



**SİC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN FARKLI ORTAMLARDAKİ
AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

FATMA KÖZ

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yavuz SUN**

**SİC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN FARKLI
ORTAMLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Fatma KÖZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yavuz SUN**

**KARABÜK
Ocak 2021**

Fatma KÖZ tarafından hazırlanan “SiC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN FARKLI ORTAMLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yavuz SUN

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Fatma KÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SiC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN FARKLI ORTAMLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Fatma KÖZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yavuz SUN

Ocak 2021, 67 sayfa

Bu tez çalışmasında, basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılarak farklı basınç değerleri altında alüminyum matrisli seramik partikül takviyeli kompozitler üretilmiştir. Matris malzemesi olarak AA6061 ve AA2024 alüminyum alaşımları tercih edilmiş olup takviye elemanı olarak da 37µm tane büyüklüğüne sahip silisyum karbür (SiC) partikülleri kullanılmıştır. Üretilen bu kompozitler de matris ve takviyelerin bileşenleri hacimce %50-%50 olarak sisteme dahil edilmişlerdir. Öncelikle yoğunluk ölçümü, porozite hesapları, X-Işını difraksiyonu (XRD), Taramalı elektron mikroskobu (SEM)ve optik mikroskop ile mikroyapı analizleri yapılarak karakterize edilmiştir. Daha sonra sertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Farklı basınç değerlerinde üretilen bu kompozit malzemelerden alınan sertlik değerleri birbirleriyle kıyaslanarak üretimdeki basınç değişiminin malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre 7-8 bar basınç arasında AA2024-SiC malzeme için saptanan artış değerinin AA6061-SiC malzemeye göre daha düşük

olduğu saptanmıştır. Aşınma testleri ise; kuru ortam, %3,5 NaCl cözeltisi ve motor yağı olmak üzere üç farklı ortam şartlarında her bir test numunesi için 20-40-60N değişken yük değerleri altında yapılmıştır. Bu yük değişimlerine göre kaydedilen verilerle elde edilen aşınma katsayısı-aşınma hızı grafiklerinden kıyaslamalar yapılmıştır. AA2024-SiC malzemesinin 7 bar basınçta üretilmiş olanlarının AA6061-SiC malzemesine kıyasla kuru ortamda 60N yük altında %12,5, tuzlu su ortamında daha az, motor yağı ortamında ise %66,7 daha fazla aşınmıştır. AA2024-SiC malzemesinin 8 bar basınçta üretilmiş olanlarının AA6061-SiC malzemesine kıyasla kuru ortamda 60N yük altında %44,44, tuzlu su ve motor yağı ortamlarında %50 daha az aşınmıştır. Dolayısıyla 7 ve 8 bar basınçta üretilen AA2024-SiC malzemeler AA6061-SiC ile kıyaslandığı zaman aşınmaya karşı dirençlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum, SiC, metal matrisli kompozitler, basınçlı infiltrasyon, aşınma deneyleri, yüksek mukavemet, hafiflik.

Bilim Kodu : 91512

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ANALYSIS OF ABRASION BEHAVIOR OF SiC REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES IN DIFFERENT ENVIRONMENTS

Fatma KÖZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Yavuz SUN

January 2021, 67 pages

In this thesis study, ceramic particle reinforced composites with aluminum matrix were produced under different pressure values using the pressure infiltration method. AA6061 and AA2024 aluminum alloys are preferred as matrix materials, and silicon carbide (SiC) particles with a grain size of $37\mu\text{m}$ are used as reinforcement elements. In these composites produced, the rates of the matrix and reinforcements were included in the system as 50% -50% by volume. For the characterization of these composites, density-porosity calculations, microstructure analysis in optical metal microscope, then XRD and SEM analyzes were performed, and hardness and wear tests were carried out to determine the mechanical properties of the material. By comparing the hardness values obtained from these composite materials produced at different pressure values, the effects of the pressure change on the material were examined and it was determined that the increase value determined for AA2024-SiC material between 7-8 bar pressure was lower than that of AA6061-SiC material. The wear tests;

It was carried out under variable load values of 20-40-60N for each test sample under three different ambient conditions: dry environment, 3.5% NaCl solution and engine oil, and comparisons were made from the wear coefficient-wear rate graphs obtained with the data recorded according to these load changes. According to the general results obtained here, for AA2024-SiC material, the samples produced with 8 bar in all three abrasion conditions compared to those produced with 7 bar; It was concluded that those produced with 7 bar for AA6061-SiC material have higher wear resistance than samples produced with 8 bar.

Key Word : Aluminum, SiC, metal matrix composites, pressure infiltration, wear tests, high strength, lightness.

Science Code : 91512

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesi ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönlendirmeleri ve tavsiyeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Yavuz Sun'a teőekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans tez çalıőmasını FYL-2020-2192 proje numarası ile maddi olarak desteklerini esirgemedikleri için Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (KBÜ-BAP) birimine teşekkür ederim.

Sevgili annem Lütfiye KÖZ'e hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları ve olacakları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN TARİHSEL GELİŞİMİ	3
2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	6
2.3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN UYGULAMA ALANLARI	14
2.4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM METODLARI	17
BÖLÜM 3	20
ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER	20
3.1. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	21
3.2. TRİBOLOJİK ÖZELLİKLER	22
3.2.1. Adhezif Aşınma (Adhezyon Aşınması).....	24
3.2.2. Abrasif Aşınma (Abrazyon Aşınması)	26
BÖLÜM 4	28
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28

	<u>Sayfa</u>
4.1. METALOGRAFİK ANALİZ VE MAKRO/MİKRO GÖRÜNTÜ ALMA...	28
4.2. XRD ANALİZİ	29
4.3. BRİNELL SERTLİK ANALİZİ	30
4.4. AŞINMA TESTİ	31
4.5. AŞINMA TESTİ SONRASI MİKROYAPI İNCELEMESİ (SHUTTLE PIX)	31
4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ	32
4.7. SEM ANALİZİ.....	32
BÖLÜM 5	34
DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUCU	34
5.1 MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU	34
5.2. XRD ANALİZİ SONUÇLARI	38
5.3. BRİNELL SERTLİK SONUÇLARI.....	39
5.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	40
5.4.1. Kuru Ortam Aşınma Sonuçları	40
5.4.2. %3,5 NaCl Çözeltisi Ortamında Aşınma Sonuçları	41
5.4.3. Motor Yağı Ortamında Aşınma Sonuçları.....	42
5.5. AŞINMA TESTİ SONRASI MİKROYAPI ANALİZİ	43
5.5.1. Kuru Aşınma Ortamı	44
5.5.2. %3,5 NaCl Çözelti Ortamı.....	46
5.6.3. Motor Yağı Ortamı	48
5.6. SEM-EDS ANALİZ SONUÇLARI	50
5.6.1. Kuru Aşınma Ortamı	50
5.6.2. %3,5 NaCl Çözelti Ortamı.....	54
5.6.3. Motor Yağı Ortamında	58
BÖLÜM 6	62
GENEL SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Havacılık endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanım oranı	6
Şekil 2.2.	Kompozit malzemelerin matris ve takviye türüne göre genel dağılımı	7
Şekil 2.3.	Kompozit malzemedeki sürekli fiber yapısı.	8
Şekil 2.4.	Kompozit malzemelerdeki süreksiz fiber yapısı	8
Şekil 2.5.	Kompozit malzemelerde whiskerler yapısı	8
Şekil 2.6.	Kompozit malzemelerde partiküler yapı	9
Şekil 2.7.	Matriks türüne göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	9
Şekil 2.8.	Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK yapıları a) partikül takviyeli, b) kısa fiber takviyeli, c) sürekli fiber takviyeli	10
Şekil 2.9.	MKK Üretiminde kullanılan takviye malzemelerin kullanım oranları ..	11
Şekil 2.10.	MKK İçin kullanılan takviye elemanların oranları	12
Şekil 2.11.	Seramik matrisli kompozit malzemedeki imal edilmiş fren diski	13
Şekil 2.12.	Bir yapı uygulamasında güçlendirme amaçlı kullanılmış polimer matrisli kompozit malzemeler	14
Şekil 2.13.	Al Matrisli kompozit malzemedeki üretilen motor parçaları piston kolu vs	15
Şekil 2.14.	Bir yolcu uçağında kompozit malzemelerin kullanıldığı noktalar	16
Şekil 2.15.	Al metal matrisli kompozit malzemedeki üretilen silindir gömleği.	16
Şekil 2.16.	Basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi	19
Şekil 3.1.	Adhezyon ve abrazyon aşınmasına örnek olarak görüntüdeki kam mili üzerindeki izler	24
Şekil 3.2.	Adhezif aşınma mekanizması	25
Şekil 3.3.	Adhezif aşınma örneği / yapışma aşınması	26
Şekil 3.4.	Bir makine milleri üzerindeki abrasif aşınma çizgileri	26
Şekil 3.5.	Abrasif aşınma mekanizmasına örnek	27
Şekil 3.6.	Abrasif aşınmaya maruz kalan kırıcı ve aşındırıcılar	27
Şekil 4.1.	Struers tegramin-30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı	29
Şekil 4.2.	Nikon MA200 optik metal mikroskop cihaz	29
Şekil 4.2.	Kompozitlerin XRD analizlerinin yapıldığı X-Işını difraktometresi XRD deney cihazı	30
Şekil 4.3.	QNESS Q20M makro sertlik ölçüm cihazı	30

