahsedilebilir. Hibrit kompozit numunelerinde de takviye malzeme miktarının artmasıyla Al₂O₃-SiC dağılımının yoğunluğu mikro yapıda görülebilmektedir. Çoğunlukla tane sınırı ve tane sınırına yakın bölgede yer alarak tane birleşmesini engelleyerek, gözenek miktarını artırmaktadır.



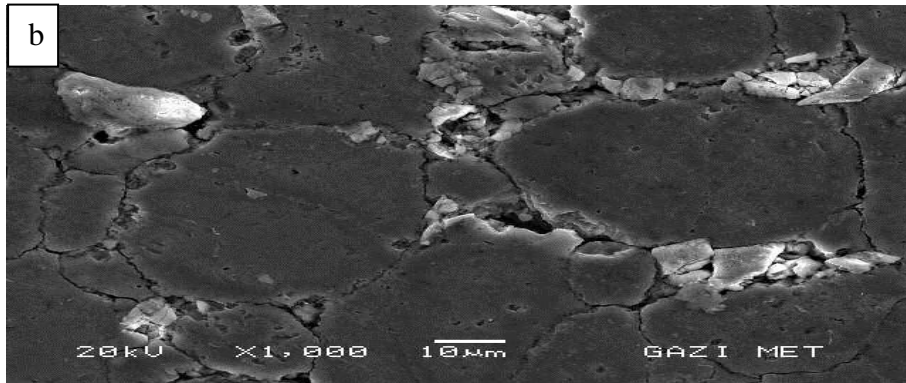
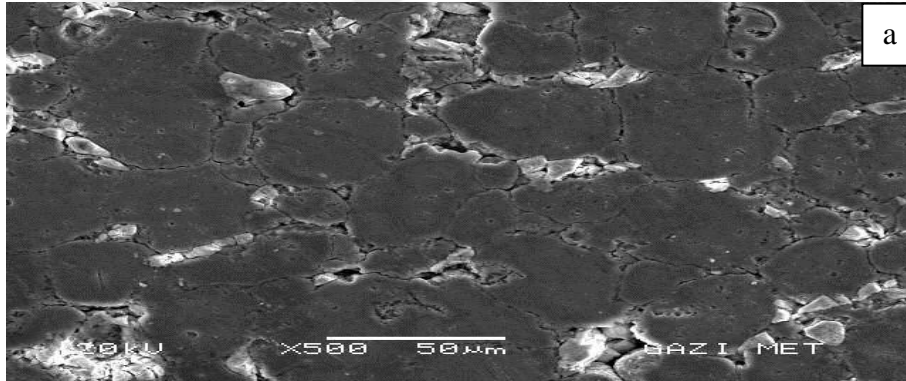
Şekil 5.8. Takviye malzemesiz AA 7075'in farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



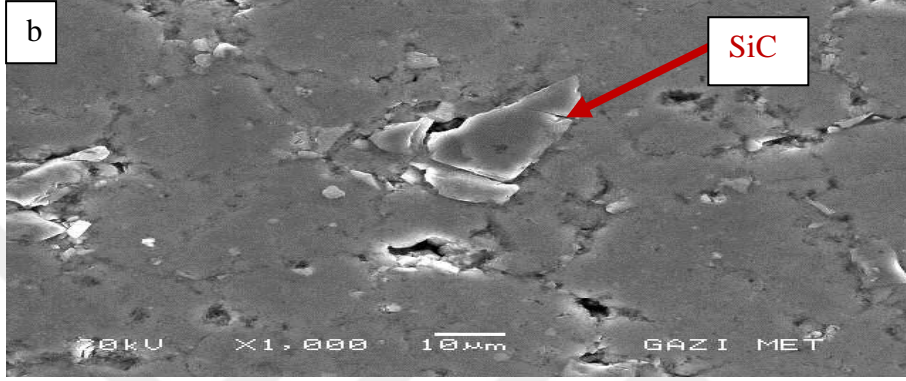
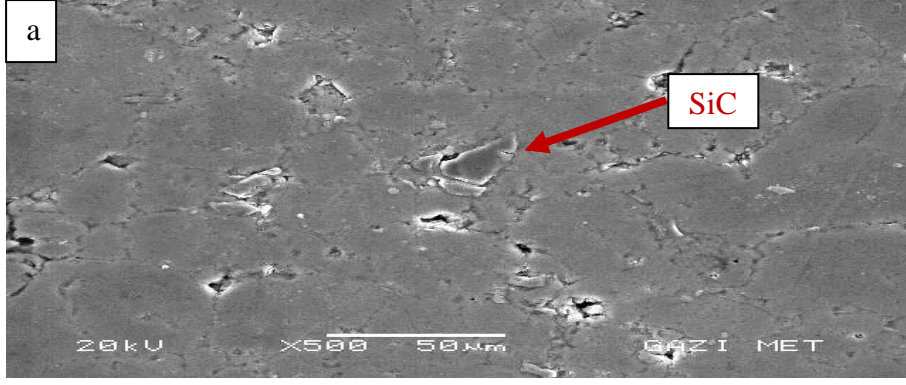
Şekil 5.9. %5 Al₂O₃'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



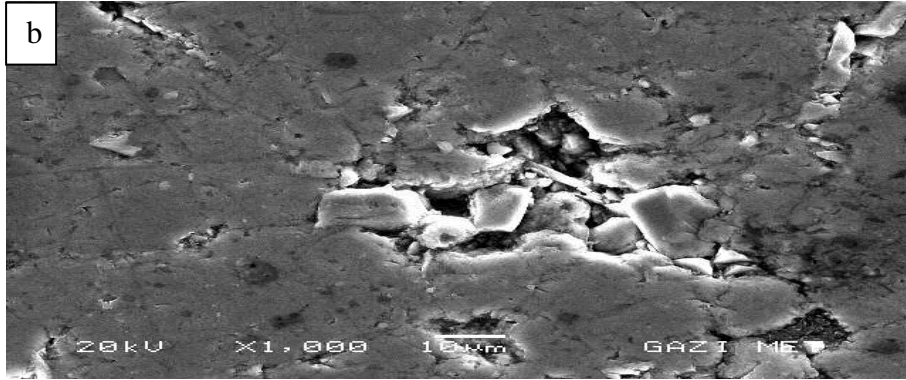
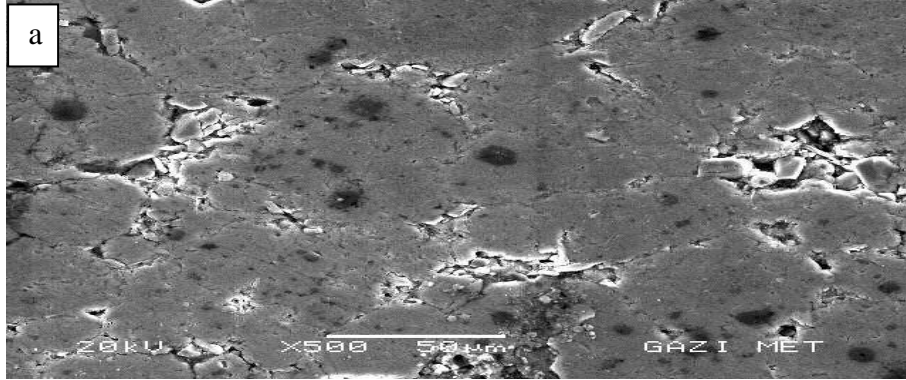
Şekil 5.10. %10 Al_2O_3 'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



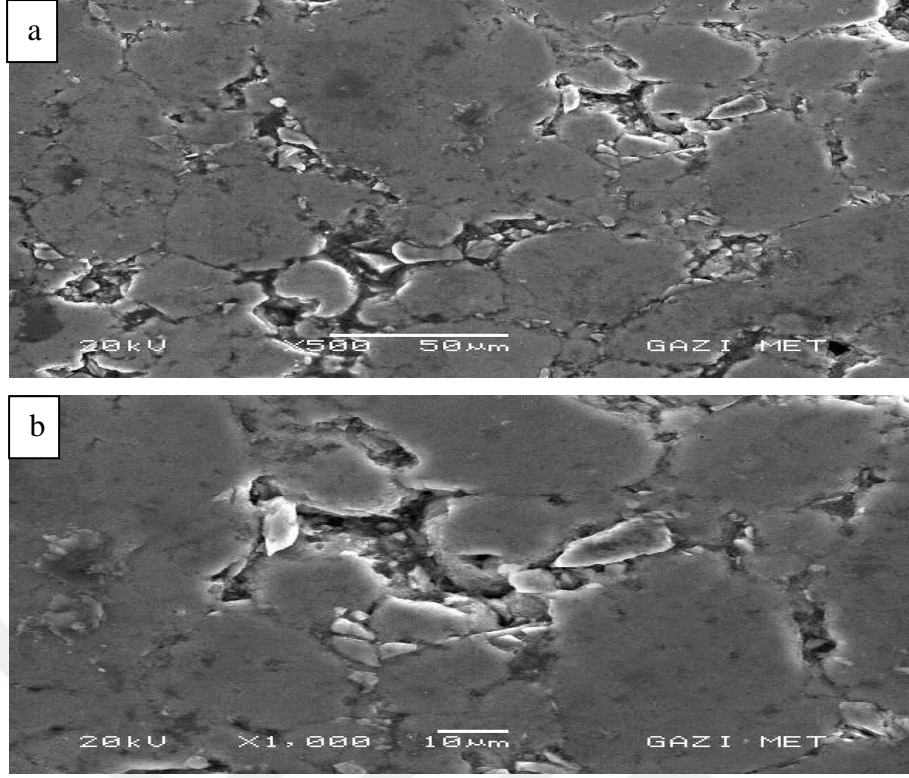
Şekil 5.11. %15 Al_2O_3 'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



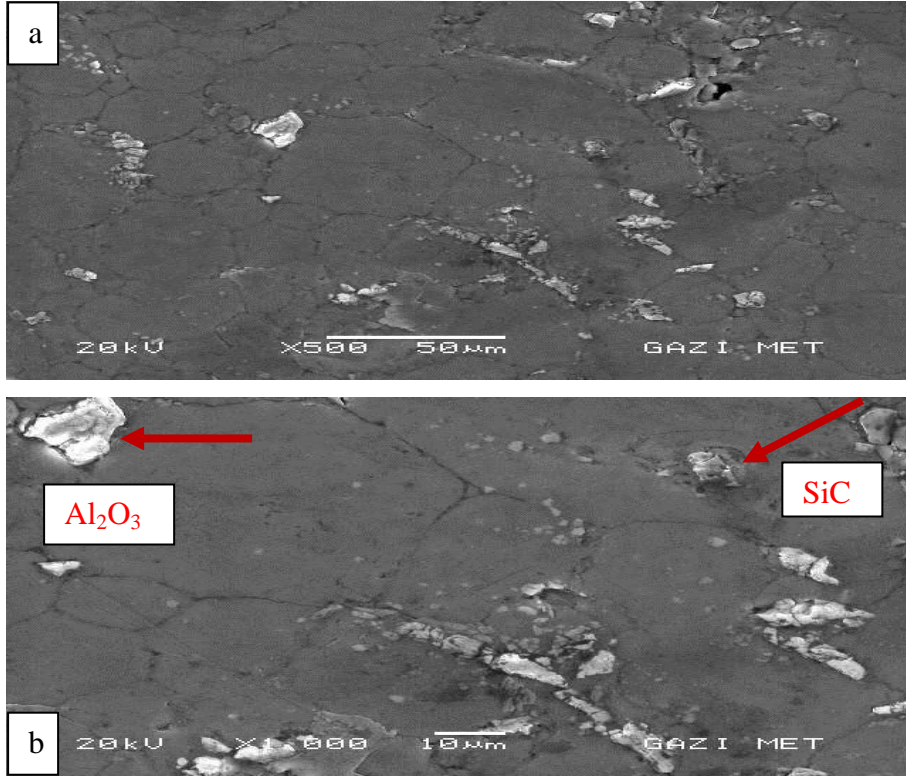
Şekil 5.12. %5 SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



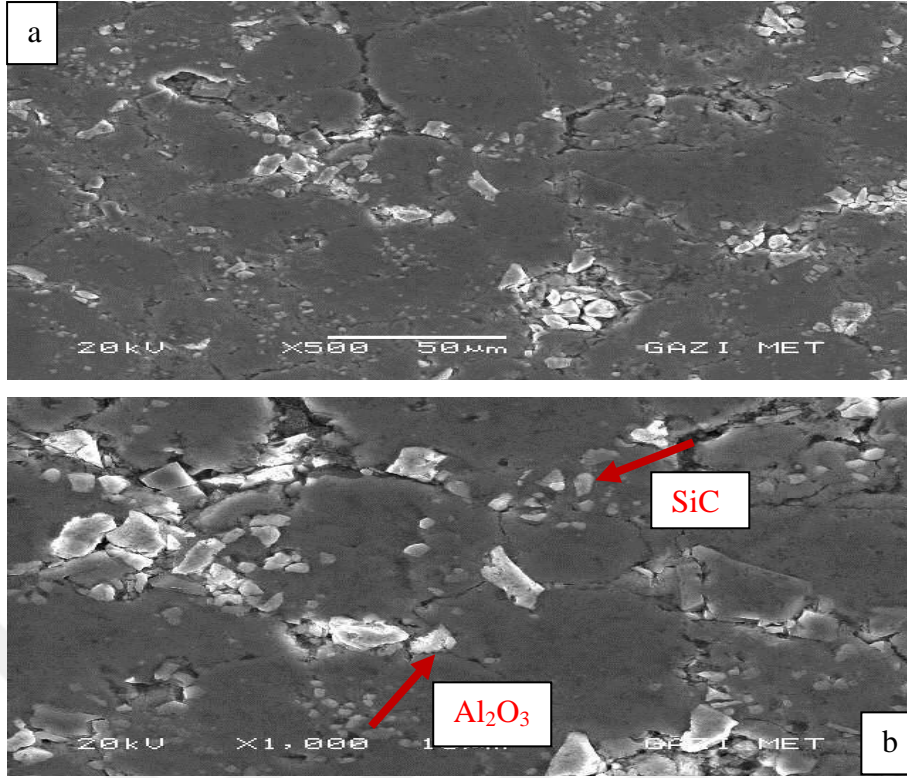
Şekil 5.13. %10 SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



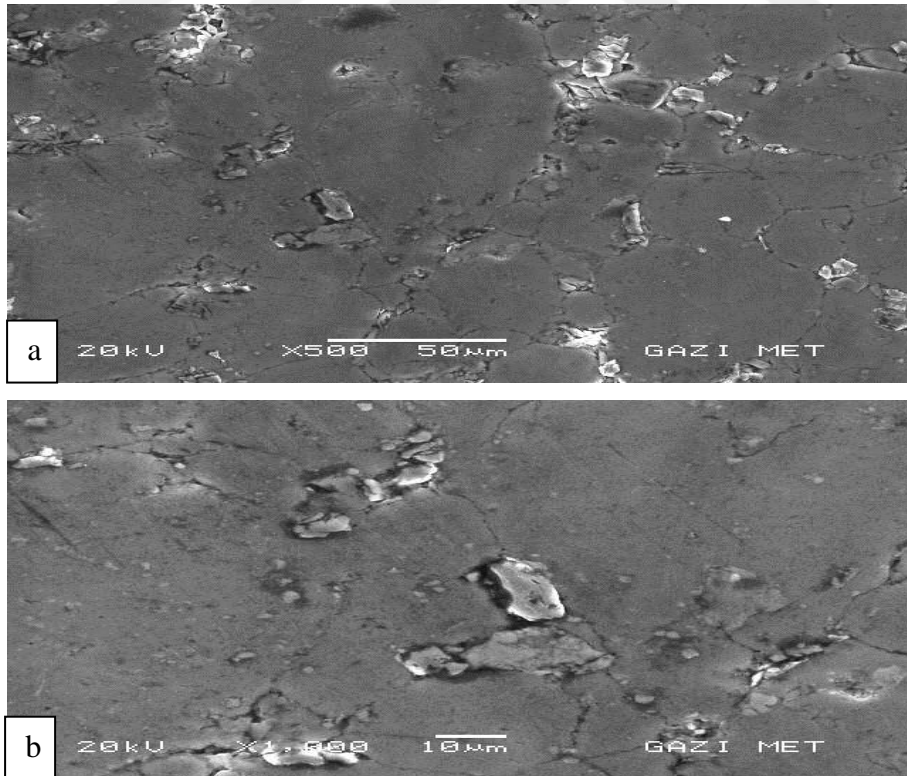
Şekil 5.14. %15 SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000



Şekil 5.15. %5 Al₂O₃-SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000

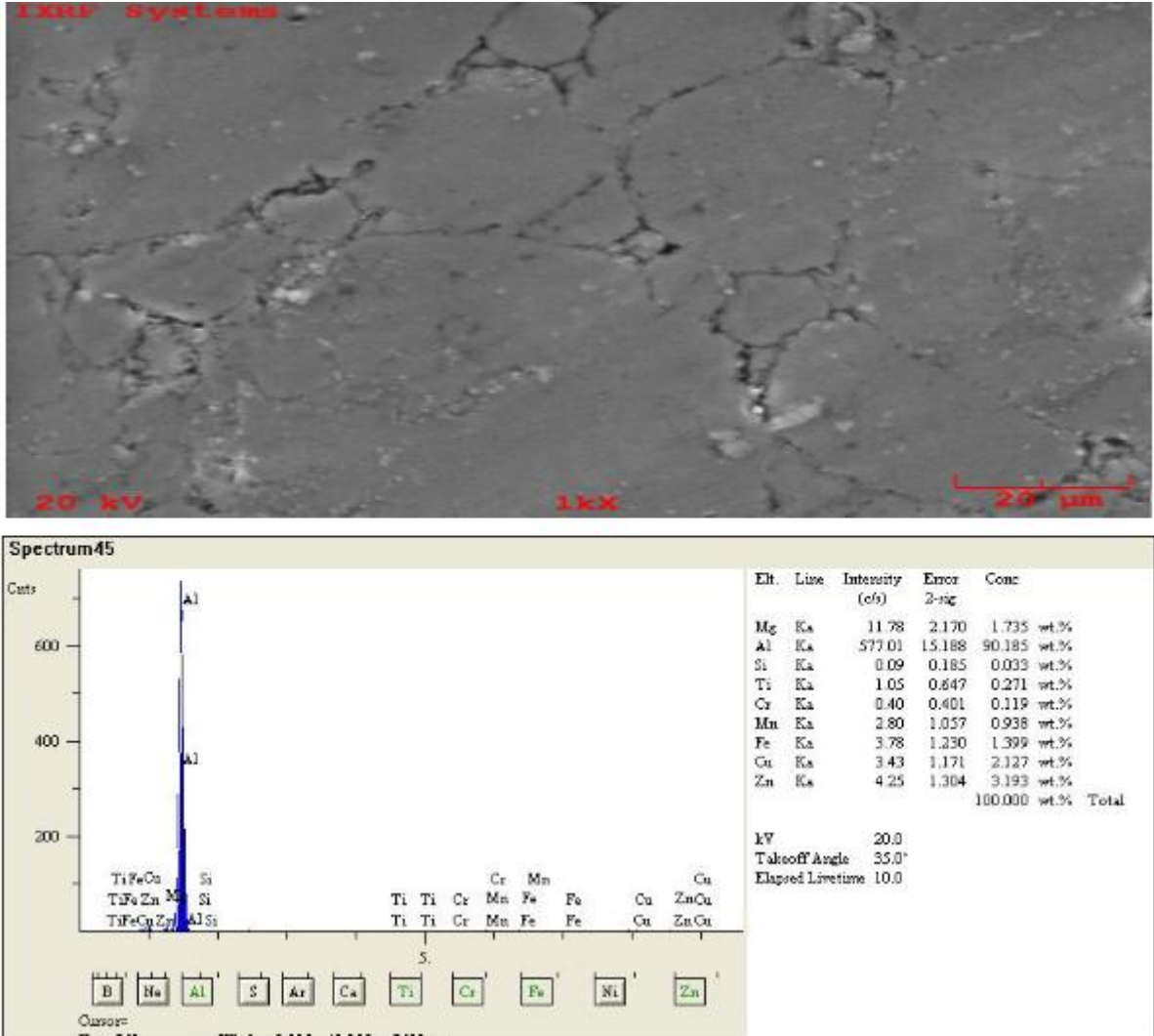


Şekil 5.16. %10 Al₂O₃-SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b)1000