Şekil 4.4.	UTS tribometer T10 aşınma test cihazı.....	31
Şekil 4.5.	Shuttle Pix.	31
Şekil 4.6.	Portable surface roughness tester (Sj- 410 series) / profilometre.....	32
Şekil 4.7.	Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem.	33
Şekil 5.2.	AA6061-SiC kompozitin üretim basıncına göre mikro yapı görüntüleri.	36
Şekil 5.1.	AA2024-SiC kompozitin üretim basıncına göre mikro yapı görüntüleri.	36
Şekil 5.4.	a) 7 ve 8 bar basınçta üretilen AA6061-SiC kompozitlerin SEM görüntüleri.	37
Şekil 5.3.	a) 7 ve 8 bar basınçta üretilen AA2024-SiC kompozitlerin SEM görüntüleri.	37
Şekil 5.5.	a) 2024-SiC, b) 6061-SiC XRD Analiz sonuçları.	39
Şekil 5.6.	Takviyesiz ve 7-8 bar basınç ile üretilen AA2024 ve AA6061 kompozit malzemelerin sertlik değerlerindeki değişim	39
Şekil 5.7.	AA2024-SiC & AA6061-SiC kompozitlerin kuru aşınma ortamında aşınma hacimlerinin değişken yüklere ve üretim basıncına bağlı değişimi.	40
Şekil 5.8.	AA2024-SiC & AA6061-SiC kompozitlerin %3,5 NaCl ortamında aşınma katsayılarının değişken yüklere ve üretim basıncına bağlı değişimi.	41
Şekil 5.9.	AA2024-SiC & AA6061-SiC kompozitlerin motor yağı ortamında aşınma katsayılarının değişken yüklere ve üretim basıncına bağlı değişimi.	42
Şekil 5.9.	AA2024-SiC numunelerinin kuru ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri	44
Şekil 5.10.	AA6061-SiC numunelerinin kuru ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.	45
Şekil 5.11.	AA2024-SiC numunelerinin NaCl sulu çözeltisi ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikro yapı görüntüleri görüntüleri.	46
Şekil 5.12.	AA6061-SiC kompozitlerin NaCl sulu çözeltisi ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.	47
Şekil 5.13.	AA2024-SiC kompozitlerin motor yağı ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.	48

Şekil 5.14. AA6061-SiC numunelerinin motor yağı ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.	49
Şekil 5.15. AA2024-SiC kompozitin 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	50
Şekil 5.16. AA2024-SiC kompozitin 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	51
Şekil 5.17. Farklı basınç değerleri altında üretilen AA6061-SiC kompozitin 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri.	52
Şekil 5.18. AA6061-SiC kompozitin 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	53
Şekil 5.19. AA2024-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamında 20N yük altındaki aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	54
Şekil 5.20. AA2024-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamında 60N yük altındaki aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	55
Şekil 5.21. AA6061-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamındaki 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	56
Şekil 5.22. AA6061-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamındaki 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	57
Şekil 5.23. AA2024-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri.	58
Şekil 5.24. AA2024-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri.	59
Şekil 5.25. AA6061-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	60
Şekil 5.26. AA6061-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Aşınma mekanizmasını belirleyen bileşenler.	23
Çizelge 5.1. 7 ve 8 bar ile üretilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerin takviye ve matris hacim oranları.....	34
Çizelge 5.2. 7 ve 8 bar ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerin takviye ve matris hacim oranları.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
Si	: silisyum
Fe	: demir
C	: karbon
Na	: sodyum
Cl	: klor
E	: elastiklik modülü
MPa	: mega paskal
Mm ²	: milimetre kare
µm	: mikrometre

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
TS	: Türk Standardı
SEM	: Scanner Electron Microscope
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu tez çalışmasında endüstriyel olarak hayatımızın birçok alanında yaygın bir şekilde kullanılan AA2024 ve AA6061 alaşımlarının aşınma davranışlarının geliştirilmesi incelenmiştir. Bu kalite alaşımlar kullanıldıkları ortam koşullarına da bağlı olarak aşınma etkisine ve mekanik zorlanmalara maruz kalmaktadırlar. Uçak sanayisinde, askeri ekipmanlarda, savunma sanayisinde ve yüksek sertlik/aşınma direnci gerektiren alanlarda kullanılan AA2024 alüminyum alaşımından farklı ortam koşullarında bile mekanik zorlamalara karşı dayanıklı olması beklenmekte olup gemi inşa, havacılık, demiryolu, uzay uygulamaları gibi alanlarda kullanılan AA6061 alaşım için de benzer şekilde mekanik dayanımlarının oldukça yüksek olması beklenmektedir. Alaşımlardan beklenen bu ayırıcı özelliklerin geliştirilmesi üzerine yapılan literatür taramalarında yüksek kırılma tokluğu, yüksek sertlik ve aşınma direnci gibi özelliklere sahip takviyelerin kullanıldığı saptanmıştır. Bu bahsedilen takviyeler arasından SiC, B₄C ve TiB₂ seramik esaslı olanlar düşük yoğunlukta olmalarına karşın yüksek mekaniksel özellikler sahip olmakla birlikte matris malzemesine takviye edilmesi durumunda matrisin mekaniksel özelliklerini geliştirdiği gözlenmektedir.

Takviye elemanlarının matris malzemesinin özelliklerini iyileştirmesinin yanı sıra sisteme ilave edilme oranları da oldukça önemli olup bu oran malzemedan istenilen özelliklerin derecesine göre değişim gösterir. Dolayısıyla bu tip üretimler yapılmadan önce malzemedan istenilen özellikler net olarak belirlenerek doğru oranda ve boyutta takviye elemanı akabinde de üretim yöntemi seçilmelidir. Üretim yöntemleri açısından matris içerisine düşük oran da takviye elemanı ilave edebilmek için toz metalürjisi, karıştırılmalı döküm gibi yöntemler kullanılmıştır. Düşük oranda matrise ilave edilen bu takviyelerin malzemenin özelliklerini iyileştirdiğinin bilinmesinin yanı sıra takviyenin yüksek oranda yapılması durumunda hem ticari açıdan hem de elde edilecek özellikler açısından daha avantajlı olduğu ifade edilmiştir.

Araştırmalar neticesinde basınçlı infiltrasyon yönteminin kullanılması durumunda yüksek hacim oranında takviye içeren kompozitlerin mekaniksel özelliklerinde yüksek oranda iyileşme olduğu bu çalışmalarda incelenmiştir.

Bu araştırmalar doğrultusunda oluşturulan bu tez çalışmasında matris malzemesi olarak tercih edilen AA2024 ve AA6061 alaşımlarının farklı ortam koşullarındaki aşınma dirençlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda matris fazına ilave edilecek takviye elemanın düşük yoğunluk, yüksek sertlik ve mukavemet gibi özelliklere sahip seramik esaslı silisyum karbürün (SiC) olması belirlenmiştir. Ayrıca bu malzemeler için optimum üretim basıncını saptamak amacıyla kompozitler 7 bar ve 8 bar basınç altında farklı varyasyonlarda incelenmek üzere dört grup malzeme üretilmiştir. Akabinde faz analizler için X-ışını kırınım analizinden (XRD), ayrıntılı morfolojik ve mikroyapı incelemesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizinden yararlanılmıştır. Mekaniksel özelliklerinin belirlenmesi için Brinell sertlik (HB) analizi ve 20-40-60N yük etkileri altında ve özellikle bu alaşımların kullanım alanlarının yaygın olması sebebiyle aşınma testlerinin kuru ortam, %3,5 NaCl ve motor yağı olmak üzere üç farklı ortam koşulları içerisinde aşınma testleri yapılması kararlaştırılmıştır. Elde edilen aşınma hızı, aşınma katsayısı grafiklerindeki veriler tartışılmıştır. Sonuç olarak üretilen AA2024-SiC kompozit malzemeni üretim basıncının artması sonucu öngörüldüğü üzere iyileşmelerin olduğu görülürken AA6061-SiC için tam tersi bir durum olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yüksek basınçta sağlanan üretimlerin her alaşım grubu için bir avantaj teşkil etmediği gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 2

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler; kompozit malzemelerin matris türüne göre sınıflandırılması sonucunda üçe ayrılan konu başlıklarından birini kapsamaktadır. Dolayısıyla elde edilen malzeme özelliklerinin daha iyi anlaşılması, genel çerçevenin daha net görülebilmesi ve yorumlanabilmesi açısından “metal matrisli kompozit malzemeler” başlığının kapsamında bulunan tüm alt başlıklar ile ilgili araştırmalar ve teorik bilgiler bu bölümde verilmiştir.