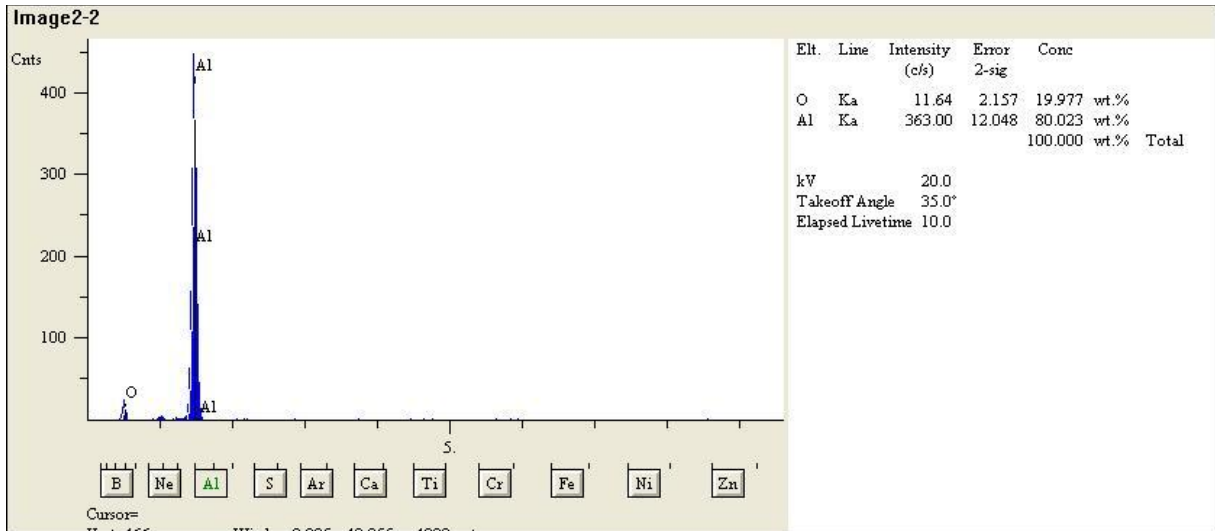
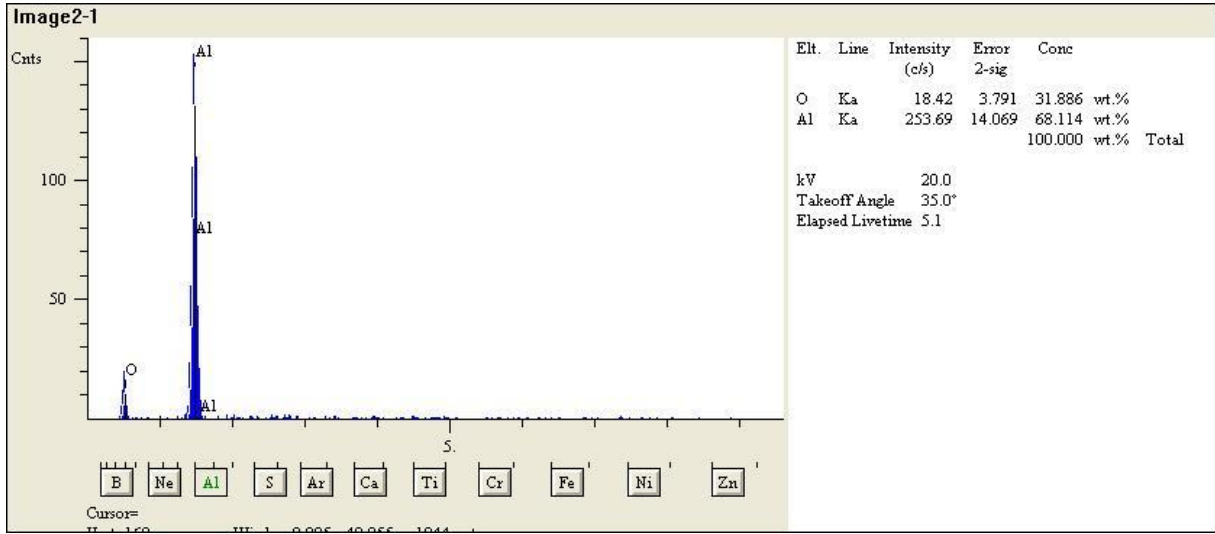
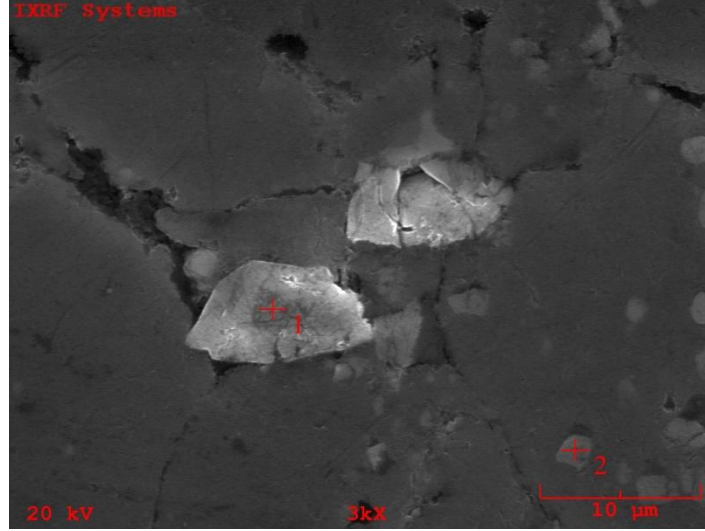
Şekil 5.17. %15 Al₂O₃-SiC'ün farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) x500 b) x1000

SEM görüntülerinde elementel düzeyde gerek AA 7075 alaşımında gerekse Al₂O₃-SiC takviyeli hibrit/kompozit numunelerinde EDS analizler yapılmıştır. Şekil 5.18’de ise alaşımsız AA7075’in bünyesinde var olan kimyasal elementler genel EDS analizinde gösterilmiştir. Bir noktadan alınan EDS sonuçlarına göre en fazla Al bulunmaktadır. Al kimyasalının yanı sıra AA7075 ‘in içinde Zn-Ti-Si-Fe-Cu temel alaşım elementleri de bulunmaktadır.

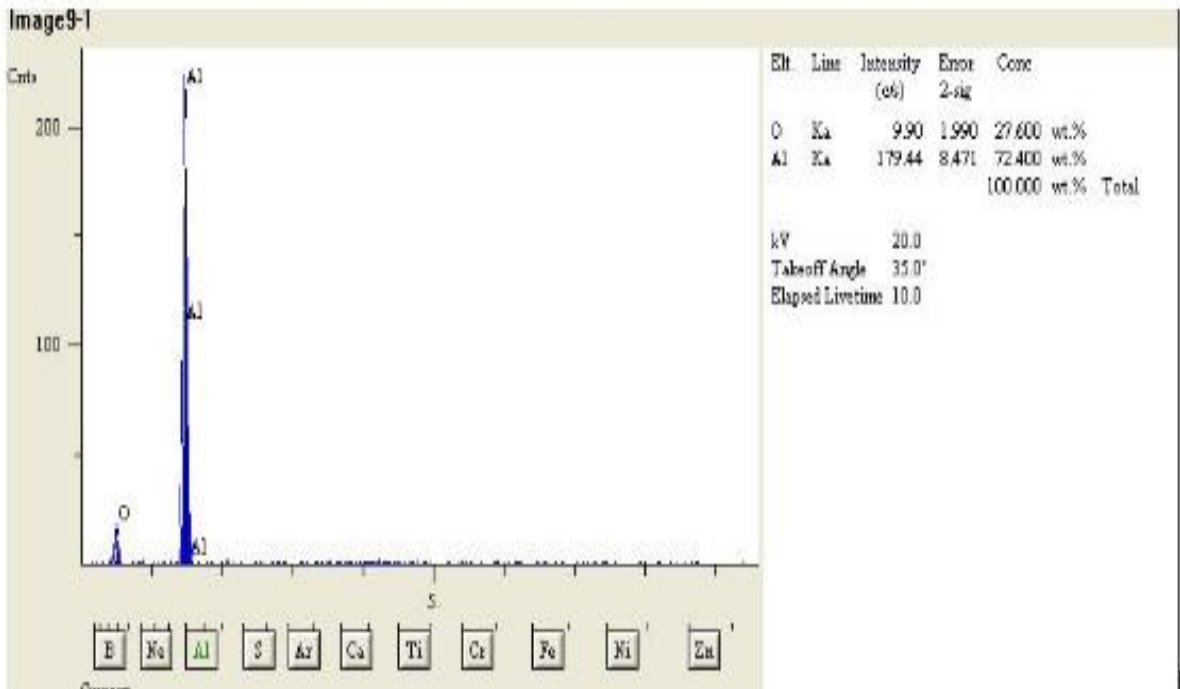
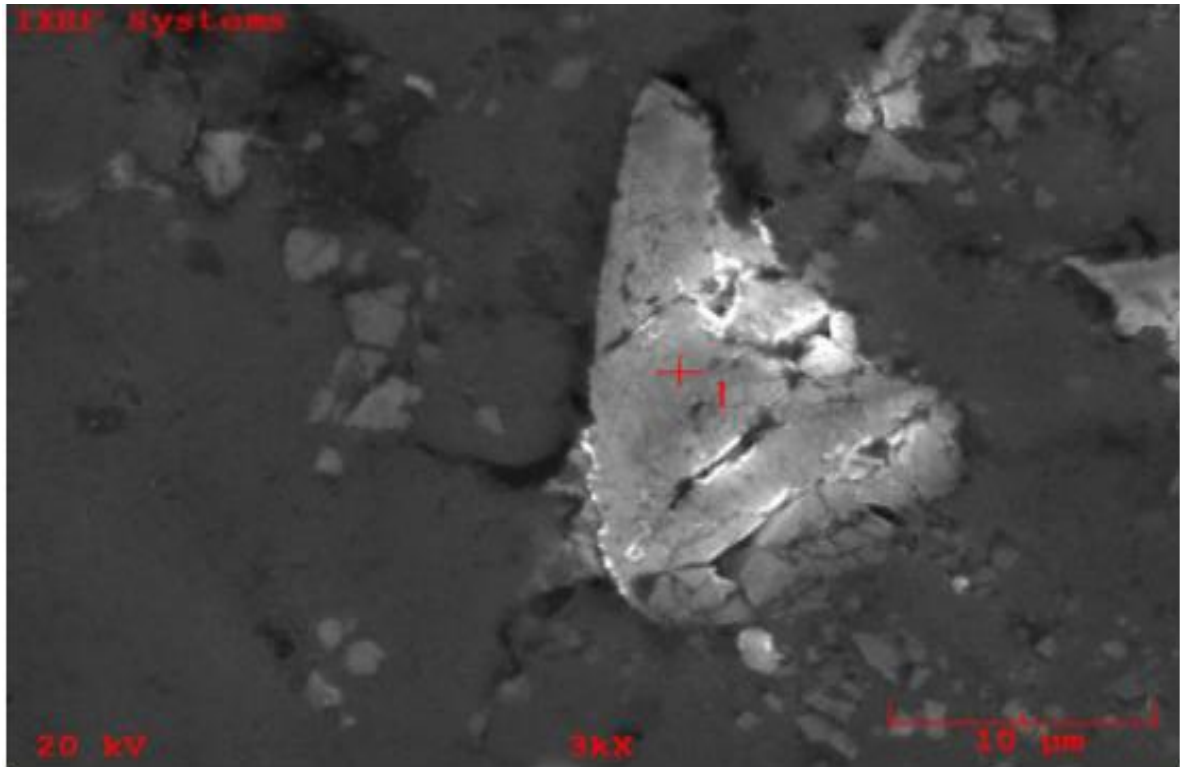


Şekil 5.18. AA7075 alaşımının genel EDS analiz sonuçları

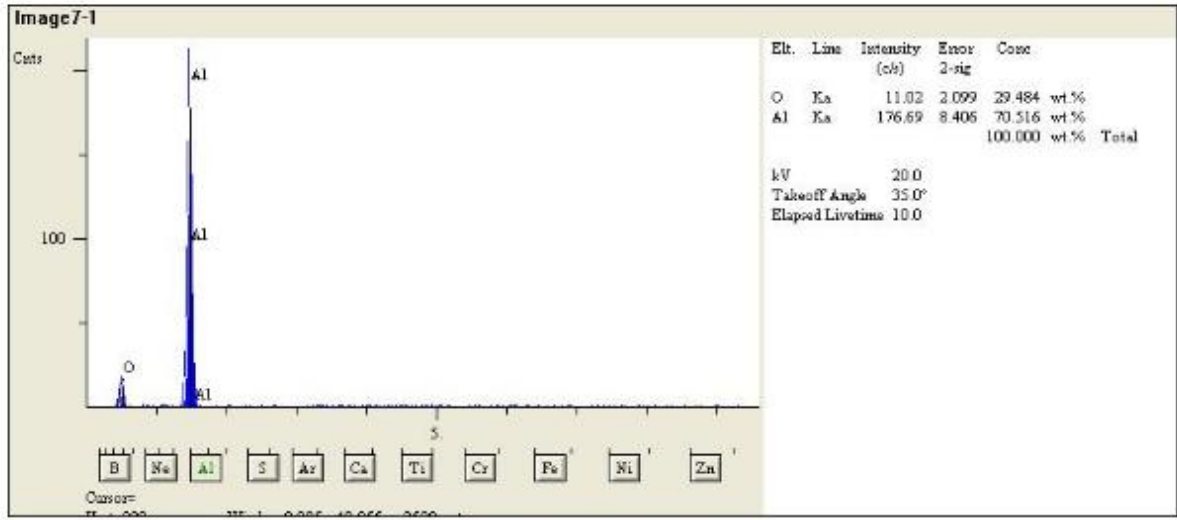
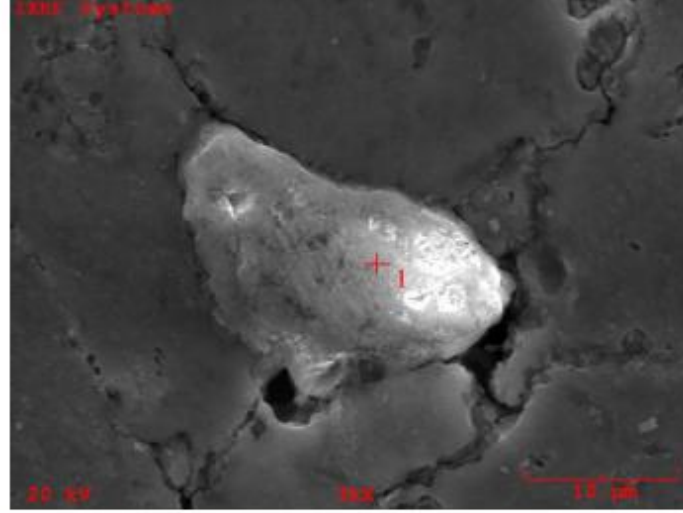
Şekil 5.19-5.20 ve 5.21’de farklı yüzdelere sahip Al7075-Al₂O₃ EDS analiz sonuçları verilmiştir. Takviye fazı miktarına göre bu üç numunenin EDS sonuçları incelendiğinde, numunelerin yüzde Al₂O₃ oranı arttıkça içerisinde var olan oksijen yoğunluğunun arttığı Al yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.19. %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 1 ve 2 noktalarındaki EDS analiz sonuçları

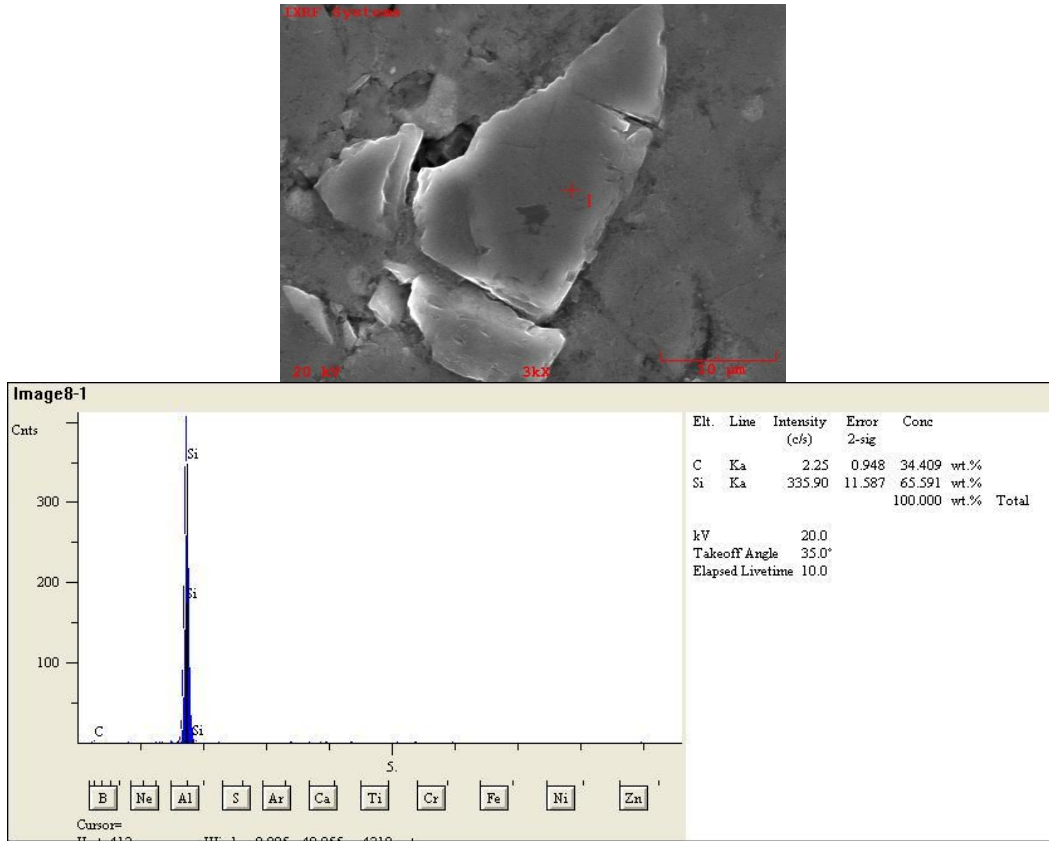


Şekil 5.20. %10 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 1 noktasındaki EDS analiz sonuçları

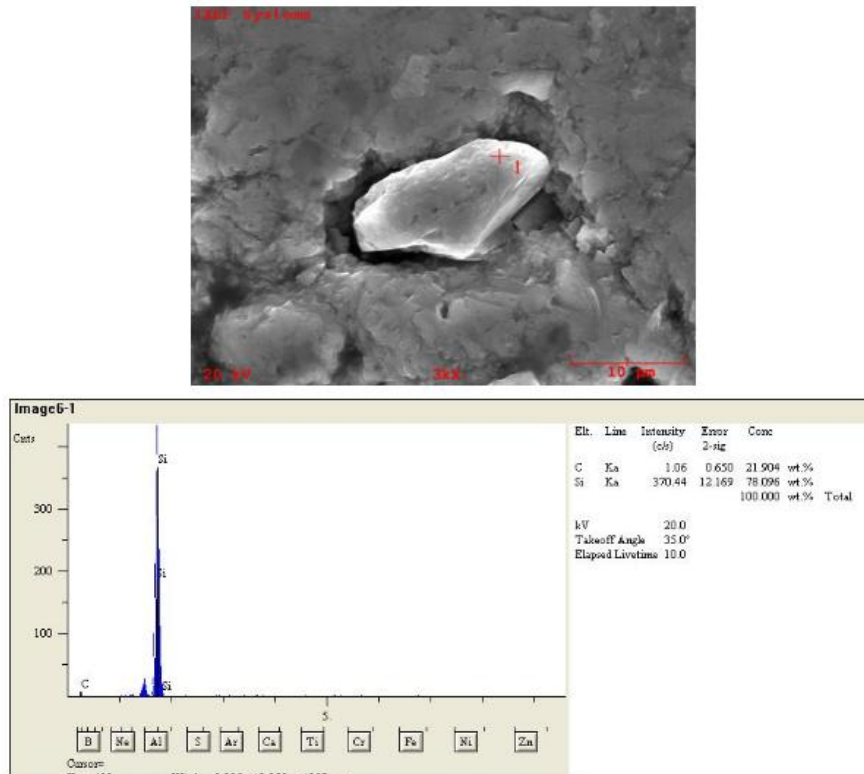


Şekil 5.21. %15 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 1 noktasındaki EDS analizi sonuçları

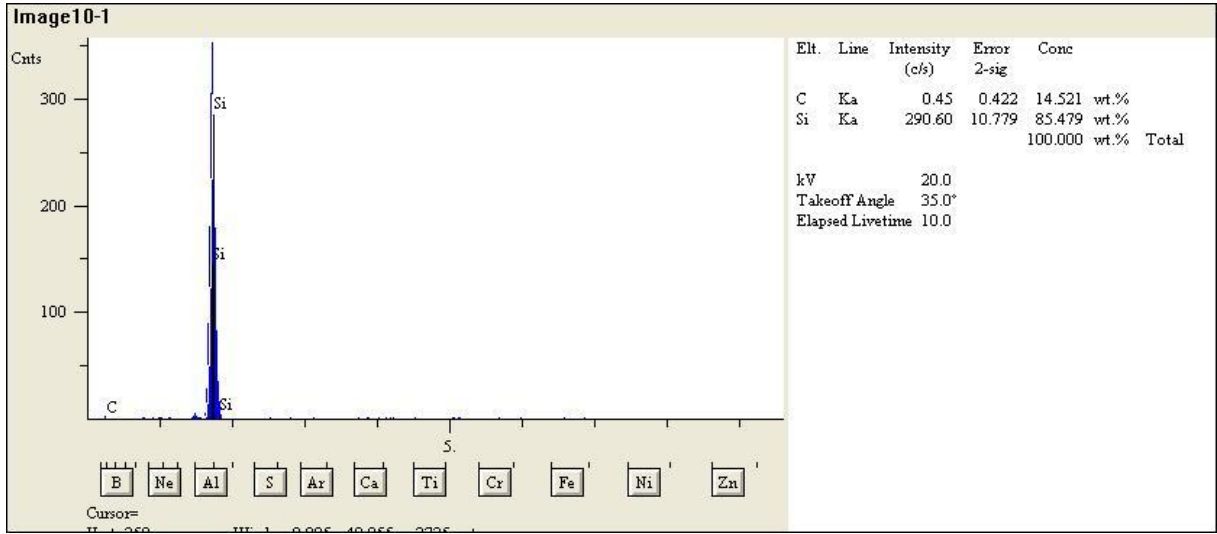
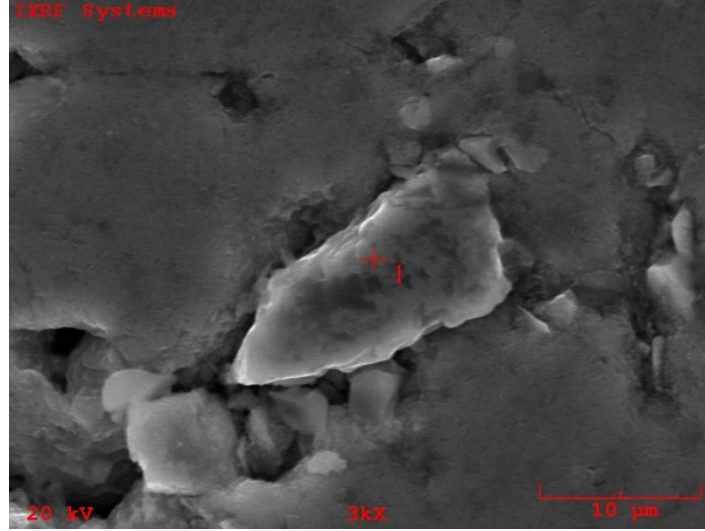
Şekil 5.22-5.23 ve 5.24’de farklı yüzdelere sahip Al7075-SiC kompozitlerinin EDS analiz sonuçları verilmiştir. Bu üç numune incelendiğinde alınan bölgelerdeki EDS sonuçlarına bakıldığında, ağırlıkça yüzde SiC miktarı arttıkça numunelerin içerisinde var olan karbon (C) miktarı elementel düzeyde azalmıştır. Silisyum miktarında ise %15 SiC takviyeli kompozit numuneler içerisinde var olan silisyum miktarı elementel düzeyde artmıştır.



Şekil 5.22. %5 SiC takviyeli kompozitin 1 noktasındaki EDS analiz sonucu



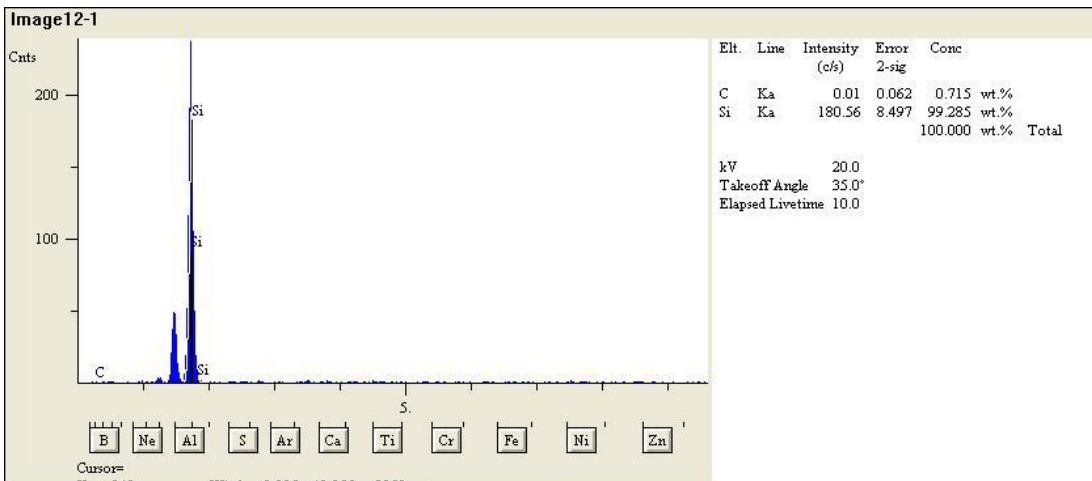
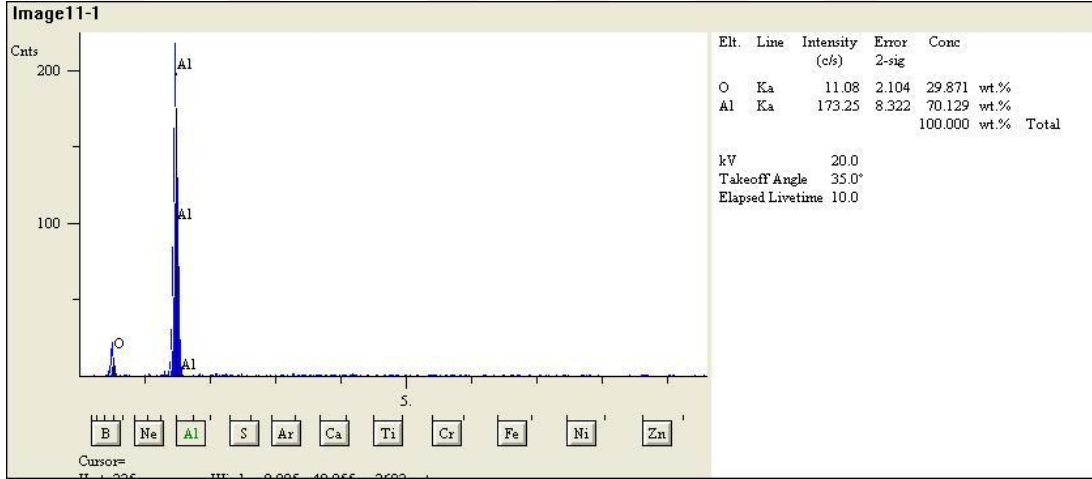
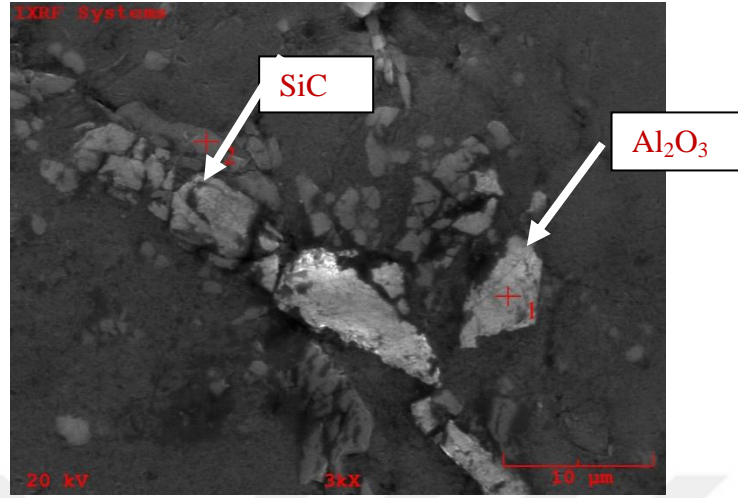
Şekil 5.23. %10 SiC takviyeli kompozitin 1 noktasındaki EDS analiz sonucu



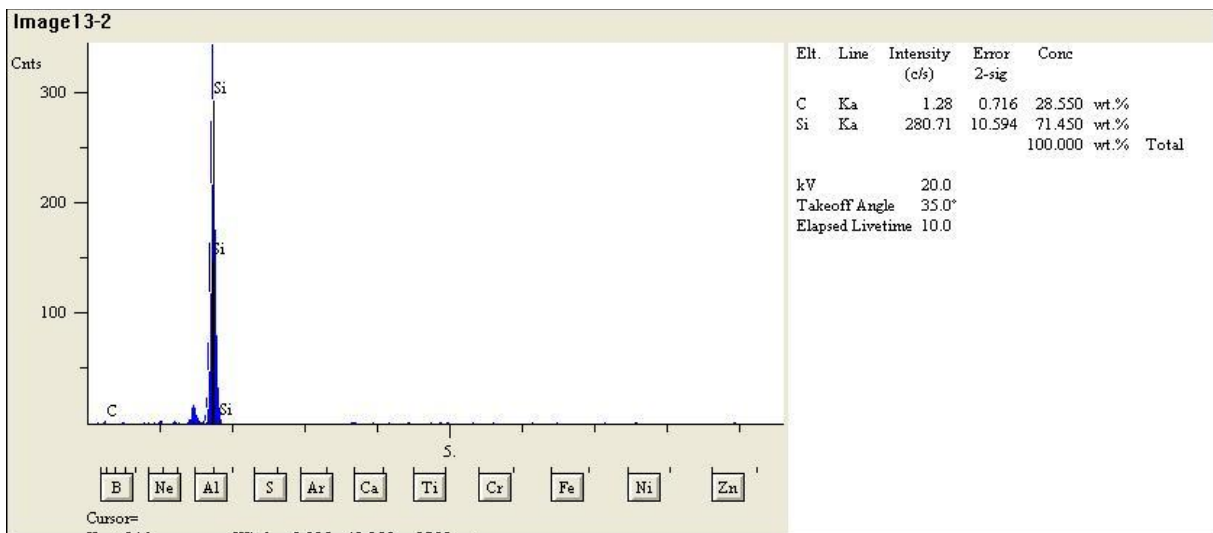
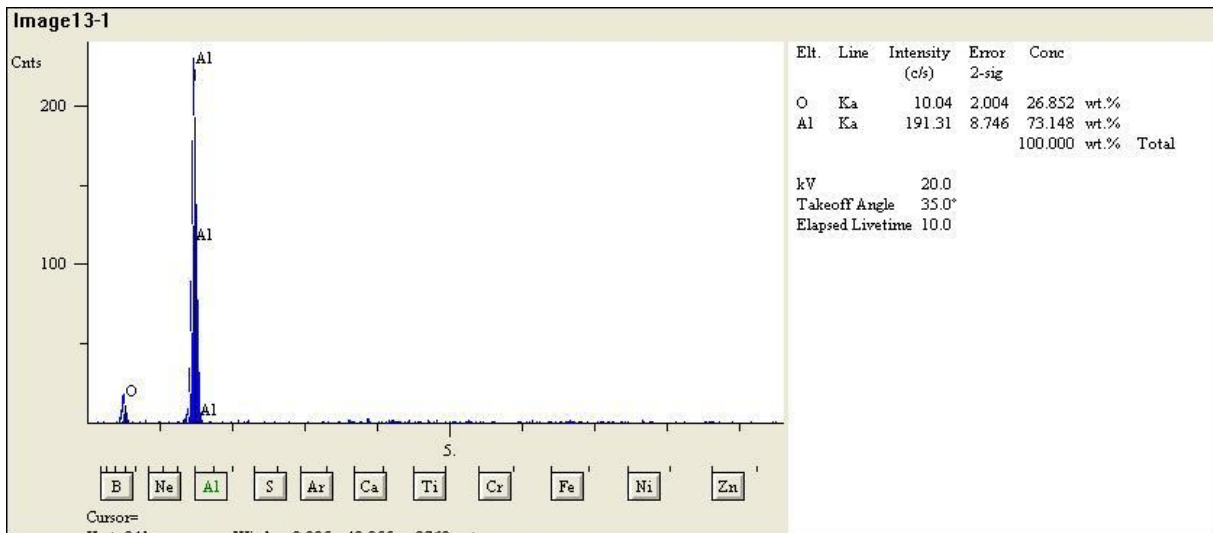
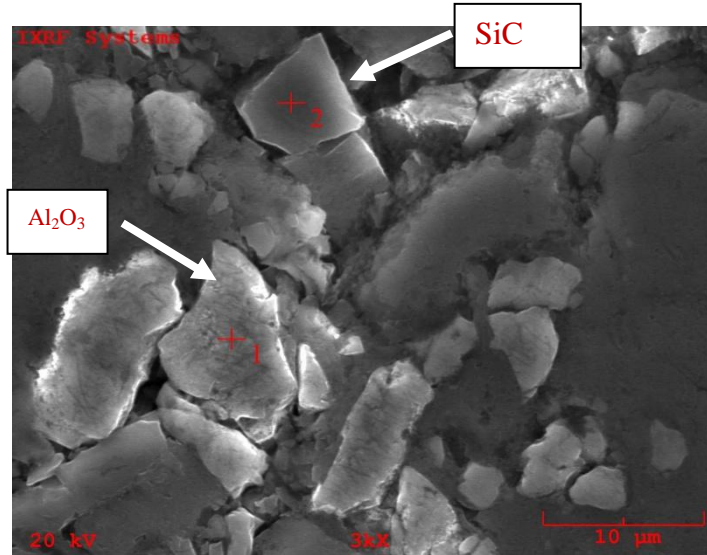
Şekil 5.24. % 15 SiC takviyeli kompozitin 1 noktasındaki EDS sonucu