2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Kompozit, kerpiç yapılardan bugünüme kadar asfalt, betonarme vb. formlarıyla ulaşan bir geçmişe sahip olup tarihte 1930’lu yıllarda “Kondensasyon Reaksiyonu” ‘nun keşfedilmesiyle ivme kazanarak ciddi bir gelişme göstermiştir. II. Dünya Savaşı zamanlarında askeri alanda fark yaratmak için plastik formuyla kullanılmaya başladıktan sonra yaklaşık 1946’ dan sonra dünya ticaretine sunuldu.

En eski örnekleri yüzyıllar öncesine Antik çağlara kadar uzanmakta olup eski insanlar gevrek malzemelerin içerisine hayvansal veya bitkisel lifler ekleyerek bu araç ve gereçlerin kırılmalarını/çatlamalarını önlemeyi amaçlamışlardır. Bu duruma en iyi örnek günümüzde hala izlerine rastladığımız kerpiçtir. Kerpiç matris malzemesi olarak kabul edilen çamur içerisine sap/samanların takviye edilmesiyle güçlendirilmiş ve insanların kendini koruyabilecekleri barınaklar, evler inşa etmelerini sağlamıştır. Sonralarında insanoğlu farklı malzemelerin birleşmesiyle oluşan bu sağlam ve dayanıklı malzemelerin avantajlarının daha çok farkına vararak kullanım alanını genişletmeye başlamışlar. Örneğin tarihte Moğolların ilkel savaş teknolojilerine bakıldığında yayların gerdirerek uygulanan belli bir kuvvetten sonra kırılması

sorununa malzemenin zayıf bölgelerine farklı yönlerde lifler içeren hayvan tendonları ilave edildiği ve bunlarla yayların güçlendirildiği saptanmıştır [1].

1930 yılında Owens Corning firmasında bir mühendisin çalışmalarında tesadüfen keşfettiği ve yedi sene sonra Amerika’da satışa sunulduğu fiberglas malzeme antik çağlara dayanan kompozit malzemeler için yeni bir dönem açmış ve modern kompozit malzemelerin ilk adımı atılmış oldu. Fiberglas ilk başlarda cam yünü adı altında yalıtım malzemesi olarak sektörde ilgi görmüş ve ardından yapısal ürünlerde kullanılmaya başlanmıştır.

İlk üretilen sentetik plastikler 1900’lü yılların başında geliştirilmiş olup 1930’ lu yıllara erişildiğinde bu malzemeler diğer malzemeler ile yarışır düzeye gelmiştir. Plastiklerin bu denli hızlı yükselişi yüksek korozyon dayanımına, kolay şekillenebilirliğe, iyi derecede yüzey kalitesine ve metallere oranla ağırlığının – yoğunluğunun düşük olmasına borçlu idi ancak onu zayıf kılan nokta ise sertlik ve mukavemet değerlerinin düşük olmasıydı. Böylesine güçlü bir malzemenin yapısal uygulamalarda kullanımının mümkün olamaması plastiklerin daha güçlü olması ihtiyacını doğurdu. Fiberglass’ın keşfi ile yakın dönemlere denk gelen bu problem sentetik plastiklerin fiberglass ile birleştirilmesi fikrini oluşturdu ve bu yol ile ortaya çıkan yeni malzeme artık sertlik ve dayanım sahibiydi. Bu yeni malzeme birçok kesimde heyecan yaratırken özellikle yeni malzeme arayışı içinde havacılık sektörünün ayrı bir ilgisini çekmiştir. Sonraki dönemde uygulama alanında da birçok başarılı projelere imza atılmasıyla havacılık sektöründe “fiberglas takviyeli kompozitlerin” dönemi başlamıştır. Matris malzemesinde bir yenilik olarak da yaklaşık 1938 yılında epoksinin keşfedilmesiyle daha yüksek performansa sahip matris malzemeleri geliştirildi. O dönemde yaşanan bu hızlı gelişmelere paralel olarak kompozit malzemelerin kullanım alanları da genişledi [2].

II. Dünya Savaşı’nı içine alan 1938-1945 yılları arasında kompozit malzemelerin aktif olarak kullanıldığı çok fazla savaş malzemesi ve uçak imalatı yapıldı. Klasik el yatırma metodu, pultrüzyon, ve vakumla kalıplama yöntemlerinin yanında yeni üretim tekniklerinden ilk defa püskürtme tekniğinin kullanılmaya başlanması da bu döneme denk gelmektedir. Kompozit malzemelerin yaygın kullanımının başlaması savaş

dönemlerine denk geldiği için üreticilerin pazara geliştirdiği tüm ürünler savaş odaklı gelişmiştir. Bu durum savaş sonrasında kompozit malzemelerin ve fiberglasın günlük yaşantımızın nerelerinde yer alabileceği sorunsalını beraberinde getirmiştir. Akabinde bazı firmaların akla gelebilecek her ürünü bu malzemelerden imal etmeye çalışmalarının fiberglass imalatçıları tarafından maliyetlerin karşılanması ürün geliştirme maliyetlerine destek olmuştur. Savaş döneminde üretilen fiberglas takviyeli binlerce tekne de doğrudan ticari uygulamaya dönüştürülmesiyle satılmıştır [3].

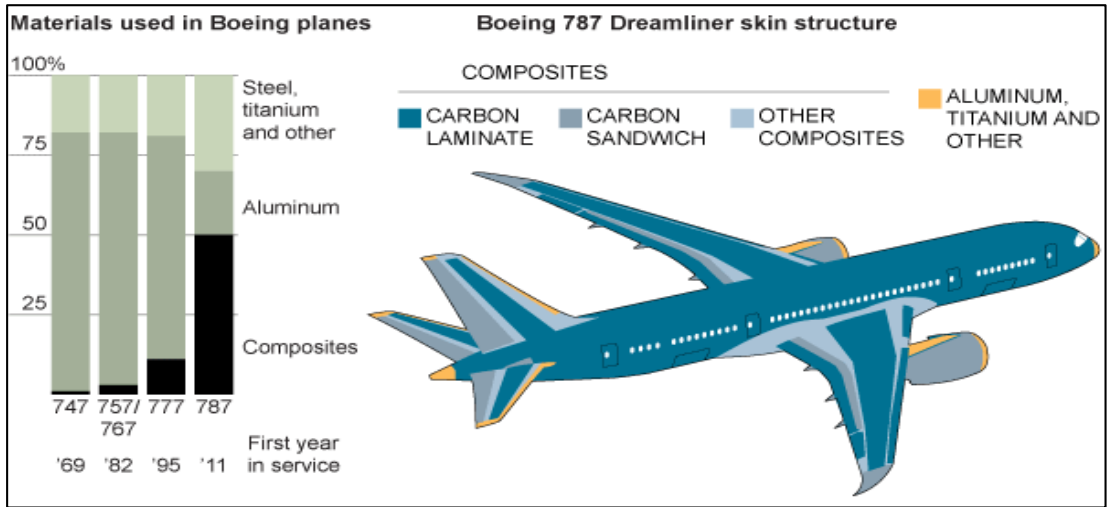
Savaş döneminde geri planda kalan otomotiv sektörü için de kompozit malzemelerin uygulanabilir olabileceği kısa sürede fark edildi ve 1947 senesinde ana gövdesi tamamen kompozit malzemedan imal edilen bir araç üretilmiş ve başarılı bir şekilde test edilmiştir. Bu adım otomotiv sektöründe atılacak adımların temelini oluşturdu. Savaş sonrası dönemde; oksitlenmeyen borular, depolama tankları ve ev eşyaları gibi bazı ürünler kompozit malzemelerin bir pazarı haline dönmüştür [1].

1970'lerin başlarında üretilen yüksek molekül ağırlıklı fiberglas, polietilen ve karbon fiberler, birlikte tıbbi gereçler, uzay ve havacılık sanayi, askeri ve zırh sanayi gibi bir çok alanda görülmemiş bir ivme yakalamıştır. Malzeme yapısındaki matris malzemesi yükü takviye elemanlarına aktaran ve şekilsel bütünlüğü koruyan bir göreve sahip olduğu bu alanda yaşanan gelişmelerde kompozit malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci gerektiren alanlarda kullanılabilirliğin artmasına vesile olmuştur [2].