Şekil 5.25-5.26 ve 5.27’de farklı yüzdelerine sahip AA7075/Al₂O₃-SiC hibrit kompozit malzemelerin EDS sonuçları verilmiştir. EDS analizlerinde 1. nokta EDS analiz sonuçları incelendiğinde, Al₂O₃ miktarının yoğunlaştığı 2. nokta analizlerinde ise SiC miktarının arttığı tespit edilmiştir. Farklı takviye oranlarında üretilen hibrit kompozit numunelerin SEM görüntülerindeki EDS analizleri incelendiğinde 1. nokta analizleri ile tespit edilen SiC seramik parçacıklarının poligonol şekil morfolojilerinde yer aldığı belirlenmiştir. Ancak Al₂O₃ seramik parçacıklarının daha düzensiz ve çubuksu gibi görünen şekilsel morfolojilerinde dağılım gösterdiği belirlenmiştir. SiC parçacıklarının nispeten matris yapısı üzerinde homojen bir dağılım gösterdiği, Al₂O₃ parçacıklarının ise düzensiz bir dağılım sergilediğinden bahsedilebilir. Al₂O₃ parçacıklarının parlak ve beyazımsı, SiC parçacıklarının koyu ve grimsi görünümünde yer aldığı görülebilmektedir. Özellikle seramik faz parçacıklarının tane sınırı ve tane sınırına yakın bölgelerde çoğunlukla dağıldığı tespit edilmiştir. Ara yüzey uyumu

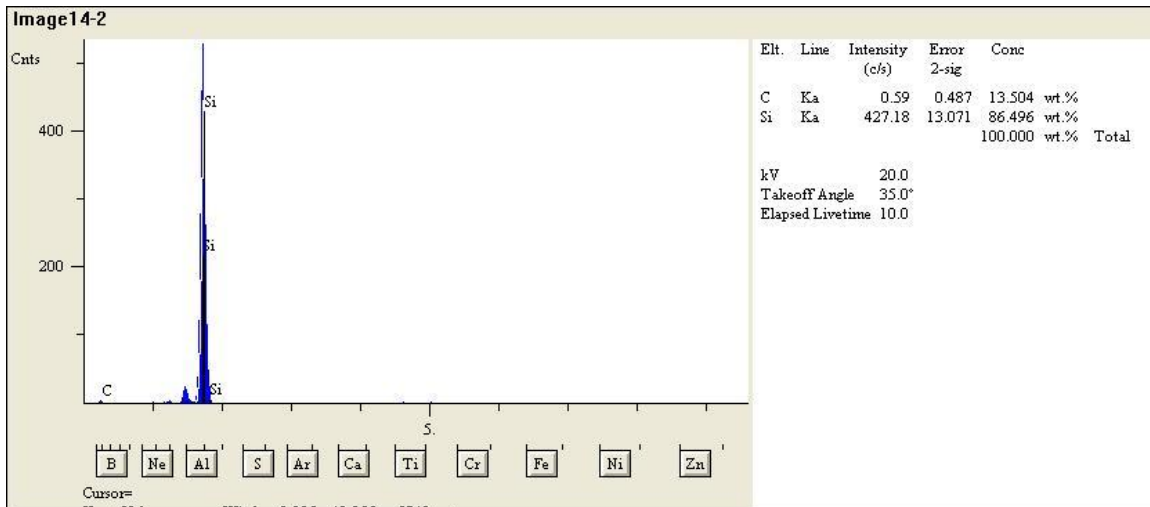
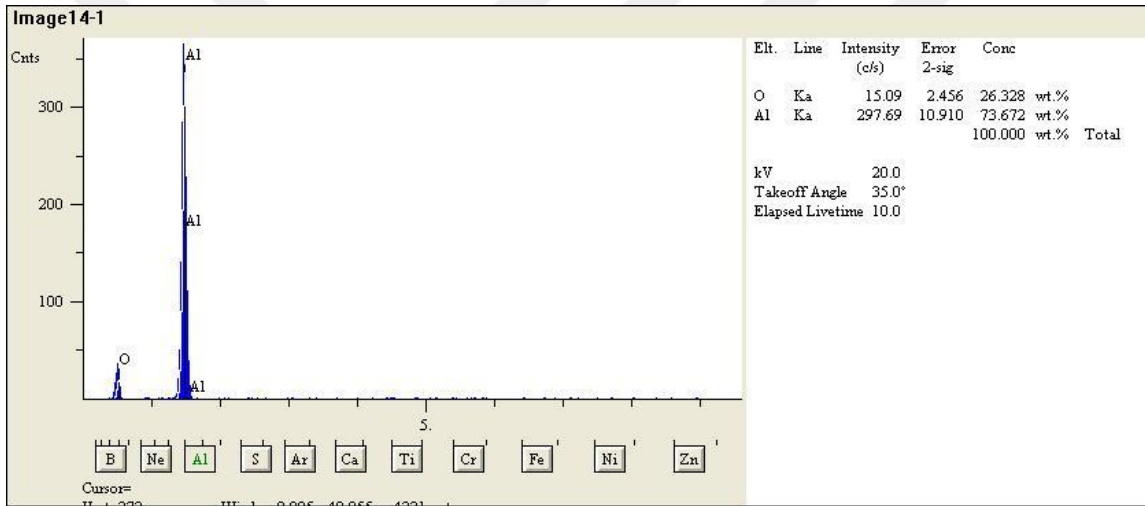
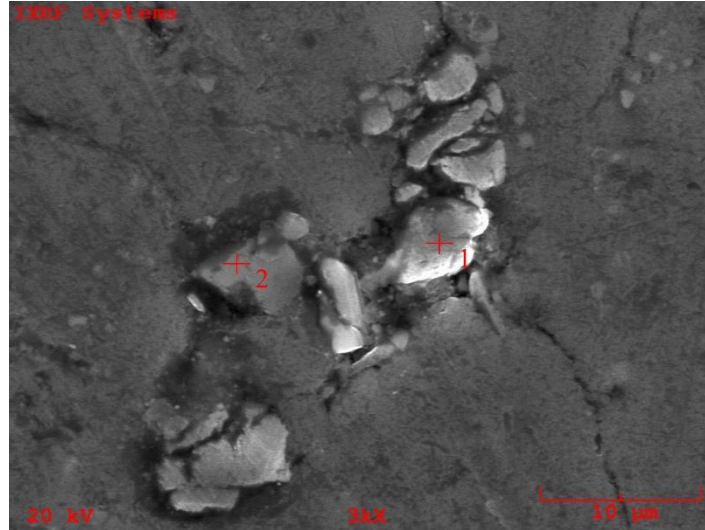
açısından matrisle nispeten uyumlu bir dağılım olmadığı belirtilebilir. Bu durumda matris/takviye parçacık boyut farklılıklarından kaynaklandığı düşünülebilir.



Şekil 5.25. %5 Al₂O₃-SiC'ün 1 ve 2 noktalarındaki EDS sonuçları



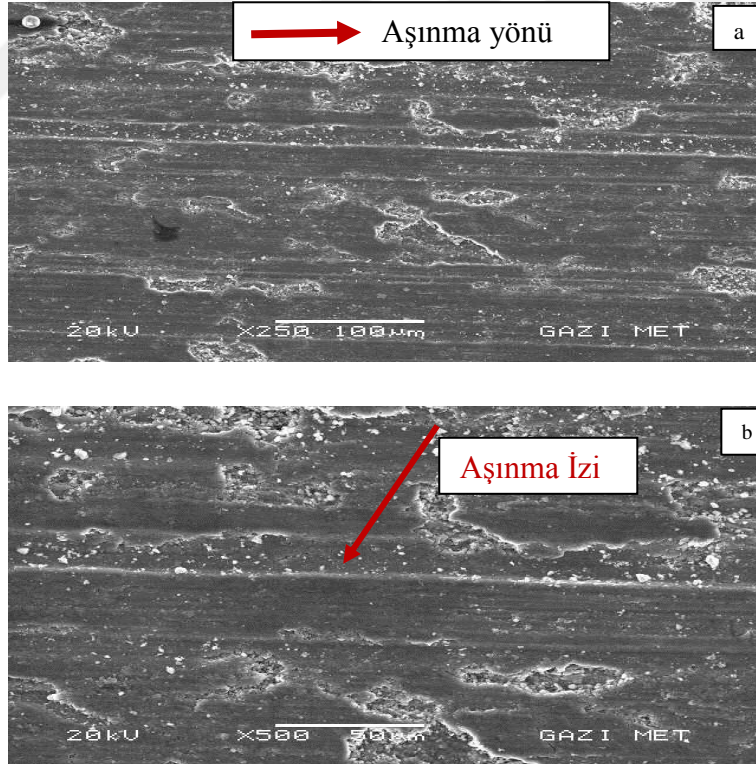
Şekil 5.26. %10 Al₂O₃-SiC takviyeli hibrit kompozitin 1 ve 2 noktalarındaki EDS sonuçları



Şekil 5.27. % 15 Al₂O₃-SiC takviyeli hibrit kompozitin 1 ve 2 noktalarındaki EDS sonuçları

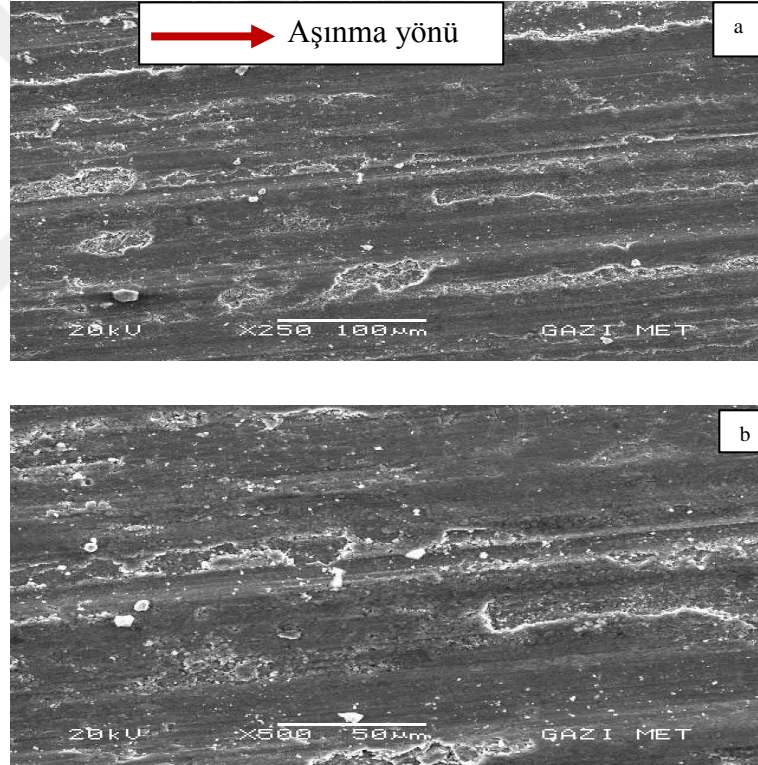
5.6. Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri

Pin-on-disk aşınma cihazı kullanarak 1000-1500-2000 metre kayma mesafelerinde yapılan aşınma sonucunda hibrit/kompozit malzeme yüzeylerinde sürtünme ve aşınma kaybindan dolayı meydana gelen değişiklikleri tespit edebilmek için x250 ve x500 büyütme oranlarında, SEM görüntüsü alınmıştır. Şekil 5.28’de farklı büyütme oranlarına sahip takviye malzemesiz AA7075 alaşımının aşınma sonrası SEM görüntüsü incelendiğinde aşınmaya bağlı olarak numune yüzeyindeki aşınma görüntüleri görülebilmektedir. Malzemelerde mekanik özellikler ve aşınma davranışı açısından mikro yapı da yer alan fazlar ve fazların miktarları oldukça önemlidir. Dolayısıyla takviye fazı olmadan üretilen AA7075 metal matris yapısının aşınma davranışında ve özellikle ağırlık kayıplarında bu durum açık bir şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca AA7075 malzemesinin aşınma yönü SEM görüntülerinde net bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 5.28b). Özellikle kayma mesafesine bağlı olarak sürtünmeden kaynaklı yumuşak ve sünek metal matris yapısından kopan sünek partiküllerin tekrar yüzeye yapışması sonucunda ağırlık kayıpları takviyesiz AA7075 alaşımında meydana gelmiştir.

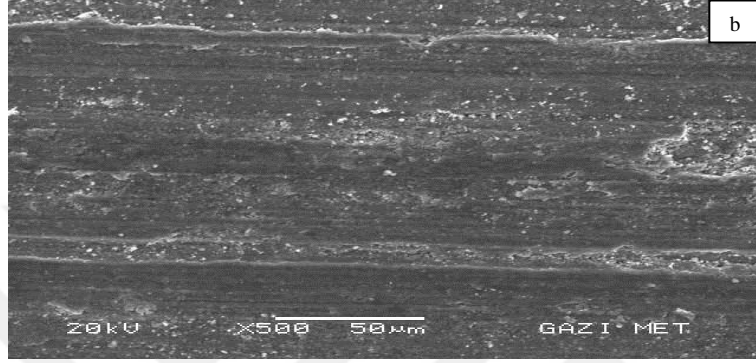
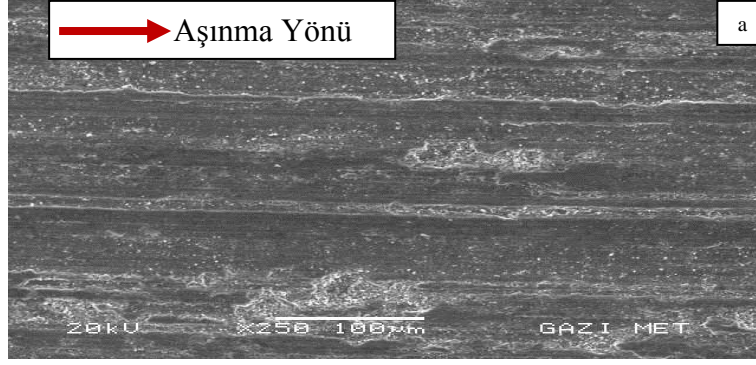


Şekil 5.28. Takviye malzemesiz AA 7075’in aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

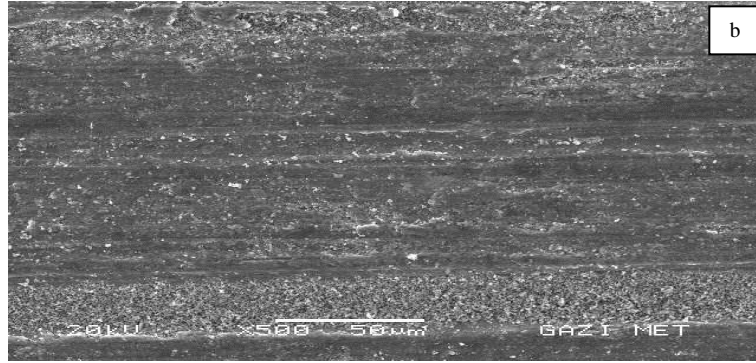
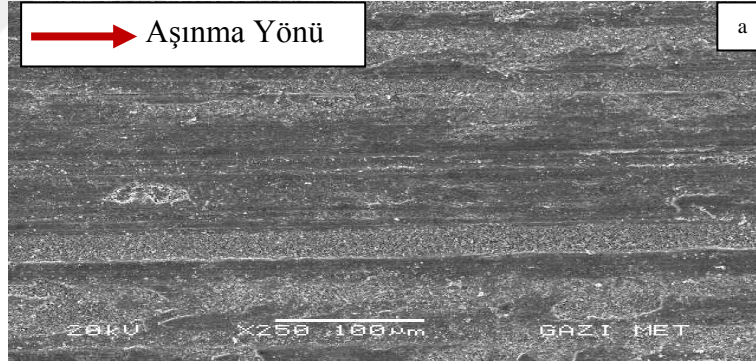
Şekil 5.29-5.30-5.31’de ağırlıkça farklı yüzdelere sahip Al_2O_3 takviyeli AA7075 matrisli kompozit numunelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde, takviye malzemesinin artışına bağlı olarak numunelerde aşınmadan kaynaklı deformasyonlarda gözle görülür bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir. Özellikle %5 gibi düşük Al_2O_3 takviyesi ile hazırlanan numunede SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyden kopan parçacıkların yüzeye tekrar yapışarak, aşınma yüzeylerinde sıvanma tabakaları, çizikler, yırtılmalar, dökülmeler gibi hasar meydana getirdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca numunelerdeki sertlik artışı numunelerin aşınmasını engellemede büyük rol oynamıştır. Bu durumun sebebi kompozit numunelerinde seramik faz parçacık takviyesi ile sertlik artışının etkili olduğu ve aşınmaya bağlı malzeme deformasyonundaki azalma eğilimi olarak belirtilebilir. Aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde özellikle adhesif aşınma mekanizmasının etkili ve aktif olduğu belirtilebilir.