Genel olarak kompozit malzemelerin gelişme sürecine bakıldığında; 1960'lı yıllara kadar ki askeri amaçlı üretimlerde yaşanan üretim zorluğu, yüksek maliyetler vb. gibi sebeplerden dolayı ticari olarak yaygınlaşmasını engellemiş olup daha çok özel amaçlara yönelik uygulamalarla kısıtlı bırakılmıştır. 1960'lı yıllardan sonra ise dünyada bu alanda yapılan AR-GE çalışmaları sağlam, hafif ve yüksek korozyon direncine sahip malzeme arzu eden her sektörü kompozit malzemelerle tanıştırmıştır. Bu tanışıklık ilerleyen dönemde hammaddelerin ucuzlaması, üretim teknolojilerinin gelişmesi, çalışmaların ve teknik deneyimlerin artması ile artarak devam etmiştir [2].

Günümüzdeki durumuna bakıldığında hem günlük sıradan yaşantımız da hem de birçok hayati parçanın yerini aldığını ve başarıyla uygulandığını görülmektedir [1].

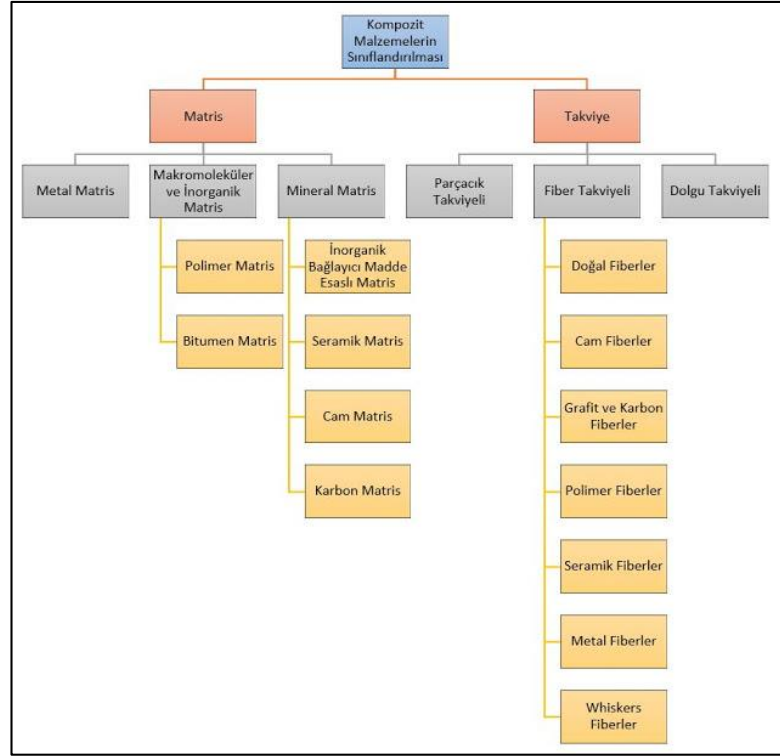
Malzemenin performansının maksimum derecede önemli olduğu çoğu endüstride kompozit malzemeler pazar paylarını büyütmeyi sürdürüyor. Kompozit malzeme sektörü özellikle ülkemizde ve Avrupa'da önemli derecede büyüme göstermektedir [1].



Şekil 2.1. Havacılık endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanım oranı [2].

2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler endüstriyel anlamda geniş bir kullanım alanına sahip olmasından dolayı bu malzemeleri özellikleri, avantaj ve dezavantajları, takviye türleri, matriks türleri ve üretim yöntemleri başlıkları altında sınıflandırılıp incelenmesi daha doğru olacaktır. Kompozit malzemeler matriks ve takviye elemanları olmak üzere iki ana bileşenden oluştuğu için en yaygın sınıflandırılmaları da bu iki başlık altında aktarılır.



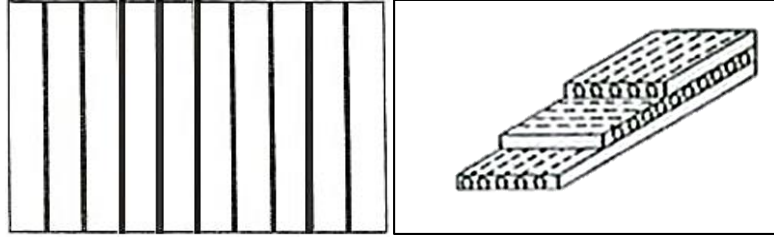
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin matris ve takviye türüne göre genel dağılımı [2].

Takviye türüne göre kompozit malzemeler; üretim aşamasında kullanılan kompozit bileşenlerin özelliklerine, bu bileşenlerin bağlı bileşimine, boyutuna, şekline, dağılımına ve yönelimine doğrudan bağlıdır. Dolayısıyla üretim aşamasında çok farklı takviye elemanlarının kullanılıyor olması sınıflandırmayı mecbur kılar.

Şekline göre takviye malzemeleri beş alt gruba ayrılmaktadır:

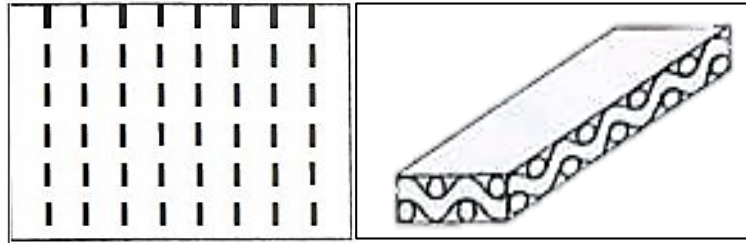
- Sürekli Fiberler

Al alaşımlarında bulunan sürekli lif takviye bileşenleri; B, SiC, C ve Al₂O₃'tür. Bu bileşenler kendilerinden beklenen hemen hemen tüm özellikleri karşılayabilirler. Sürekli takviyeli elemanları lifli olmalarından dolayı çekme dayanımı ve elastiklik modülü yönünden iyi sonuçlar vermekte olup böyle bir yapının dezavantajı olarak ise enine kesitlerde çekme mukavemetinin düşük olmasıdır [4,5].



Şekil 2.3. Kompozit malzemedeki sürekli fiber yapısı [5].

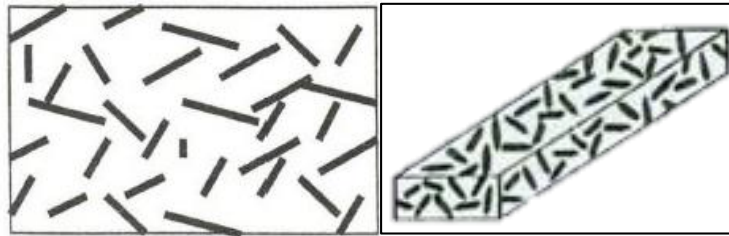
- Süreksiz (Kısa) Fiberler



Şekil 2.4. Kompozit malzemelerdeki süreksiz fiber yapısı [4,5].

- Kılcal Kristal (Whiskerler)

SiC veya Al_2O_3 k-esaslı kedi bıyığı (whisker) ilaveli MMK'ler yüksek çalışma sıcaklıklarında ihtiyaç duyulan ısıl yorulma, gerilme direnci ve sürünme gibi özellikleri karşılayabildikleri için tercih edilirler. Genellikle whiskerler takviyeler 0,1-2 μm çap 10-20 μm uzunluğundadır. Bu takviyelerde oluşan kırılmaların yorulma çatlaklarının ilerleme hızını arttırdığı akabinde yorulma ömrünü ciddi oranda düşürdüğü deneysel çalışmalarca sabittir.



Şekil 2.5. Kompozit malzemelerde whiskerler yapısı [4,5].

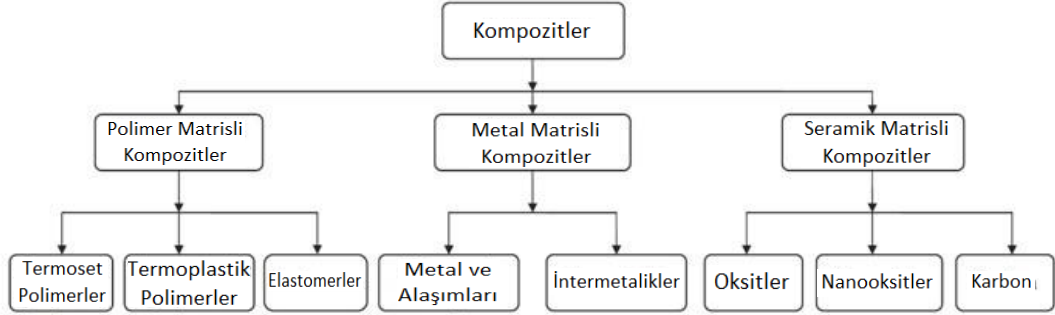
- Partiküller

Partiküllerin büyüklüğü, aralarındaki mesafeler, bulunma oranı gibi etkenlerin araştırmalar sonucu partikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetini etkilediği saptanmıştır.