Şekil 5.29. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü;
a) x250 b) x500

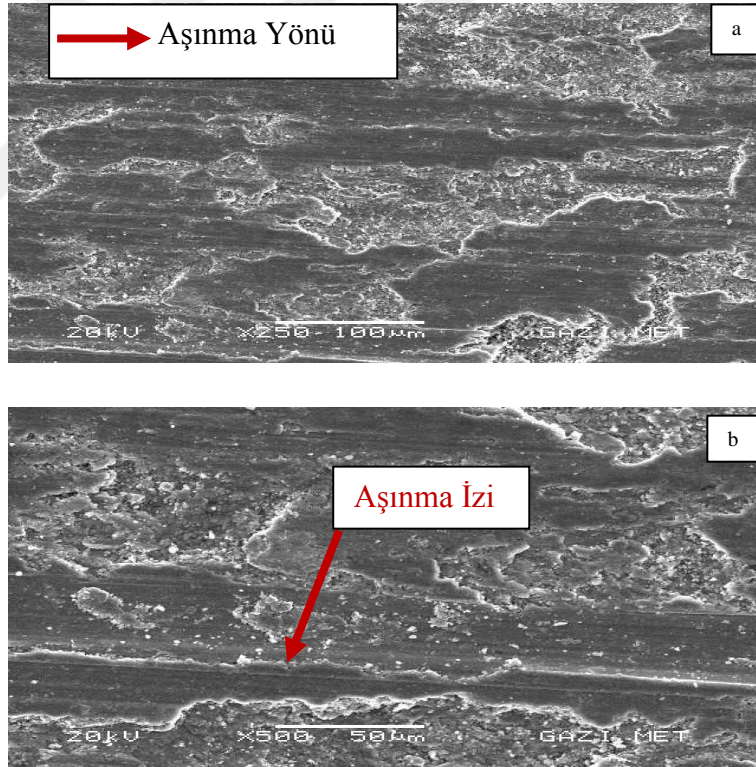


Şekil 5.30. %10 Al_2O_3 takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

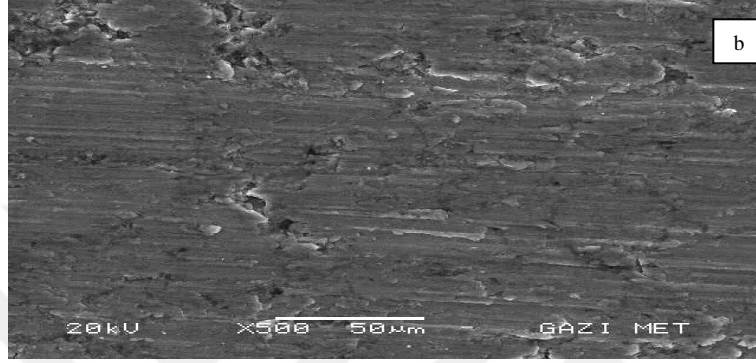
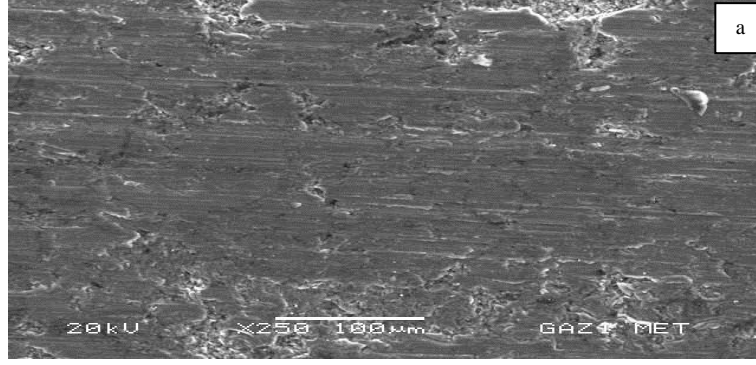


Şekil 5.31. %15 Al_2O_3 takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

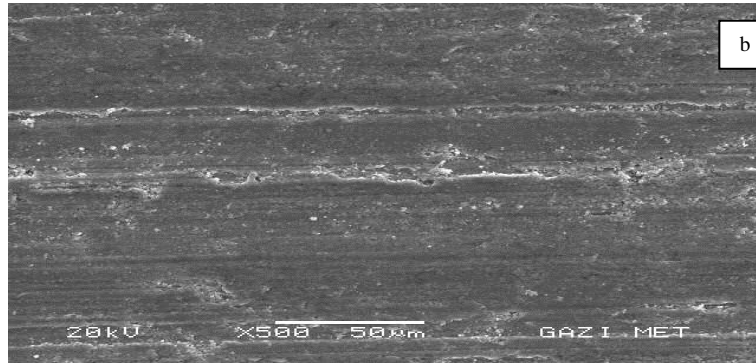
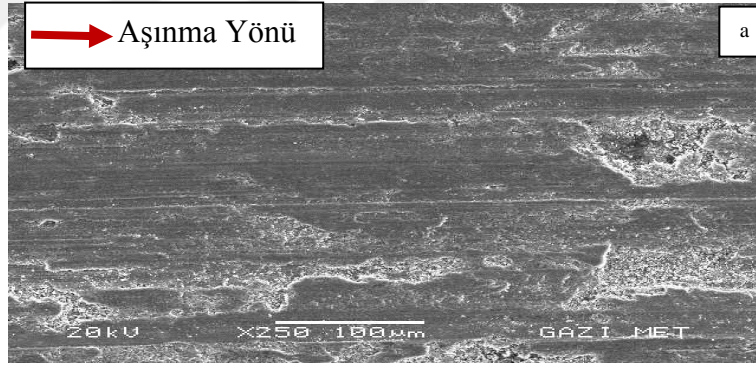
Şekil 5.32-5.33 ve 5.34’de pin-on-disk cihazını kullanarak 1000-1500 ve 2000 metrede aşınma işlemi sonucunda, ağırlıkça farklı yüzdelere sahip SiC takviyeli kompozit aşınma sonucunda parça yüzeylerinde meydana gelen aşınma sonrası SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, aşınmadan dolayı en fazla deformasyon %5 SiC takviyeli AA7075 matrisli numunede meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu numunede aşınma yüzey görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde adhesif kraterler ve çoğunlukla yer alan pullanmalar görülmektedir. Özellikle Şekil 5.32b’de aşınma izlerinin kesintisiz olarak ilerlemesi ve yüzeyden kopan parçacıkların yüzeyde yapışma eylemi şeklinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda numunelerin içerisindeki SiC takviye miktarı arttıkça, numunelerde meydana gelen deformasyonun azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.33-5.34). Takviye malzemesinin artışına bağlı sertlik miktarının artması, numunelerin daha az deformasyona uğramasına neden olmuştur.



Şekil 5.32. %5 SiC takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

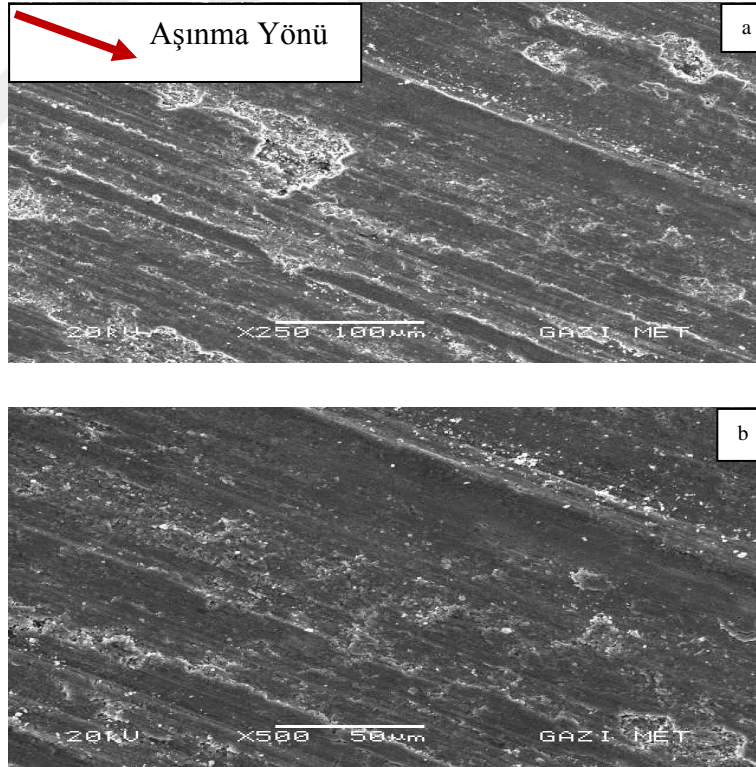


Şekil 5.33. %10 SiC takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

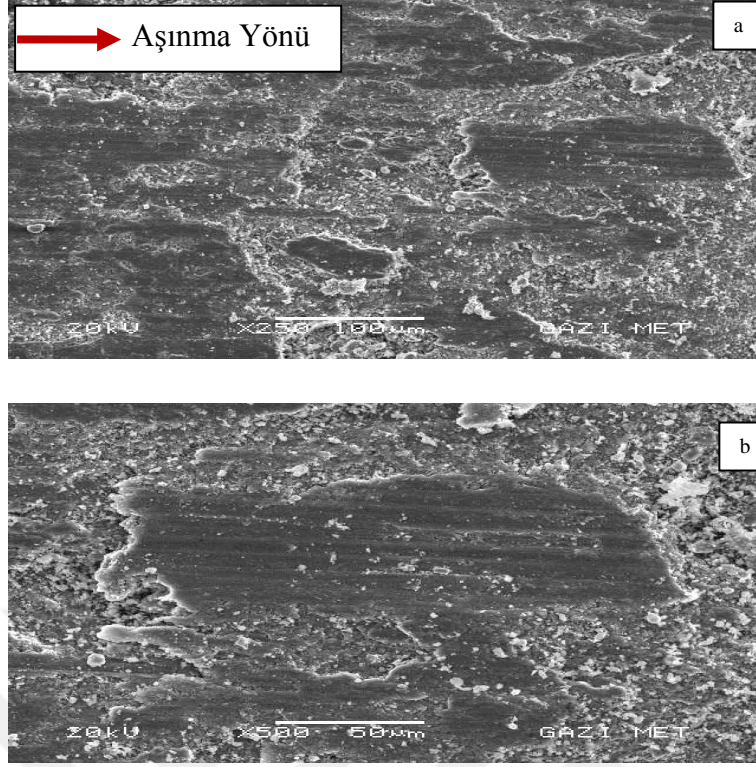


Şekil 5.34. %15 SiC takviyeli kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

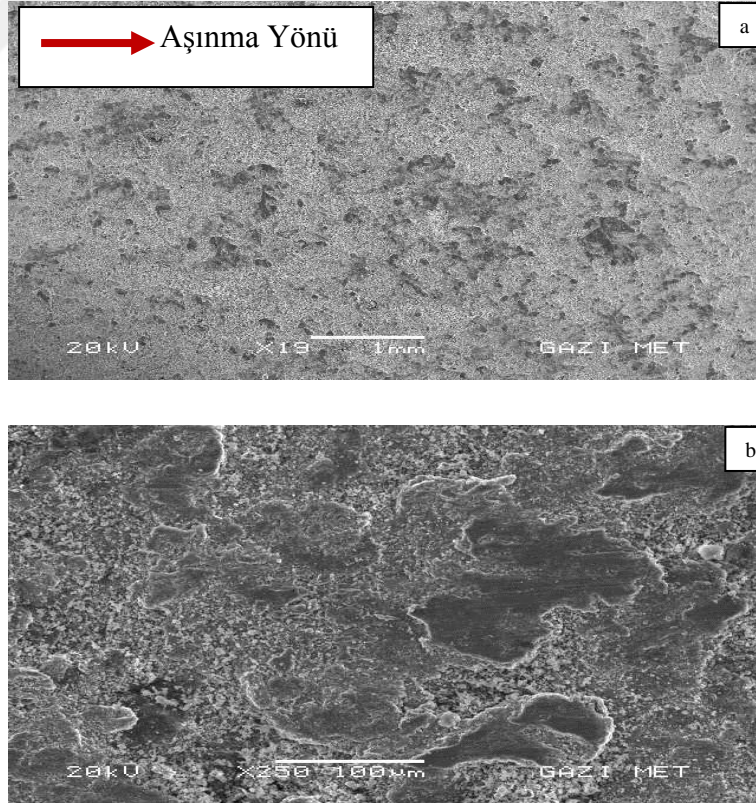
Şekil 5.35-5.36 ve 5.37’de ise pin-on-disk cihazı kullanılarak 1000-1500 ve 2000 metrede aşınma işlemi sonucunda, ağırlıkça farklı yüzdelere sahip Al_2O_3/SiC hibrit kompozit numunelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, aşınmadan dolayı en fazla deformasyon %15 Al_2O_3/SiC takviyeli AA7075 matrisli numunede meydana geldiği tespit edilmiştir. Ancak numunelerin içindeki tek seramik faz Al_2O_3 ve SiC takviye miktarı artıca, numunelerde meydana gelen deformasyonun azaldığı tespit edilmiştir. Aşınma ve deformasyon açısından bu durum hibrit numunelerde benzerlik göstermemektedir. Test edilen bu hibrit kompozitlerin de ağırlık kaybı aşındırıcı disk ve malzemeler arasındaki sürtünmeden kaynaklı olarak özellikle düşük takviyeli hibrit kompozit malzemelerinde daha yoğun bir deformasyon miktarı olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşınma yüzeylerinde özellikle %5 ve %10 Al_2O_3/SiC takviye oranlarında mikro çukurcuklar ve mikro talaş parçacıklarının yüzeyde ciddi bir deformasyon meydana getirdiği tespit edilmiştir. Yüzeyden kopan bu sert parçacıkların aşınmayı hızlandırdığı ve dolayısıyla malzeme deformasyonunu bu tarzdaki hibrit kompozit malzemelerde çift seramik takviyesinin deformasyonu artırdığı söylenebilir.



Şekil 5.35. %5 Al_2O_3/SiC takviyeli hibrit kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500



Şekil 5.36. %10 Al₂O₃/SiC takviyeli hibrit kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500



Şekil 5.37. %15 Al₂O₃/SiC takviyeli hibrit kompozitin aşınma sonrası farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü; a) x250 b) x500

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma da AA7075 matrisinde ağırlıkça %5-10-15 sahip Al_2O_3 - SiC ve Al_2O_3/SiC seramik tozları ile toz metalurjisi yöntemi kullanılarak hibrit/kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin, mikro yapı ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, pin-on-disk tipi cihaz üzerinde sürtünme-aşınma işlemi özellikleri incelenerek, aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

6.1. Sonuçlar

- Yapılan deneyler sonucunda AA7075 alüminyum alaşımının ham yoğunluk değerine kıyasla sinterleme sonrası %12.69 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Tek seramik faz takviyeli kompozit numunelerinde ise (Al_2O_3 ve SiC) ham yoğunluk değerine kıyasla %1.92'lük sinterleme sonrası yoğunluk artışıyla %15 Al_2O_3 takviyeli numunede elde edilmiştir.
- Çift seramik faz (Al_2O_3 -SiC) takviyesi ile hazırlanan hibrit kompozit malzemelerinde ise sinterleme sonrası takviye fazın artışı ile yoğunluk değerlerinde bir azalma olmuştur.
- Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozit malzemelerde seramik faz miktarının artışına bağlı olarak gözeneklilik miktarının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Benzer durum hibrit kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri ile de elde edilmiştir. Özellikle takviye fazlarının tane sınırı ve tane sınıra yakın bölgelerde dağılım gösterdiği belirlenmiştir.
- AA7075 metal matris yapısına kıyasla Al_2O_3 seramik faz takviyeli kompozit numunelerde sertlik değerlerinde bir artış meydana gelmiştir. Benzer durum SiC seramik faz takviyeli kompozit numunelerde seramik faz miktarının artışıyla yaşanmıştır. Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozit numunelerde en yüksek sertlik değeri %15 takviye fazı oranında ve sırasıyla 85.5 HB ve 41.9 HB olarak tespit edilmiştir.
- AA7075 metal matrisli Al_2O_3/SiC seramik faz takviyeli hibrit kompozit numunelerde AA7075 matrisine göre sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değerleri 58.8 HB olarak %15 seramik faz takviyesi ile hazırlanan hibrit kompozit numunesinde gözlenmiştir.

- AA7075 alaşımının 1000-1500 ve 2000 metredeki sũrtũnme sırasıyla 0.571-0.567-0.435 olarak belirlenmiştir.
- Al₂O₃ takviyesi ile ¼retilen kompozit numunelerin 1000-1500 ve 2000 metredeki aşınma mesafesine bağlı olarak sũrtũnme katsayılarında genel olarak artış tespit edilmiştir.
- SiC takviyesi ile ¼retilen kompozit numunelerin 1000-1500 ve 2000 metredeki aşınma mesafesine bağlı olarak sũrtũnme katsayılarında genel olarak azalış tespit edilmiştir.
- Al₂O₃-SiC seramik faz takviyeleri ¼retilen hibrit kompozit numunelerinde sũrtũnme katsayıları açısından 2000 metre aşınma mesafesine kadar lineer bir azalma olduğu ancak 2000 metre aşınma mesafesinde ise sũrtũnme katsayılarında bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir.
- AA7075 metal matris malzemesine kıyasla Al₂O₃ ve SiC tek seramik faz takviyesi ile ¼retilen kompozit malzemelerde ağırlık kayıpları kayma mesafesinin artışıyla ciddi oranda azalmıştır. En fazla ağırlık kaybı yumuşak ve sũnek AA7075 metal matris yapısında tespit edilmiştir.
- Al₂O₃ ve SiC seramik faz takviyeli kompozit numunelerinde 2000 metre kayma mesafesi sonrasında en az ağırlık kaybı %15 takviye oranı ile hazırlanan kompozit numunelerde elde edilmiştir.
- Hibrit kompozit malzemelerinde artan kayma mesafesi ile ağırlık kaybının artış g¼sterdięi tespit edilmiştir. AA7075 metal matris yapısına kıyasla 2000 metredeki kayma mesafesi sonrasındaki ağırlık kaybı ciddi oranda azalarak %5 seramik takviyeli hibrit kompozit malzemesinde tespit edilmiştir.
- SEM g¼r¼nt¼leri incelendiğinde seramik faz takviyelerinin tane sınırı ve tane sınırına yakın b¼lgelerde yer aldığı ve g¼zeneklilik miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. SiC seramik fazının çoğunlukla sivri, iğnemsiz, keskin k¼řeli veya poligonol yapılarında

bulunduğu Al₂O₃ seramik fazının ise düzensiz Şekil morfolojisinde bulunduğu tespit edilmiştir.

- SEM görüntüsü üzerinde uygulanan EDS analizi ile AA7075 alaŐımının genel olarak Zn-Ti-Si-Fe-Cu temel alaŐım elementlerini ićerdiđi tespit edilmiŐtir.
- SEM görüntüsü üzerinde yapılan nokta EDS analizleri ile Al₂O₃ ve SiC seramik faz dağılımlarının tespiti gerćekleŐtirilmiŐtir. BÖylelikle, daha soluk ve grimsi görünen parćacıkların SiC olduğu, daha parlak, beyazımsı ve topaklanmış fazın ise Al₂O₃ olduğu tespit edilmiŐtir.
- Özellikle hibrit kompozit numunelerinde seramik fazın artan takviye miktarı doğrultusunda matrisle uyumlu bir dağılım sergilemediği ve bu durumunda matris/takviye parćacık-boyut farklılıklarından kaynaklandığı belirlenebilir.
- Al₂O₃ ve SiC takviyesi ile hazırlanan kompozit numunelerde takviye malzemesinin artışına bağlı olarak, aşınmadan kaynaklı deformasyonlarda gözle görülür bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durumda takviye oranlarının artışıyla takviyelerdeki sertlik miktarının artışı aşınmanın azalmasında büyük rol oynamıştır.
- Hibrit kompozit malzemeleri aşınma yüzeylerinde, seramik faz takviyesinin artışıyla yüzeyden kopan parćacıkların aşınmayı hızlandırıldığı ve dolayısıyla malzemede deformasyonu artırdığı tespit edilmiŐtir. Bu durumda malzeme yüzeyinde ciddi miktarda mikro ćukurcuk ve mikro talaŐ oluŐumları tespit edilmiŐtir.