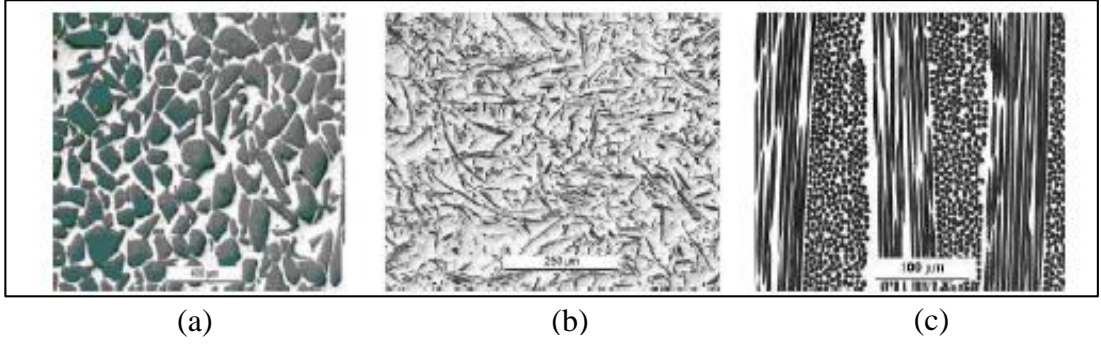
şekil 2.6. Kompozit malzemelerde partiküler yapı [4,5].

Matriks türüne göre kompozit malzemeler; metal matrisli kompozit malzemeler kendisinden beklenen özellikleri karşılayabilmesi için bileşenlerden birinin metal olması şartıyla birkaç tane daha farklı malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir.



şekil 2.7. Matriks türüne göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması.

Bu tip kompozit malzemeler, tek bileşenli alaşımlı malzemelerle elde edilemeyen performanslara ulaşmak amacıyla matris yapısına kısa yapılı fiber, whisker veya partikül takviyeleri eklenerek üretilen malzemelerdir [5,6].



Şekil 2.8. Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK yapıları a) partikül takviyeli, b) kısa fiber takviyeli, c) sürekli fiber takviyeli [4].

Mevcut malzemelerin çalışma sıcaklığının üzerinde bir çalışma sıcaklığına sahip ve aynı zamanda yüksek spesifik mukavemet dayanımlarına sahip olan malzemelere duyulan ihtiyaç sonucu 1960' lı yılların başında MMK malzemeler geliştirilmiştir. Matris malzemesi olarak metal seçilmesinin en temel sebepleri;

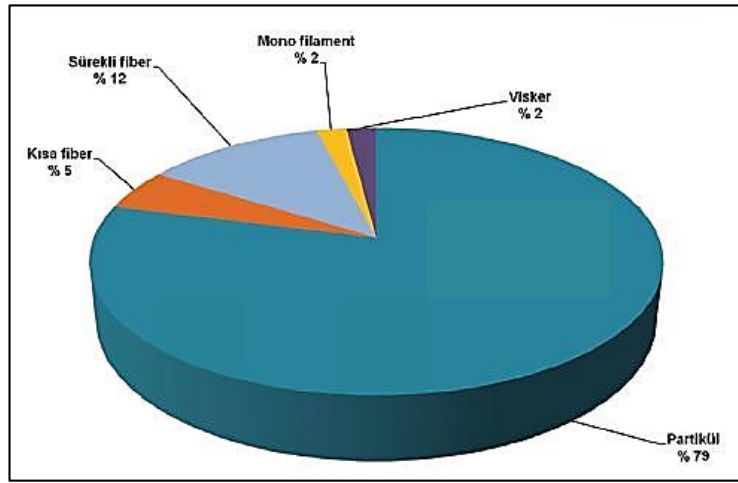
- Yüksek çalışma sıcaklığı
- İyi basma/eğme/çekme mukavemeti
- İyi tokluk
- Yüksek dayanım / yoğunluk
- Yüksek yorulma ömrü
- Yüksek elektriksel ve ısı iletimi
- Genel metal üretim teknikleri ile üretilebilme
- Nemden etkilenmeme
- Yanmazlık

Genel olarak bakıldığında MMK' ların metallere göre en temel üstünlükleri;

- Yüksek aşınma direnci
- Düşük ısıl genleşme katsayısı
- Mukavemet/ yoğunluk oranı (spesifik mukavemet)
- Yüksek yorulma direnci
- Daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri

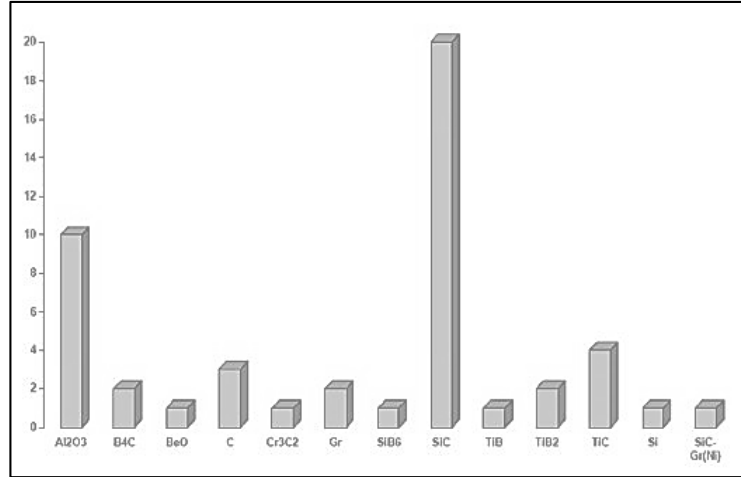
Sektörlerde en yaygın olarak kullanılan partikül şeklinde takviye formudur (Şekil 2.9). Çünkü partikül takviyelerin üretimlerinin ve kullanımlarının uzun fiberlere nazaran daha kolay olması ve elde edilen kompozit yapıda özellikleri yöne bağlı olarak değişim göstermemesi yani izotropik davranış sergilemesidir.

Böylece malzeme diğer takviye türlerinde olduğu gibi mukavemet özelliğini sadece tek yönde değil tüm malzeme yapısında gösterebilmektedir [7].



Şekil 2.9. MKK Üretiminde kullanılan takviye malzemelerin kullanım oranları [7].

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde birçok seramik takviye malzemesinin kullanılabileceğini ifade etmiştik. Al matrisli kompozit malzemeler içi sektörde en çok tercih edilen seramik takviye tipi SiC olarak kendini göstermektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. MKK İçin kullanılan takviye elemanların oranları [7].

Hangi takviye elemanın kullanılacağı belirlenmesi sırasında da matris fazı ile takviye fazı arasındaki ara yüzey uyumuna özellikle dikkat edilmesi gerekir. Çünkü metal matrisli kompozit malzemeye dışarıdan uygulanacak herhangi bir yük etkisi matris malzemesi üzerinden takviye elemanlara aktarılır. Bu sebepten dolayı malzemenin kullanılacağı ortam, kullanılma amacına uygunluk açısından özen gösterilmelidir [8].

Metal matrisli kompozit üretimi 2000'li yılların başında dünyada %5 miktar bakımından, %14 ise ticari açıdan havacılık endüstrisinde kendisine yer bulmuştur. Havacılık endüstrisinde yer alan metal matrisli kompozit malzemeler, roket, uydu, uzay ve helikopter parçaları, elektrik kontakt parçaları, akü, jet motoru fan bıçakları, anten yapıları, reaktörler, yüksek sıcaklık motor parçaları ve yüksek sıcaklık yapılarında uygulama alanları bulmaktadır [8].

Seramik matrisli kompozitler; tanım itibarıyla metal ve inorganik olmayan bileşiklerin oluşturduğu malzemelere seramik adı verilmektedir. Bu malzemeler karakteristik olarak yüksek ergime sıcaklığına sahip oldukça kırılğan bir yapıdadırlar. En bilinen mekanik özelliği ise yüksek basma dayanımına sahip olmalarıdır [6,9].

Kompozit malzemelerdeki takviye elemanlar, matris malzemesinde olmayan veya zayıf olan özellikleri geliştirmek amacıyla ilave edilirler. Böylece daha çok alanda kullanılma imkânı doğar. Seramik matrisli kompozit malzemelerde takviye elemanları

sürekli ve süreksiz fazlar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. Sürekli fiber takviyeleri ile daha fazla tokluk değerleri elde edildiği için en çok tercih edilen takviye türüdür.



Şekil 2.11. Seramik matrisli kompozit malzemeden imal edilmiş fren diski [6].

Yüksek çalışma sıcaklıklarında bulunan ısı değıştiriciler, türbin motorları, otomotiv parçaları; motor yalıtım malzemeleri, egzoz valfleri, zırh ekipmanları ve özellikle yüksek korozyon direncinin ihtiyaç duyulduğu malzemeler seramik matrisli kompozit malzemelerden imal edilebilir.

Polimer matrisli kompozitler; günlük yaşantımızda ucuz ve kullanışlı özelliklerinden dolayı sık tercih edilen malzemelerdir. Polimerler, genelde petrol türevlerinden elde edilmekte olup yapısı içinde C, N, O, H elementleri bulunur. Belirli bir şekilde biçimlendirilen ve kalıplanan bir yapay malzeme grubu olan plastiklerde bu gruba dahildir [6,9].

Günlük hayatımızda plastik malzemelerin yerine muadil bir malzeme kullanarak aynı beklentileri karşılaması oldukça güçtür. Bu nedenle polimer malzemeler endüstride önemli bir değeri sahiptirler. Plastikler basitleştirilmiş montaj yöntemleri, az parça ile uygun tasarıma ulaşabilme, yüzey tamamlama işlemlerinin az olması, hafiflik–taşıma kolaylığı, yalıtım ve maliyet yönünden de başarılı bir malzeme olması onu tercih sebebi haline getirmektedir [6].



Şekil 2.12. Bir yapı uygulamasında güçlendirme amaçlı kullanılmış polimer matrisli kompozit malzemeler [5].

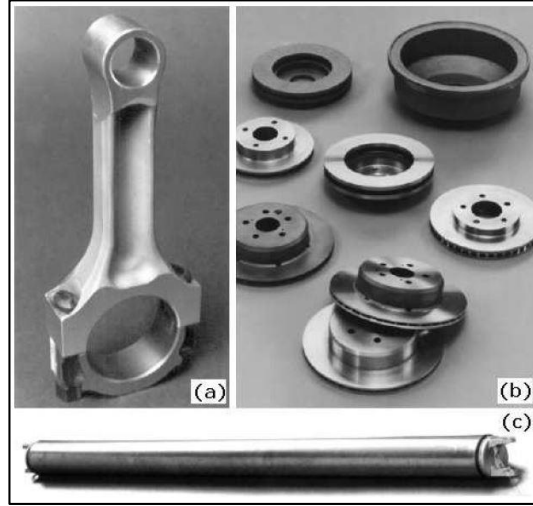
2.3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN UYGULAMA ALANLARI

Günümüzde savunma sanayi, otomotiv, uzay-havacılık sanayii, denizcilik ve ev aletleri gibi birçok alanda kullandığımız kompozit malzemeler geçmişi sanıldığı gibi II. Dünya Savaşına veya bunun birkaç yüzyıl öncesine dayandığı şeklinde değildir. Bilinen en eski kanıtı ise kerpiçtir. Yani insanoğlu çamurun içine sapla samanı karıştırarak dayanıklı evler yapmanın yolunu keşfetmiş ve zamanla bu malzemelerin değeri daha çok anlaşılacak günümüze kadar çok farklı dallara ayrılmış çok farklı kullanım alanlarında uygulanma imkânı bulmuştur. Metal matrisli kompozit malzemelerde oluşan bu dallardan bir tanesi olup oldukça önemli bir konumdadır.

MMK malzemeler, matris alaşımlarından çok daha pahalı olduklarından dolayı yalnızca malzeme özelliklerinin birincil derecede önemli olduğu otomotiv, uzay-havacılık sanayii gibi alanlarda tercih sebebi olmaktadır. 80'li yılların başında değişik sıcaklıklarda boyutsal kararlılığa sahip ve özellikle gelişmiş motor ve uzat araçları gibi yüksek sıcaklık malzemelerine olan gereksinim artması sürekli fiber takviyeli kompozit malzemeler üzerine olan ilgiyi arttırmıştır. Metal matrisli kompozit malzeme

örneğin türbin motoru olarak kullanılacak ise diğer yüksek sıcaklık motor malzemelerine göre özelliklerinin optimal olarak geliştirilmesi için en önemli temel parametre mukavemet/ağırlık oranı veya spesifik mukavemettir.

Metal matrisli kompozit malzemelerle kazanılan yüksek mukavemet, elastisite modülü, aşınma direncinde iyileşme, düşük yoğunluktan dolayı kütlede azalma ve yüksek tokluk gibi mekanik özelliklerin yanı sıra düşük termal şok ve termal genleşme katsayısı, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikler metal matrisli kompozit malzemeleri uzay-havacılık sanayi ve otomotiv endüstrisi için vazgeçilmez hale getirmiştir.

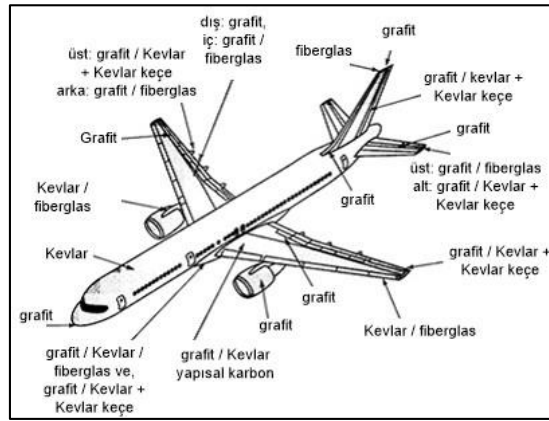


Şekil 2.13. Al Matrisli kompozit malzemenen üretilen motor parçaları piston kolu vs [2].

Otomotiv uygulamaları; otomotiv şirketleri ekonomik yakıt tüketimi, düşük araç emisyonu, yüksek performans, mukavemet, kalite, konfor, rahatlık ve maliyet otomotiv endüstrisi tarafından belirlenmiş hedeflerden bir kaçıdır. Ancak üretilen bu bloklar aşınma direnci konusunda sınıfta kalmış ve akabinde bu eksikliği gidermek için partikül takviyeli Al matrisli kompozit malzemeler geliştirildi. Motor silindir bölgesi aşırı ısınmaya maruz kalmasından dolayı bu bölgenin aşınmaya, yorulmaya, sürünmeye dirençli, termal iletkenliği ve boyutsal kararlılığı yüksek olan Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozit malzemeler kullanılmıştır.

Uzay ve havacılık sektörü; malzeme karakteristiği tamamen maksimum hafiflik maksimum mukavemet üzerine kuruludur. Bu bağlamda kullanılan malzemeler ileri teknoloji ürünü olduğundan dolayı üretimi az maliyeti yüksek olmaktadır. Bu tasarrufla ağırlıktan elde edilecek kazanç doğrudan yakıt tüketimine yansımaktadır.

Havacılık uygulamalarında metal matrisli kompozit malzemelerin kullanılmasının amacı yalnızca alaşımın yoğunluğunu düşürmek değil çoğunlukla elastisite modülü ile ağırlıktan tasarruf sağlamaktır. Örneğin literatür taramalarında yer alan bilgilere göre süreksiz SiC takviyeli Al alaşım kompozit malzemelerin kullanımıyla %10 ağırlıktan tasarrufa karşılık %50 elastisite modülünde artış rapor edilmiştir [8].



Şekil 2.14. Bir yolcu uçağında kompozit malzemelerin kullanıldığı noktalar [2].

Örneğin Uzay mekiklerinin bazı parçalarında kullanılan MMK malzemeler uzay ve havacılık sektöründeki ilk uygulamalardan biridir. Uzay mekiklerinde ana gövdeyi destekleyen kiriş ve iniş takımlarında boru formuyla kullanılan B-Al metal matrisli kompozitler vardır. MMK malzeme tercihi ile bu destekleyici kirişlerden yaklaşık %44'lük bir oranda ağırlık kazancı olmuştur [1].



Şekil 2.15. Al metal matrisli kompozit malzemedan üretilen silindir gömleği.

Ayrıca düşük yoğunluk ve ısıl genleşme katsayısı, yüksek ısı iletimi ve yüksek elastite modülü metal matrisli kompozit malzemelerin elektrik ve elektronik uygulamalarında kullanılmasını sağlayan parametrelerdir. Kompozit malzemelerin termal genleşme katsayıları yapısına ilave edilen takviye eleman tipine göre değişir. Yapılan araştırmalar neticesinde metal matrisli kompozit malzemelerde termal genleşme katsayıları takviye partikül hacimlerinin artmasıyla azalmaktadır [8].

2.4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM METODLARI

Metal matrisli kompozit malzemeler geleneksel üretim yöntemleriyle üretilemediğinden dolayı malzeme özelliklerini ve yapısını optimize etmek için çeşitli üretim teknikleri mevcuttur. MMK malzemeler gelecek vadeden termal ve mekaniksel özellikte olmalarına karşın kullanım alanları çok özel uygulamalar ile sınırlı. Bu durumun en önemli engellerinden biri spesifik üretim yöntemleriyle elde edilen son ürünün ekonomik olmayışından kaynaklıdır. Dolayısıyla takviye elemanı, matris malzemesi ve kompozit üretimini kolaylaştırmak için yapılan tüm çalışmalar kullanım alanlarının artırılması için çok önemlidir.

MMM'lerin gelişmekte olan mekaniksel özelliklerini ve mikro yapılarını stabilize etmek amacıyla yapılan tüm araştırmaların sonucunda bu üretim yöntemleri değişmekte ve gelişmektedir. Malzemenin üretimi esnasındaki sıcaklığına göre üretim yöntemlerinin sınıflandırması yapılmakta olup beş başlık şeklinde listelenebilir [4,10].