6.2. Öneriler

- Sürtünmenin önem taşıdığı yerlerde diğer alüminyum alaşımları ve uygun işlem parametreleri seçilerek klasik toz metalurjisi tekniği ile üretilebilir.
- Uygun karıştırma teknikleri ile Al_2O_3 - SiC ve Al_2O_3/SiC partikülleri homojen bir şekilde dağıtılabilir. Uygun bir sinterleme prosesi süresi ile yoğunluk artışı sağlanabilir.
- Soğuk presleme ve devamında uyguladığımız sinterleme işleminin yanı sıra sıcak presleme ve ikincil işlemlerle kompozit malzeme üretim süreci uygulanabilir.
- Farklı seramik faz parçacıkları AA7075 metal matris yapısına ilave edilerek benzer çalışmalar yürütebilir.
- Pin-on-disk tipi aşınma test cihazı yerine blok-on disk aşınma cihazı gibi farklı cihaz şartları altında aşınma deneyleri gerçekleştirilebilir.
- AA7075 metal matris yapısında Al_2O_3 - SiC takviyesi ile üretilen kompozit malzemelerin pin-on-disk tipi aşınma cihazı kullanılarak farklı yük, hız ve kayma mesafeleri doğrultusunda deneyler yapıp veriler karşılaştırılabilir.

KAYNAKLLAR

1. Thümmel F. Oberacker R. "An Introduction to Powder Metallurgy", Cambridge University Press, ISBN 0-901716-26-X, (1993).
2. H. Gökmeşe, 2008, 'Gaz atomizasyonu yöntemiyle AA 2014 alaşım tozunun üretimi' Yüksek lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 04-2008
3. A. Sunay Kalaycıoğlu, 2010, 'SiC tane katkılı Alüminyum kompozitlerin toz metalurjisi ile üretimi ve karakterizasyonu' Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 07-2010
4. M. Çakır, 2007, 'Toz metal alüminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliği' Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 06-2007
5. V. Acar, H. Akbulut, M. Sarıkanat, M. Özgür Seydibeyoğlu, Y. Seki, S. Erden (2013) 'Karbon elyaf takviyeli prepreg kompozitlerde arayüzey mekaniğinin karbon nano yapı katkısıyla iyileştirilmesi' Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 10, No: 3, 2013 (43-51)
6. İ. Mutlu (2012) Alüminyum matrisli metal kompozit malzemelerin üretilmesi Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED) Cilt: 4, No: 1, 2012 (31-36)
7. M. Kara, 2006, 'Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerin dinamik cevabı' Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006
8. A. Şahin, 2011, 'Düşük hızlı darbe görmüş filaman sarım e-camı/ epoksi boruların iç basınç altında yorulma davranışlarının incelenmesi' Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 09-2011
9. O. Aktaş, 2015, 'Hibrit kompozitlerin titreşim davranışlarının incelenmesi' Yüksek Lisans Tezi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2015
10. E. Çağlar, 2015, 'Bor karbür / bor karbür silisyum tabakalı kompozitlerin spark plazma sinterleme tekniği ile üretimi ve karakterizasyonu' Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 01-2015
11. M. Serdar Karakaş, 2007, 'Bor karbür parçacık takviyeli alüminyum metal anayapılı kompozitlerin mekanik özelliklerine yaşlandırmanın etkisi' Doktora Tezi ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007
12. H. Karabulut, R. Çıtak, H. Çinici (2013) Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 28, No 3, 635-643, 2013
13. S. Rajesh, B. Vijaya Ramnath, C. Elanchezhian, N. Aravind, V. Vijai Rahul, S. Sathish 12th Global Congress On Manufacturing and Management, GCMM 2014 Procedia Engineering 97 (2014) 598 – 606

14. Dewan M. Nuruzzaman, Siti N. S. Jamaludin, Farah F. B. Kamaruzaman, Shahnor Basri, Nur A. M. B. Zulkifli (2015) International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:15 No:06
15. V. Şahin Ekinci,2007, ‘Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması’ Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,10-2007
16. H. Karabulut, M. Türkmen (2017) Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, (2017), 226-231
17. H. Durmuş, C. Meriç, R.Onur Uzun (2006) Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2.1 (2006) 67 73
18. U. Gökmen (2016) Al 2024 esaslı B₄C/SiC parçacık takviyeli hibrit kompozitlerin TIG kaynağı ile birleştirilmesi Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(ÖS 1), ss. ÖS 69-ÖS 77, Ağustos 2016
19. M. Ravichandran, A.N. Saita, V.Anandkrishnan (2014) Department of Mechanical Engineering, Chendhuran College of Engineering and Technology,Pudukkottai - 622507, India -Department of Production Engineering, National Institute of Technology, Tiruchirappalli - 620015, India Received: 20.12.2013; 11.17. 2014
20. H. Karabulut,2011, ‘Toz metalurjisi yöntemiyle Al₂O₃, SiC ve B₄C takviyeli Al matrisli kompozit üretiminde mekanik alaşımlama süresinin kompozit özelliklerine etkisi’ Doktora Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,01-2011
21. B. Sadık Ünlü, N. Kurgan, S. Sarper Yılmaz ‘Toz metal çeliklerin mikro yapı ve mekanik özellikleri’ Mühendis ve makine cilt: 50 sayı:588 03/01/2009
22. A. Kadir Ekşi, D. Ali Bircan, C.M. Sonsino ‘ALUMİN 431 Tozunun (AL7XXX) soğuk ve ılık preslenmesi üzerine bir çalışma’ Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No2, 337-345, 2007
23. C. Nazik, 2013, ‘Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 07-2013
24. 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
25. A. Fujiki ‘Present state and future prospects of powder metallurgy parts for automotive applications’ Materials Chemistry and Physics 67 (2001) 298–306
26. A. Gökçe, F. Fındık, A. Osman Kurt (2017) ‘Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri’ Mühendis ve Makina cilt 58, sayı 686, s. 21-47, 2017
27. Ö. Özgün, 2007, ‘Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri’ Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Sakarya,08-2007

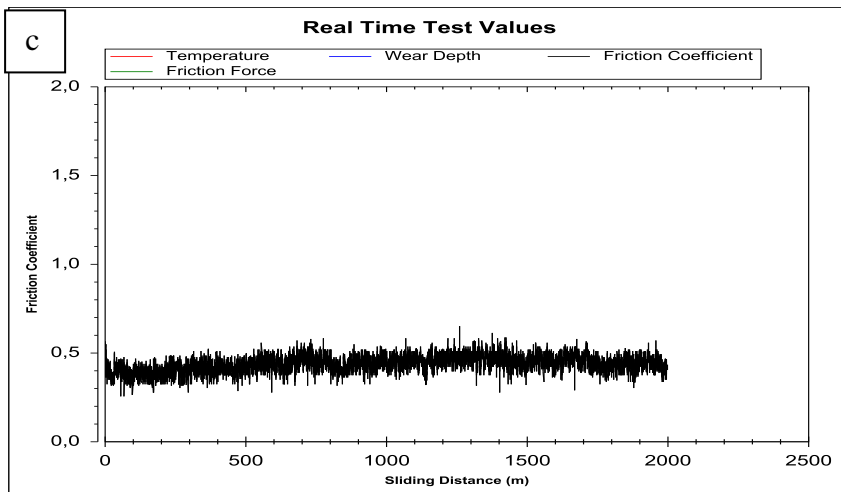
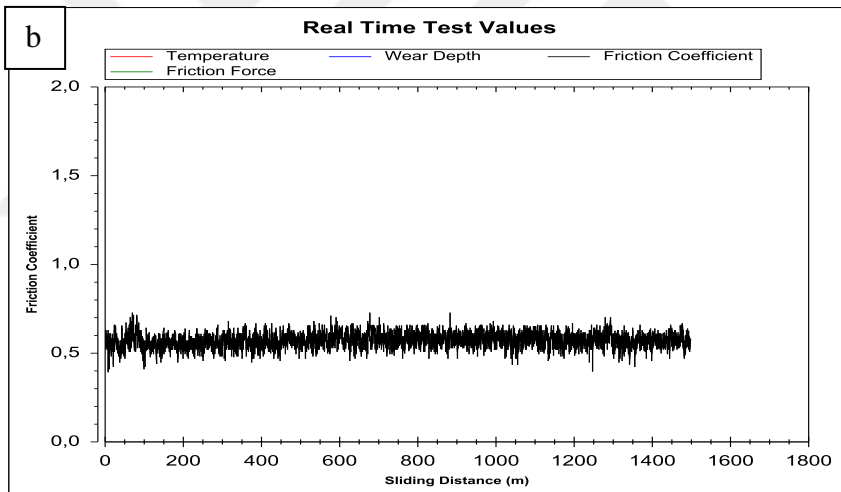
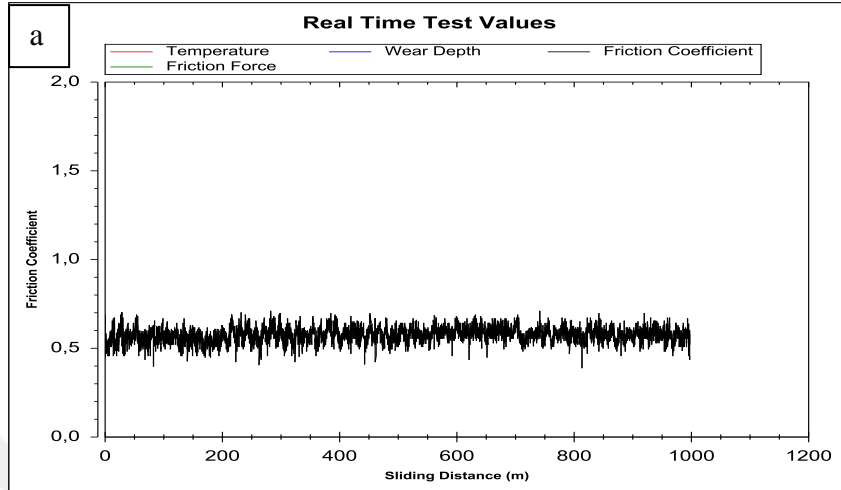
28. Y. Emre Kayalı, R. Ünal (2017) ‘Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretiminde toz boyutunun sayısal çözümleme ile belirlenmesi’ Gazi Üni. Mühendislik-Mimarlık Fak. Der. 23.05.2017
29. B. Baksan, R. Gürler ‘Toz metalurjisinin savunma sanayiinde uygulanması’ Osmangazi Üni., Metalurji Enstitüsü, 26480 Eskişehir
30. S. Küçükarslan,2006, ‘Gaz atomize kalay tozu üretim parametrelerinin deneysel olarak araştırılması’ Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,11-2006
31. E. Arslan Ateş,2012, ‘Toz metalurjisi ile üretilen AA2014-Al₄C₃ sistemlerine yaşlandırma ısıl işleminin uygulanması ve mikroyapısal özelliklerinin araştırılması’ Yüksek lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,09-2012
32. A. Biçer,2015, ‘ Toz metalurjisi ile üretilen Ni₃Al partikülleriyle pekiştirilmiş metal matrisli kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi’ Yüksek lisans Tezi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir,01-2015
33. Ş. Yılmaz Güven (2011) ‘Toz metalurjisi ve metalik köpükler’ SDÜ Teknik Bilimler Dergisi cilt sayı sayfa : 2011 : 1 : 2 : 22-28
34. A. İhsan Kaya (2016) ‘Kompozit Malzemeler ve Özellikleri’ Mehmet Akif Ersoy Üni. Teknik Bilimler Dergisi Temmuz - Ağustos - Eylül 2016
35. C. Yanen,2016,‘Tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması’ Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 01-2016
36. M. Can Şenel, M. Gürbüz, E. Koç (2015) ‘Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler’ Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 669, s. 36-47.
37. H. Arık, P. Semerci, G. Kırmızı (2017) ‘Sıcak Presleme ile Alüminyum Matrisli ve Al₂O₃ Takviyeli Toz Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Aşınma Davranışının Araştırılması’ Gazi Üni. Fen Bilimleri Dergisi Part C, 5(4):87-97 (2017)
38. B. Burak Gündüz,2017, ‘6082-T6 alüminyum alaşımının MIG kaynağında mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması’ Yüksek Lisans Tezi Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde,11-2017
39. H. Gökmeşe, Ş. Bülbül, H. Arıkan, O. Gök (2017) ‘Permanent mold casting simulation and experimental invesgation of AA7075 aluminum alloy ’ International advanced researches & engineering congress
40. F. Sönmez, H. Başak (2016)‘Sürtünme karıştırma kaynağının yaşlandırılabilir parçalar üzerinde etkisi’ Çukurova Üni. Müh. Mimar. Fak. Der, 31(ÖS 1), ss. ÖS 29-ÖS 34, Ağustos 2016
41. U. Matik, K.T anattı (2017) ‘Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075-SiC_p kompozitlerin tribolojik karakteristiklerine ısıl işlemin etkisi’ Politeknik Der. 2017; 20 (4) : 807-814

42. B. Bakar (2009) ‘Alümina katkılı β silisyum karbürün sinterlenmesi ve karakterizasyonu’ Yüksek Lisans Tezi
43. Y. Çelik,2010, ‘Bor karbür’ün spark plazma yöntemiyle sinterlenmesi, çeşitli sinterleme katkılarının sinterleme ve malzeme özelliklerine etkileri’ Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,06-2010
44. B. Çağrı Ocak,2016, ‘Titanyum karbür ve grafen nano plaka (GNP) takviyeli zirkonyum karbür seramiklerinin spark plazma sinterleme yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu’ Yüksek Lisans Tezi Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,11-2016
45. İ. Şimşek,2017, ‘Toz metalurjisi ile üretilen titanyum alaşımı biyomalzemelerin korozyon ve aşınma davranışlarının incelenmesi’ Doktora Tezi Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 07-2017
46. D.P. Mondal, S. Das ‘ High stress abrasive wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction’ Tribology International 39 (2006) 470–478
47. R. İpek ‘Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B₄C–Al/SiC)’ Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 71–75
48. F. Gül ‘Fused silika takviye edilmiş alüminyum alaşımı kompozitlerin abrasif ve adhasif aşınma davranışının araştırılması’ Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(1), 337-350, 2017
49. L. Esatoğlu,2018 ‘Elyaf takviyeli PPS kompozitlerinin sürtünme ve aşınma karakterizasyonu’ Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 01-2018
50. A. Sönmez,2017 ‘Alüminyum esaslı B₄C takviyeli kompozit malzemenin aşınma davranışlarının araştırılması ve deneysel sonuçlarının yapay sinir ağlarında modellenmesi’ Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,2017
51. H. Ay,2014, ‘Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımına Ti ve B₄C ilavesinin aşınma davranışı üzerine etkisinin incelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük,2014
52. İ. Öztürk Yılmaz,2012, ‘Otomotiv sac şekillendirme kalıplarında kullanılan malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 01-2012
53. Çinici H. Türker M. ‘TM Yöntemi İle Üretilen Alüminyum Esaslı Metalik Köpüğe Deformasyon Miktarının Etkilerinin Araştırılması’, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul – Türkiye, 854-860 (2006).
54. O. Kamer, S. Ateş ‘Al6061 Matrisli Geleneksel ve Atık Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi’ Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 5 Sayı 2 (2017), 72-78

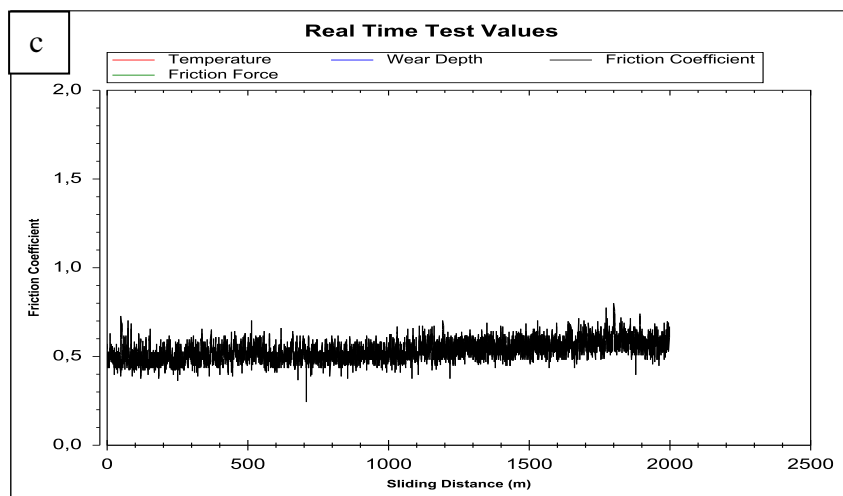
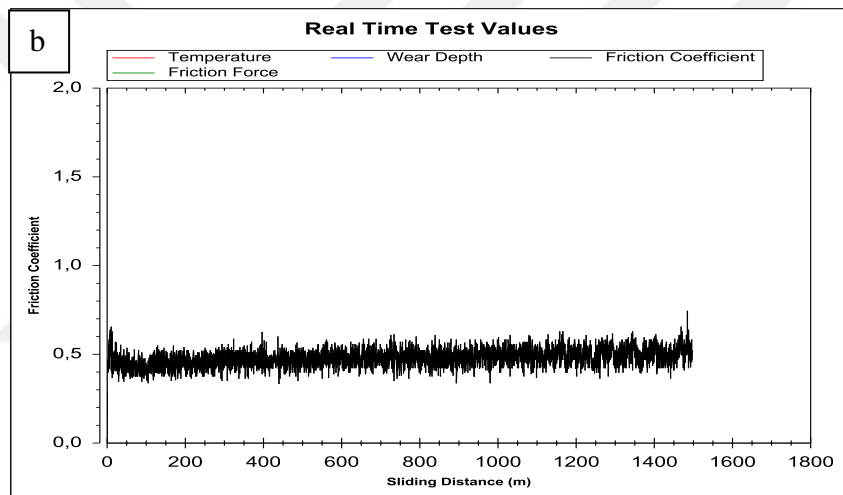
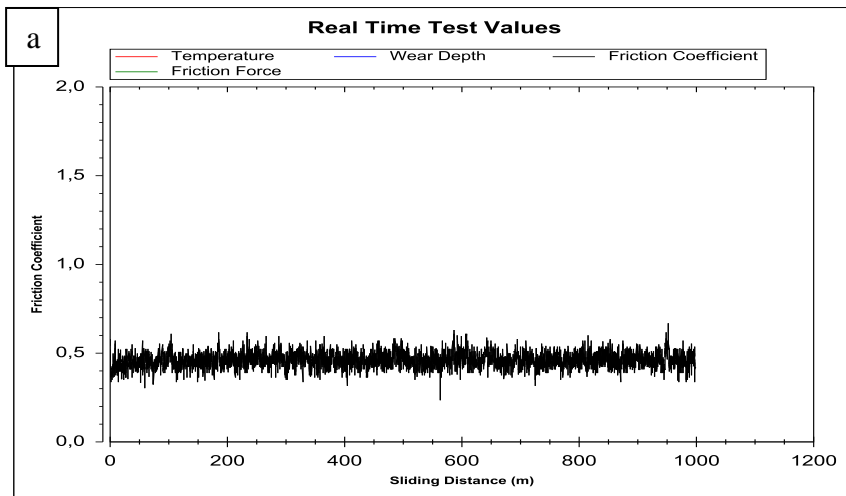
- 55.** C. Antony Va. Kumar, J. Selwin Rajadurai ‘Influence of rutile (TiO₂) content on wear and microhardness characteristics of aluminium-based hybrid composites synthesized by powder metallurgy’ *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 26(2016) 63–73
- 56.** V. Ramakoteswara Rao, N. Ramanaiyah, M. M. M. Sarcar ‘Tribological properties of Aluminium Metal Matrix Composites (AA7075 Reinforced with Titanium Carbide (TiC) Particles)’ *International Journal of Advanced Science and Technology* Vol.88 (2016), pp.13-26
- 57.** M. Yildırım, D. Özyürek ‘An Investigation of Wear Behaviors of AA7075Al Hybrid Composites’ *High Temp. Mater. Proc.* 2018; 37(7): 619–624
- 58.** J. Lakshmipathy, B. Kulendran ‘Reciprocating Wear Behaviour of 7075Al/SiC and 6061Al/Al₂O₃ Composites: A study of Effect of, Stroke and Load’ Vol. 36, No. 2 (2014) 117-126
- 59.** M. Irfan U. Haq, A. Anand ‘Dry Sliding Friction and Wear Behaviour of Hybrid AA7075/Si₃N₄ /Gr Self Lubricating Composites’ 2018 IOP Publishing Ltd.

EKLER

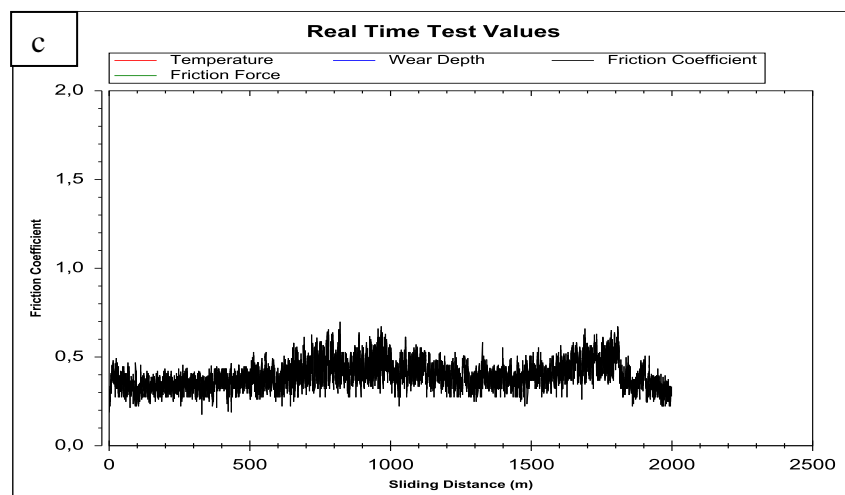
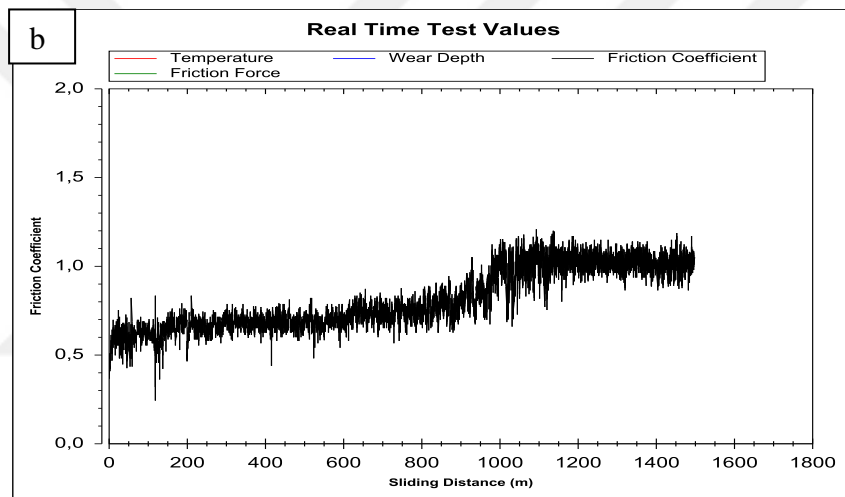
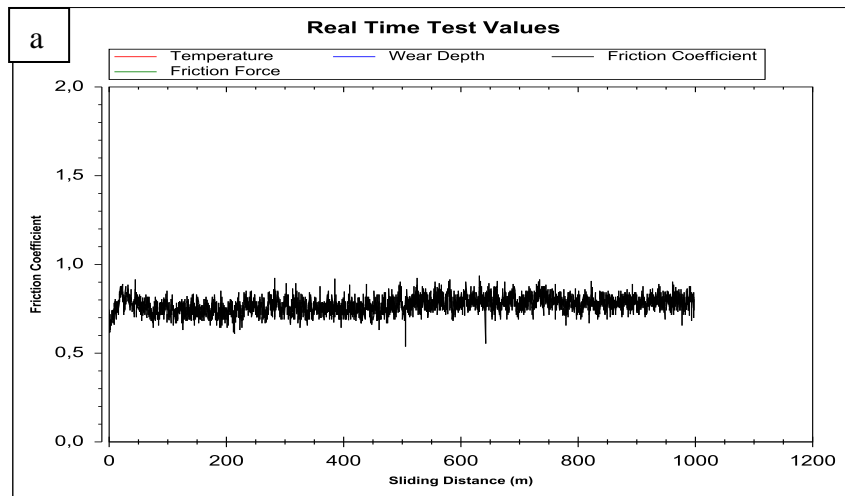
EK 1: AA7075'nin farklı kayma mesafelerinde sürtünme katsayıları a)1000 m b)1500 m c)2000m



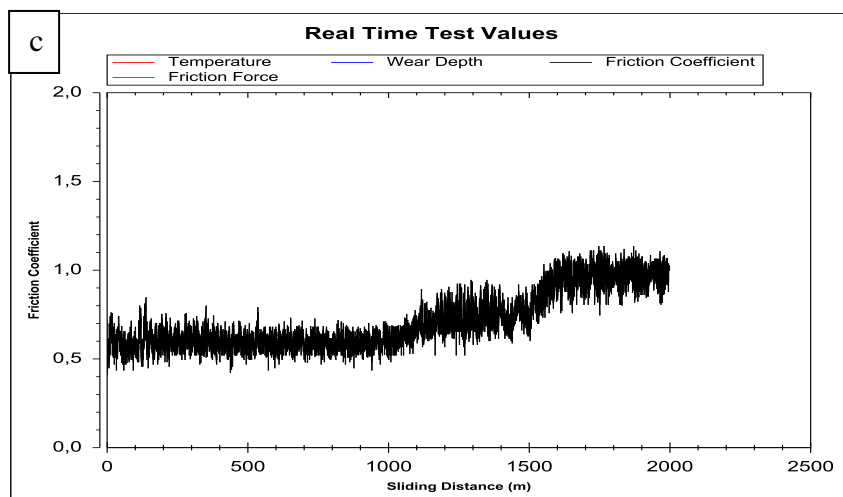
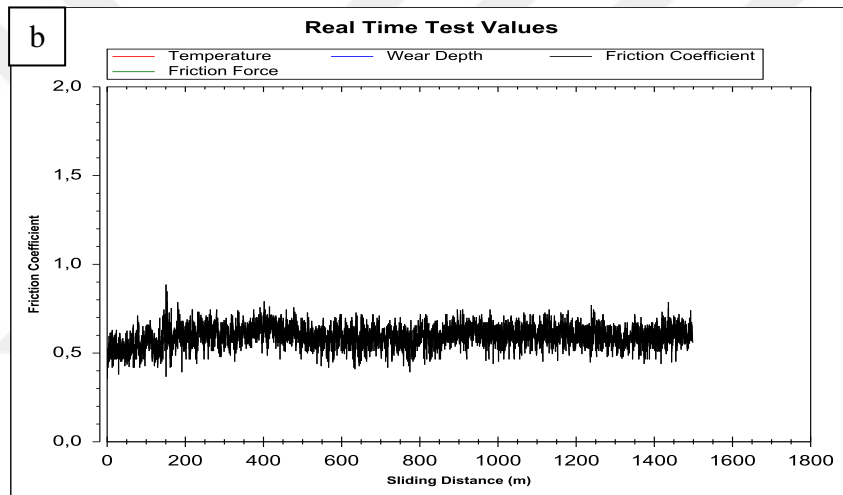
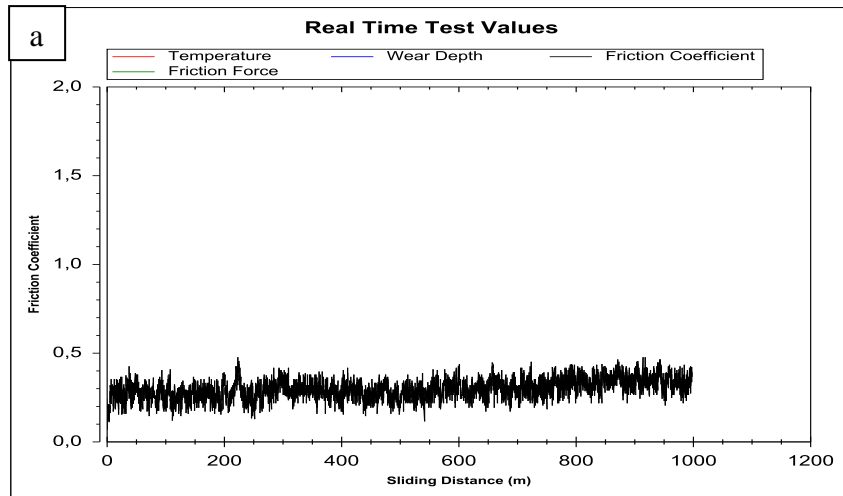
EK 2: AA7075 -%5 Al₂O₃ kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m



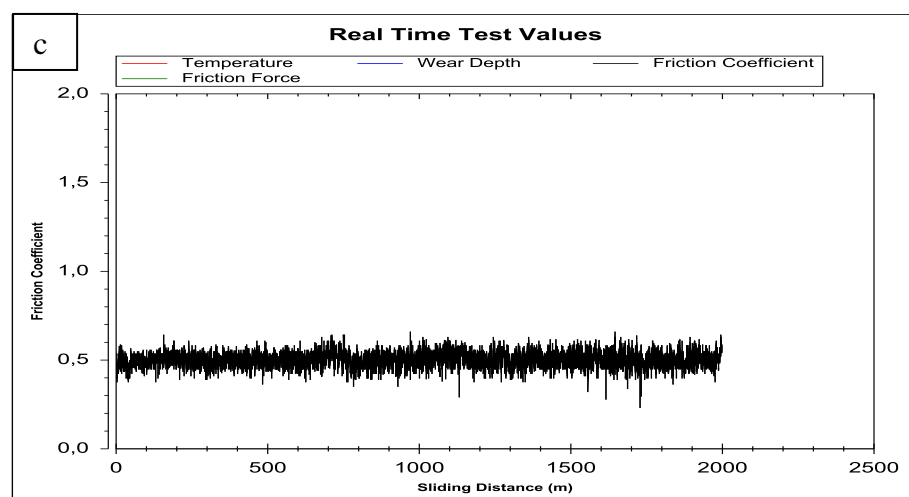
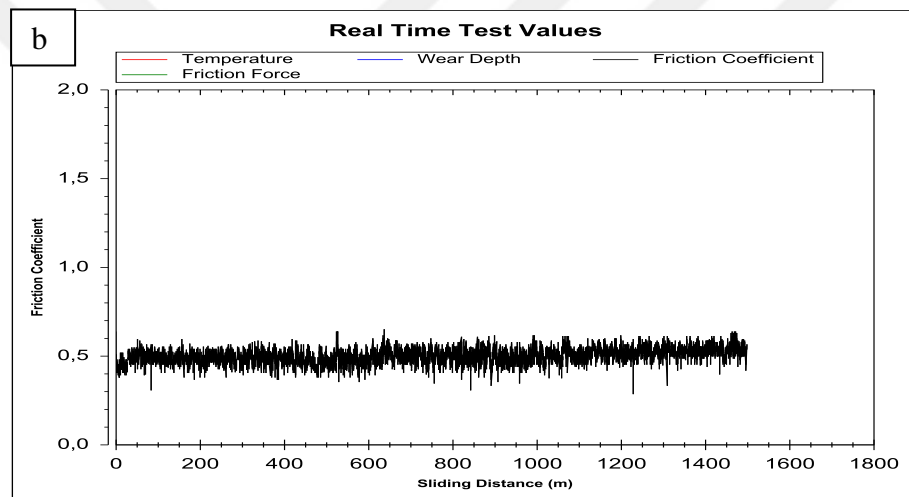
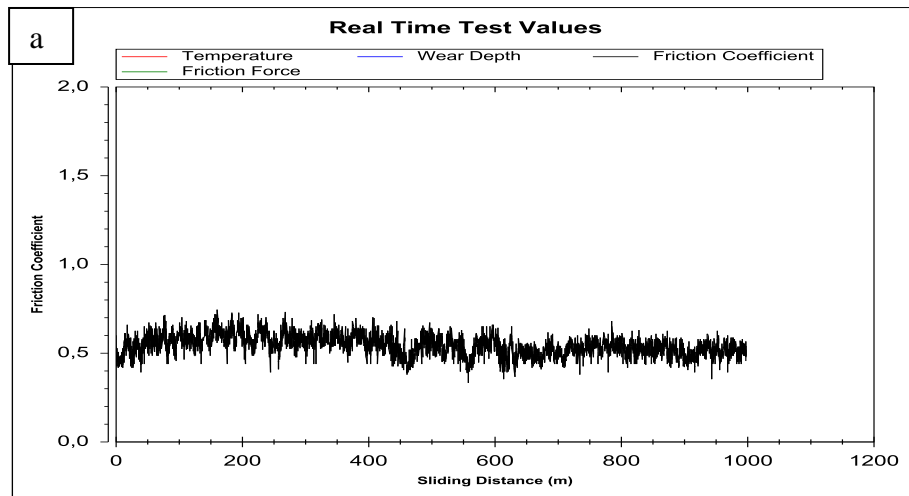
EK 3: AA7075 -%10 Al₂O₃ kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m



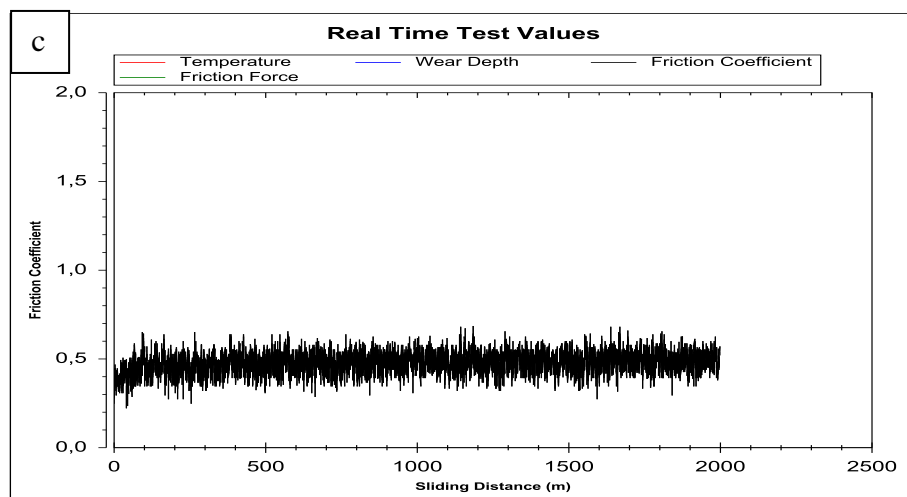
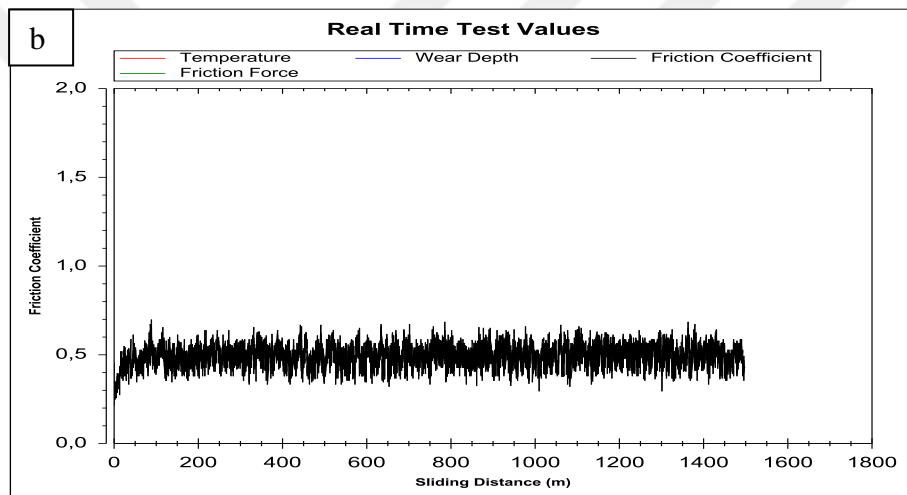
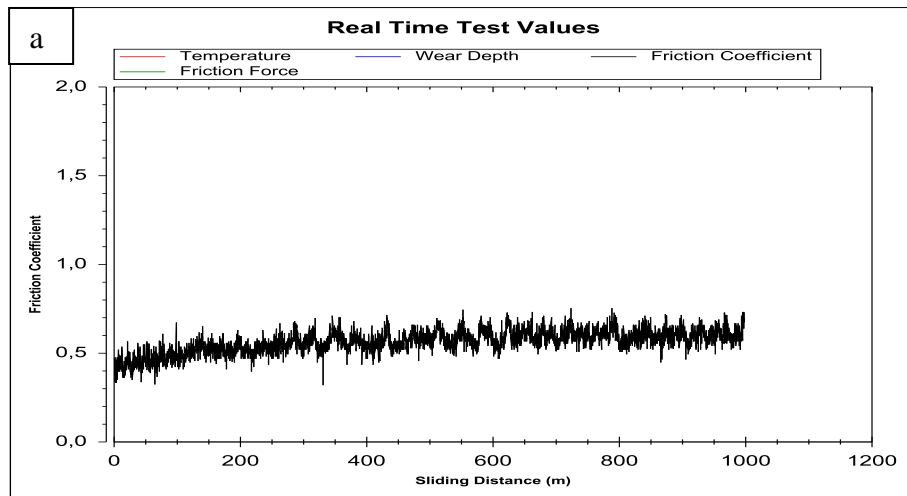
EK 4: AA7075 -%15 Al₂O₃ kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500 c) 2000m