- Sıvı-Faz Metodu
- Katı-Faz Metodu
- Çift-faz (sıvı/katı) Metodu
- Biriktirme Metodu
- In-situ Metodu

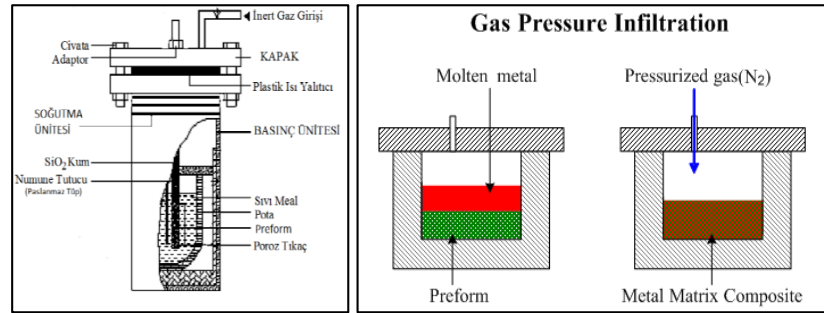
Bu metodlar içerisinde sıvı-faz metodunun metal matrisli kompozit malzeme üretiminde diğer katı faz metodundan daha ekonomik ve teknik olarak avantajlı olduğu saptanmıştır. Sıvı faz üretim yöntemleri, üretimin sıvı fazda gerçekleştiği üretim

metotlardır. Bu üretim yönteminde farklı ve mümkün teknikler kullanılarak matrisin içine seramik partiküller ilave edilmektedir. Sıvı faz üretim yönteminde sıvı metallerle ilişkili olarak fiber veya partikülle takviye edilmiş kompozitleri üretmenin temel zorluğu, metal ve takviye fazı arasındaki zayıf ıslatma ve bağlanmadır. Dolayısıyla kullanılacak olan matris malzemesine göre en uygun seramik takviye malzemesi seçilmesi gerekmektedir. Metal matrisi ile takviye malzemesinin ıslatma açısını hesaplamak için “hareketli damlacık” deney metodu kullanılır. Sabit sıcaklık ve kontrollü atmosfer altında seramik takviye altlık yüzeyinde oluşturulan metal damlacığının yüzey gerilimi, damlacığının şeklinden hesaplanmakta ve ara yüzey gerilimi, sıvının yüzey gerilimini aştığı zaman metal ve sıvı arasında ıslatma meydana gelmektedir. Herhangi bir sıvı faz, sistemin yüzey enerjisi tarafından izin verilen bir dereceye kadar katı fazı ıslatmaktadır [4,10].

Çeşitli takviye türleri ile üretilmiş gözenekli kompakt yapı içerisine ergiyik metalin infiltre edilmesine genel anlamıyla infiltrasyon adı verilir. Bu yöntemde en etkili olan faktörler takviye malzemesini bileşimi, sıcaklığı, mikro yapısı ve dışarıdan uygulanan kuvvet değeridir. Tercih edilen infiltrasyon yöntemine göre üretilen malzemelerde kullanılan takviye bileşenlerinin hacim oranları %10-70 aralığında değişir. Bu metodla elde edilen bazı malzemelerde gözeneklilik ve takviye bileşenlerinin heterojen dağılımı gibi istenmeyen durumlar gelişebilmektedir [10].

Basınçsız infiltrasyon metodunda ergiyik durumdaki metal hiçbir dış kuvvet uygulanmadan infiltre edilir. Bu işlemler sırasında maliyetli ekipmanlara ihtiyaç duyulmaması ve hacim oranının kolayca ayarlanabiliyor olması önemli avantajlardandır. Ancak bu yöntem uygulanırken N ya da Ar vb. özel atmosferik koşullar oluşturulmalıdır [10]. Basıncılı infiltrasyon metodunda ise ergiyik metal ile takviye bileşeni (önceden şekillendirilmiş fiber) arasında oluşan ıslatma sorununu önlemek için dışarıdan bir kuvvet uygulanır. Dışarıdan uygulanan basınçla ilk amaçlanan kılcal (kapiler kuvvet) kuvvetleri devre dışı bırakmak olmasına karşın, yüksek basınç, artan üretim hızı, kimyasal reaksiyonların kontrol edilmesi, matris mikro yapısının düzenlenmesi ve katılaşma sırasında oluşan büzülmenin beslenmesi esnasında ürünün daha sağlam oluşu gibi pozitif etkiler oluşturmaktadır.

Basıncılı infiltrasyon yönteminde hidrolik pres yardımıyla 10-110 MPa kuvvet ergimiş metala uygulanarak daha önceden kuru veya yaş yöntemle hazırlanmış gözenekli fiber preform içerisine sıkıştırılmış inert gaz yardımıyla infiltre edilmesi sağlanır. Burada sıvı metale infiltre olması için uygulanan kuvvet inert gaz ile sağlanır. Poroz ortam içine sıvının kendiliğinden infiltrasyonu sıvının katıyı ıslatabildiği durumlarda gerçekleşir. Aksi durumlarda dış basınç uygulanması gerekir. Sabit basınç altında yapılan infiltrasyon deneylerinde basınç seçilen değere kadar yavaş yavaş yükseltilmekte olup belirli zaman periyodunda yani infiltrasyon süresince sabit tutularak bitiminde aniden atmosferik basınca düşürülmelidir.



Şekil 2.16. Basıncılı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi [7].

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde çok basit yöntemlerden çok karmaşık yöntemlere kadar birçok üretim yöntemi olmasına rağmen basıncılı infiltrasyon yöntemi en çok tercih edilen yöntemdir. Bu yöntem sayesinde en yüksek hacim oranında seramik takviyeli metal matrisli kompozit malzeme üretmek mümkündür.

Basıncılı infiltrasyon prosesini etkileyen etmenler;

- Partikül (Ortalama Çapı, Boyut Dağılımı, Şekli ve Hacim Oranı)
- Sıvı Metal (Bileşimi, Yüzey Gerilimi, Viskozitesi)
- Sıvı/katı Ara yüzeyi (Temas Açısı, Ara yüzey Reaksiyonları vb.)
- Deneysel Koşullar (uygulanan basınç ve sabit basınç altında kalan süre ve infiltrasyonun gerçekleştiği süre)

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Düşük yoğunluk, düşük üretim sıcaklığı, düşük elektrik direnci, yüksek elastisite modülü, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek aşınma direnci ve mekanik özelliklerine sahip olmalarından dolayı metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler havacılık ve otomotiv sektöründeki uygulamalarında matris malzemesinde alüminyum kullanılarak tercih edilmektedirler [11-13]. Bu tercih, metal matrisli kompozit malzemeleri klasik alaşımlara karşı iyi bir alternatif kılmaktadır [14]. Çünkü klasik alaşımlardan farklı olarak bu tip kompozitler yapısında matris fazının sünek ve tok özelliklerini takviye elemanlarının sert ve mukavemetli yanlarının kombinasyonu bulunur. MMK malzemelerde takviye elemanı olarak seramik partikül takviyesi ile malzemenin aşınma direncinin ve mekaniksel dayanımlarının iyileştiği saptanmıştır [13]. Bu malzemeler çok çeşitli üretim yöntemi ile üretilmekte olup bileşimdeki matris elemanına, takviye elemanının şekil, boyut ve oranına göre en uygun üretim yöntemi seçilmektedir. Bu üretim yöntemlerinden sıkıştırılmalı döküm, santrifüj döküm, basınçlı basınçsız infiltrasyon vb. yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Üretimi gerçekleştirilecek kompozit malzemedeki takviye elemanı matris malzemesine partikül formunda ilave edileceği için en uygun üretim yolunun basınçlı infiltrasyon olduğu üzerinde durulmaktadır. Bu yöntem; ergimiş metale uygulanan 10-110 MPa kuvvet ile ergiyik daha önceden kuru veya yaş yöntemle hazırlanmış gözenekli bir fiber preform içerisine inert bir gaz (sıkıştırılmış) yardımıyla infiltrasyonu sağlanmaktadır.

Bu çalışmada çok basit yöntemlerden çok karmaşık yöntemlere kadar birçok üretim yöntemi olmasına rağmen basınçlı infiltrasyon yöntemi ve matris malzemesi olarak sektörde en yaygın kullanılan metalik malzeme olan AA6061 ve AA2024 alüminyum alaşımları tercih edilmiştir. Böylece hem üretim yönteminde hem de matris malzemesi seçiminde yüksek mukavemet/ağırlık oranının korunmasına dikkat edilmiştir [15].