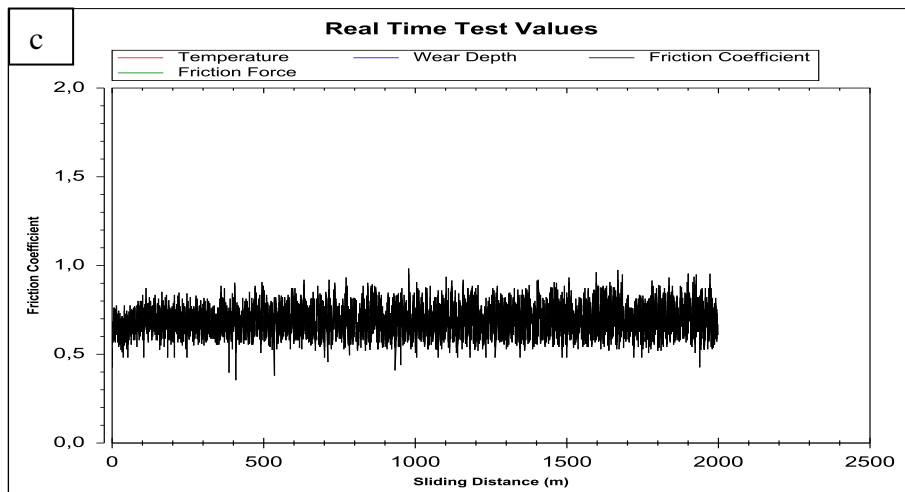
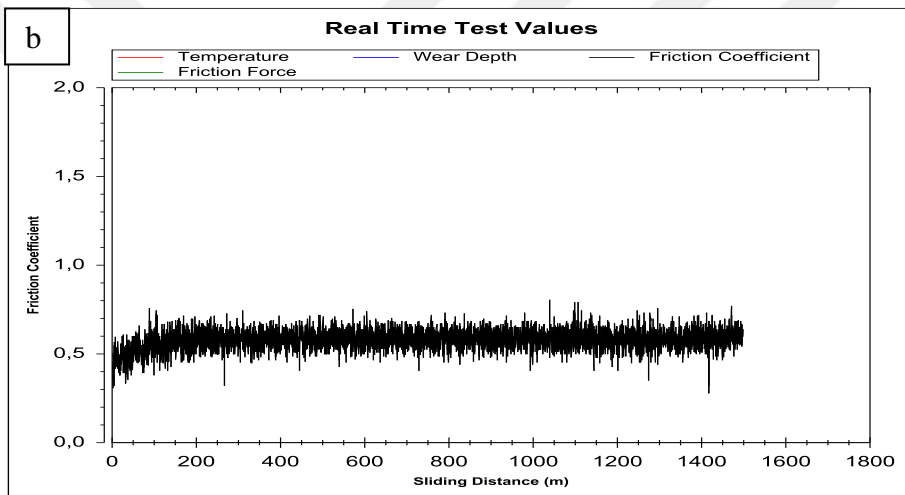
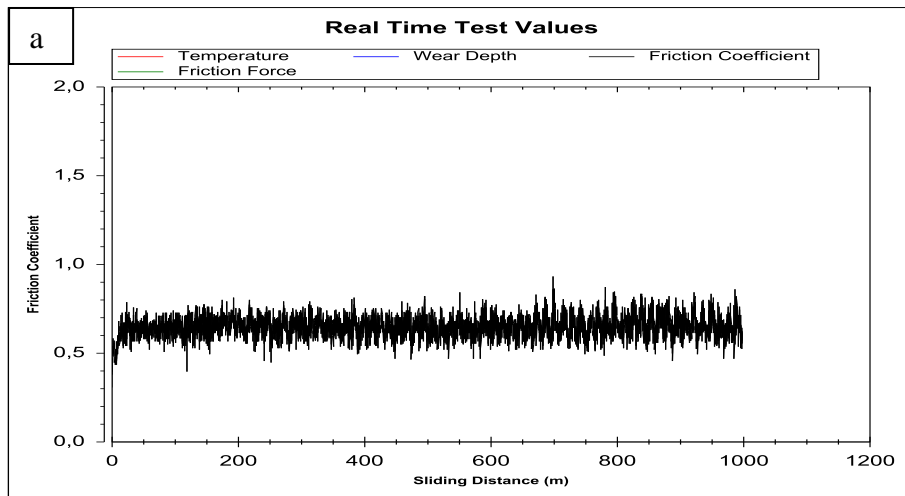
EK 5: AA7075- %5 SiC kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m



EK 6: AA7075- %10 SiC kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m

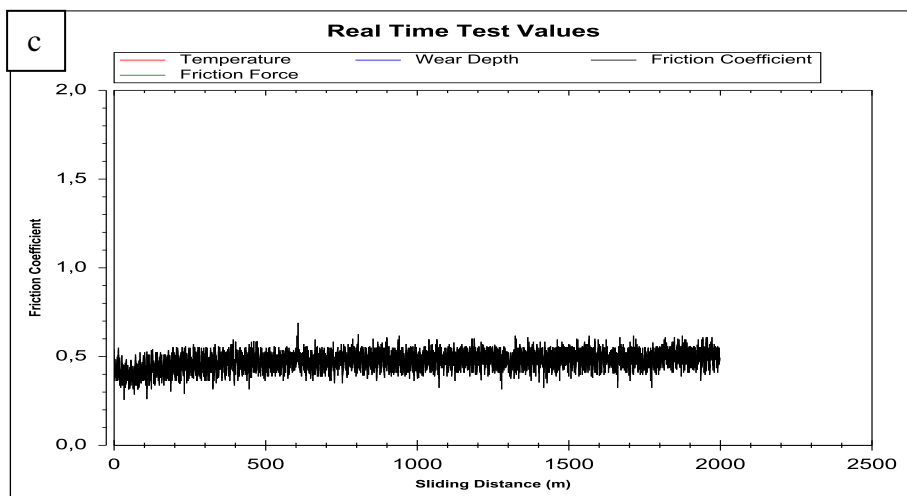
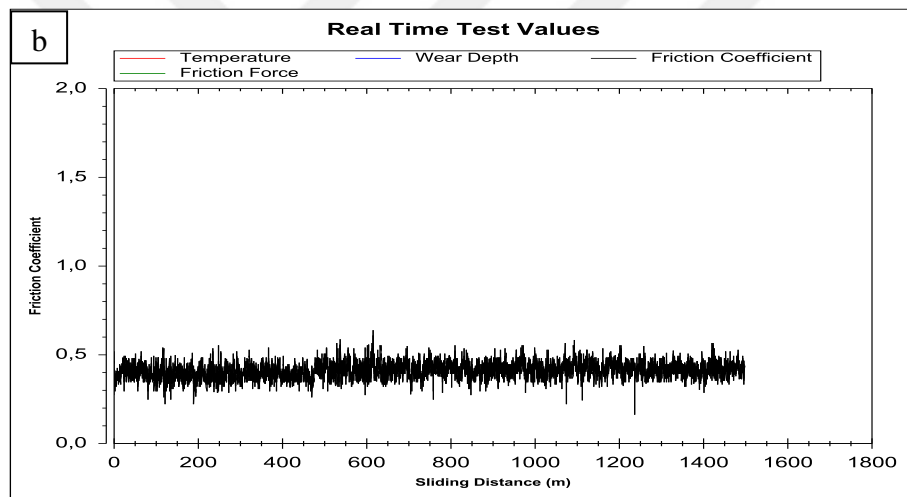
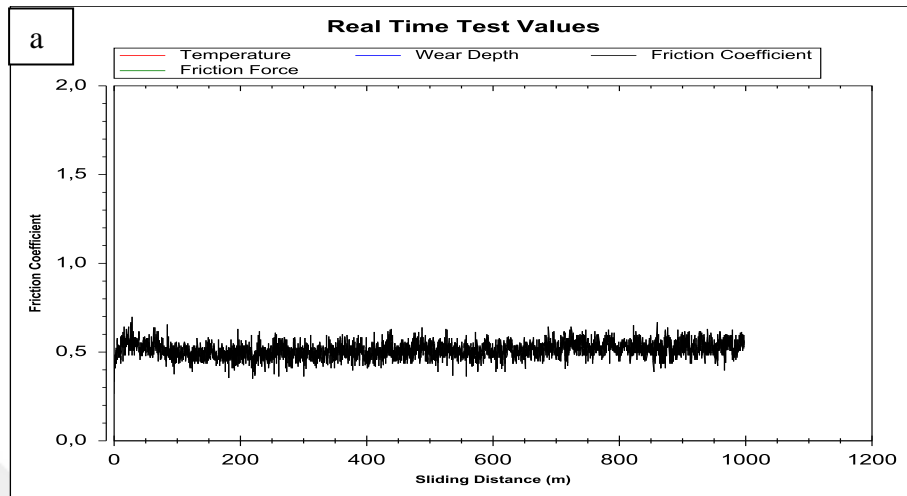


EK 7: AA7075 -%15 SiC kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m

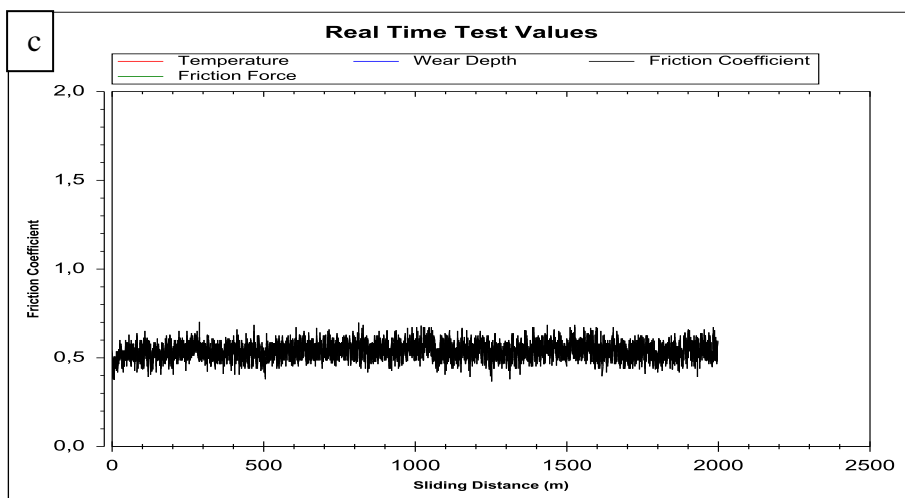
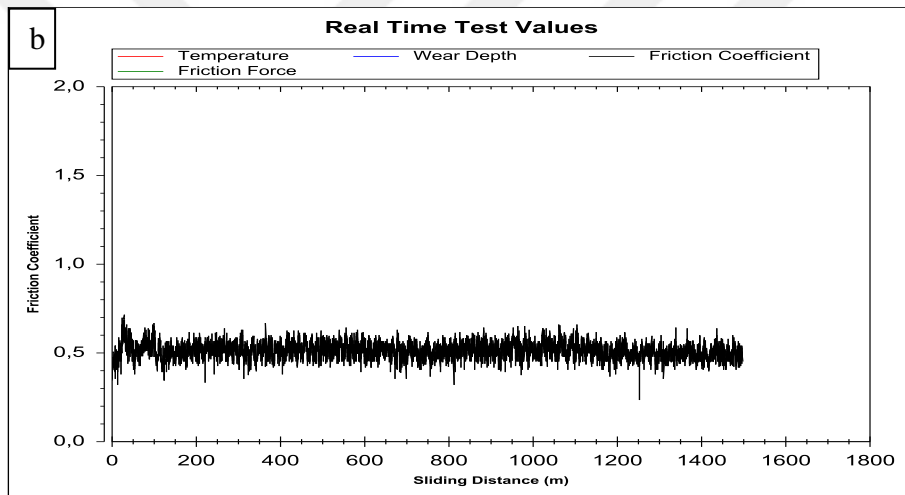
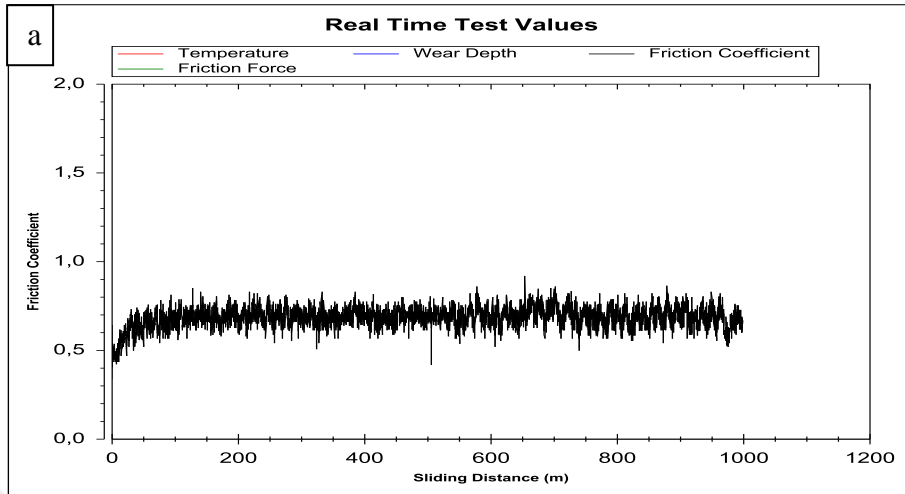


EK 8: AA7075- %5Al₂O₃/SiC hibrti kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m

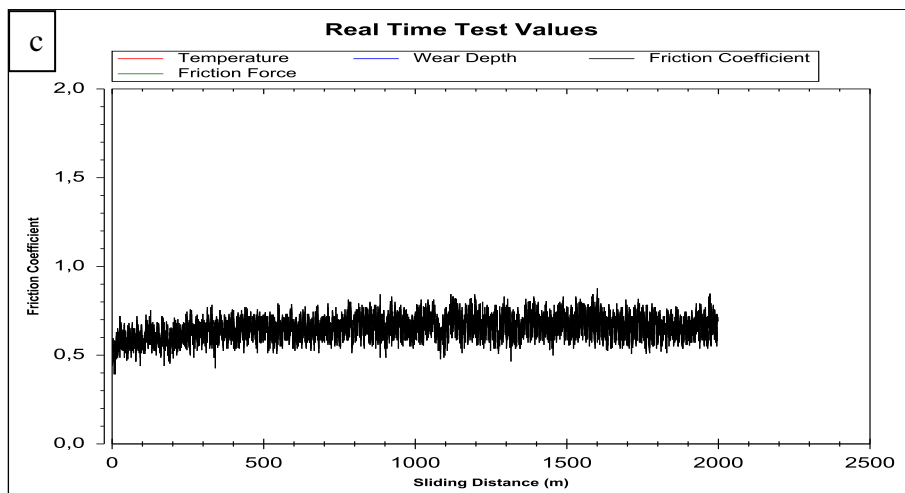
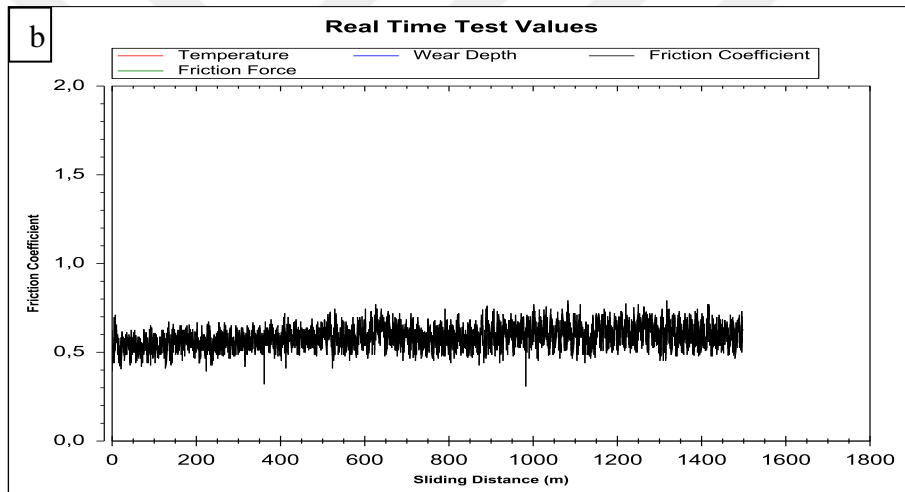
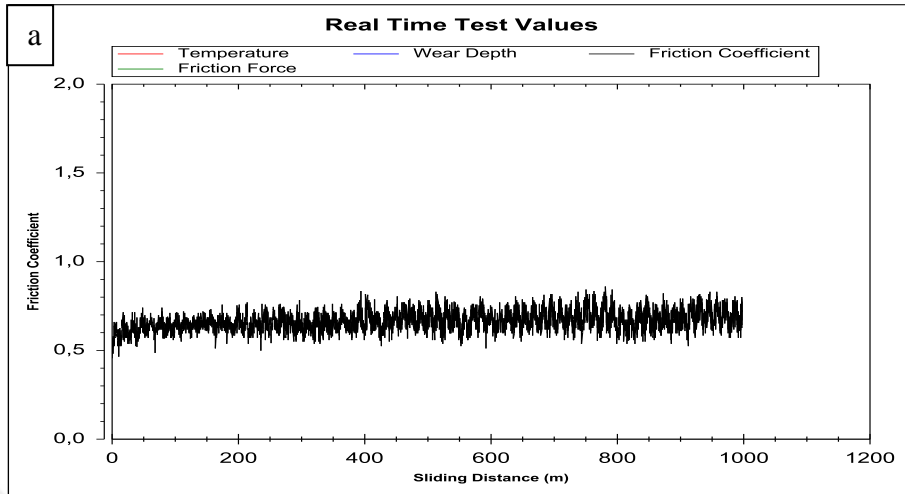
c) 2000m



EK 9: AA7075- %10 Al₂O₃/hibrit kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m



EK 10: AA7075-%15Al₂O₃/SiC hibrit kompozitin sürtünme katsayıları; a) 1000m b) 1500m c) 2000m



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zübeyde ÖZKAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Haymana /22.01.1991
Telefon : 05062802554
Faks : -
e-mail : Zubeyde-ozkann@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Polatlı Anadolu Öğretmen Lisesi (Polatlı TOBB Fen Lisesi) Polatlı/ Ankara	2009
Üniversite	: Hitit Üniversitesi	2015
Yüksek Lisans	: -	
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016	Polatlı Genç Osman Ortaokulu	Ücretli Öğretmenlik

UZMANLIK ALANI: Makine Mühendisliği

YABANCI DİLLER: İngilizce

BURSLAR: BAP 181351001 nolu proje

BİLDİRİLER: H. GÖKMEŞE and Z. ÖZKAN, “Microstructure and mechanical properties of composite materials AA 7075 aluminium matrix reinforced with Al₂O₃ particle,” presented at the The Internatınonal Conference on Materials Science Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Çeşme/İzmir (IMSMATEC’18), 2018.