3.1. MEKANİK ÖZELLİKLER

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tayin eden pek çok araştırma yapılmıştır. Yapılan bu incelemelerde kullanılan ana parametreler takviyelerin matris ile uyumu, matris ve takviyelerin türü, miktarı ve üretim yöntemleri gibi etmenlerdir [15]. Yapılan çalışmalara bakılacak olursa MMK üretiminde en yaygın kullanılan matris fazlarının Al, Fe, Ni, Ti olmakla birlikte daha düşük oranlarda kullanılan Ag, Be, Cu elementleri ve bunların alaşımları ile sıralama devam etmektedir. Ayrıca kompozit malzemelerde tercih edilen matris malzemeleri düşük yoğunluk, yüksek tokluk ve iyi mekanik özelliklere sahip olan hafif metal ve alaşımları olduğu bilinmektedir [16]. MMK üretiminde Al ve alaşımları en yaygın olarak kullanılan matris malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi olarak Al kolay işlenebilme özelliğine sahip, hafif, yüksek korozyon direnci ve takviye edilebilme gibi üstün özellikler içermektedir [16]. Kompozitlerin üretimi için takviye elemanı olarak fiber, visker veya partikül gibi farklı şekillere sahip malzemelerin kullanılması mümkün olup endüstriyel uygulamalar ve bu çalışma için en uygun takviye şekli partikül formudur. Bu tercihin sebebi ise partikül takviyelerin uzun fiberlere göre hem üretim hem de kullanım olarak daha avantajlı ve ekonomik olmasının yanı sıra malzemenin mekanik özelliklerini yönden bağımsız hale getirmesidir [16]. Kompozit malzemede takviye elamanının yapı içerisinde homojen olarak dağılım göstermesi ile malzeme takviye yapılmamış malzemeye göre %60'a kadar daha yüksek akma ve çekme mukavemeti sergilediği bilinmektedir [17].

Mindivan. H.'nin doktora tezinde yaptığı çalışmalarda [18]; MMK malzemelerin mukavemet, elastisite modülü, aşınma ve sürünme gibi mekaniksel yanlarının üstün, termal genişleme ve yoğunluk katsayısı gibi değerlerinin de düşük olması istenir. Metalik bir alaşım içerisine ilave edilen seramik takviye partiküllerinin kompozitin elastisite modülünü arttırdığı, sünekliğin ve % kopma uzama değerlerinin azaldığı, akma mukavemetinde ise %0,2 artış gerçekleştiği saptanmıştır.

3.2. TRİBOLOJİK ÖZELLİKLER

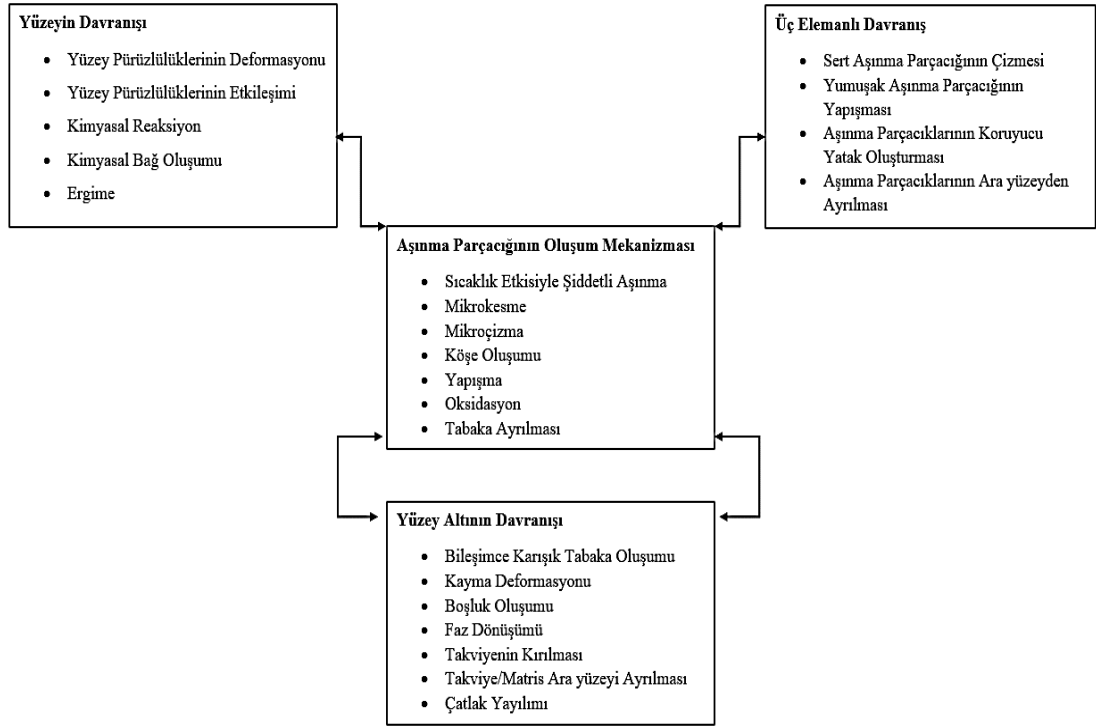
Araştırma enstitüleri ve birçok sanayi kuruluşlarının bünyesinde bulunan AR-GE laboratuvarları triboloji alanında çalışmalar gerçekleştirmektedirler. Temas, malzeme ve mekanik parametrelere bağlı olarak karşılıklı yüzey etkileşimleri sonucu aşınma ve sürtünme meydana gelmekte olup malzeme ve enerji kaybına neden olmaktadır.

Aşınma birbirine göre temas ederek sürtünme halindeki cisimlerin yüzeylerinde sürtünme etkisiyle oluşan ve arzu edilmeyen malzeme kaybıdır. Bu sürecin bir sonucu olarak makine bileşenleri zamanla aşınır ve işlevlerini düzgün bir şekilde yerine getiremez hale gelmektedir [19]. Aşınma malzeme yüzeyinden mekanik etkenler sonucunda küçük parçacıkların ayrılması neticesinde istenmeyen şekilde oluşan değişiklik olarak tanımlanır. Aşınma izi pullanma, çukurlanma, parlama, çizilme, oyulma, kazılma ve kemirilme formunda olabilir. Aşınmanın gerçekleştiği ortamı yağlı ve yağsız aşınma, yuvarlanma aşınması, metal-metal kayma aşınması ve yüksek sıcaklık metalik aşınması ve yüksek gerilmeli kayma aşınması şeklinde sınıflandırmak mümkündür [20].

Mekanik, malzeme ve temas etkileşimleri ile ilişkili olarak, aşınma ve sürtünme prosesi ile karşılıklı yüzey temasları, malzeme ve enerji kaybına yol açmaktadır. Aşınma genel olarak genel anlamda hareketli kabul edilen yüzeylerden mekaniksel veya kimyasal yollar ile meydana gelen ve istenmeyen malzeme kaybı (adhezif) ya da bir kuvvet etkisi altında katı yüzey üzerinde hareketli sert bir cisim aracılığıyla o bölgedeki malzemenin yer değiştirmesi (abrasif) olarak ifade edilmiştir [21].

Sert Si partikülleri içeren veya seramik ile takviye edilmiş metal matrisli kompozit malzemelerin uygulamada aşınmaya karşı yüksek dirence sahip olduğu bilinmektedir. Örneğin pervanelerin dönmesi ile abrasif parçacıkların taşındığı endüstriyel uygulamalarda metal matrisli kompozit malzemeler, demir veya nikel esaslı alaşımlardan üretilen parçalara nazaran daha uzun servis ömrü ve yüksek aşınma direnci sergilemiştir [22].

Çizelge 3.1. Aşınma mekanizmasını belirleyen bileşenler [21].



Al metal matrisli kompozitler, genellikle Al alaşımları ile karşılaştırıldıklarında özellikle aşınma performansı açısından iyileşme gösterdikleri bilinmekle birlikte bazı aşınma durumlarında da takviye elemanı ilavesinin aşınma direncini Al alaşımlarına yakın veya daha aşağısında kalmasına neden olduğu da görülmüştür. Sonuç olarak bu konuda net değerlendirme yapabilmek için aşınma parametrelerinin anlaşılması ve analizlerinin özenle gerçekleştirilmesi gerekir.

Topçu ve arkadaşları [23] toz metalürjisi karıştırma yöntemiyle alüminyum matris içerisine ilave edilen bor karbürlerin (B_4C) farklı sinterleme sıcaklıkları altında sergileyeceği mikroyapı, yoğunluk ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Gerçekleştirdikleri test sonuçlarına bağlı olarak ise sisteme ilave edilen B_4C oranlarının değişime bağlı olarak aşınma tiplerinin değişiklik gösterdiği ve aşınma dirençlerinin arttığını saptamışlardır. Genel olarak aşınma direncinin doğrudan sisteme ağırlıkça takviye edilen % B_4C oranı ile ilişkili olduğu ve özellikle %15 B_4C içeriğinde iyileşmelerin optimum düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Ahlatıcı ve arkadaşları [24] saf alüminyum matris fazı içerisinde %1, %2, %4, %8 oranlarında Si ilavesi yapmışlar ve hazırlanan bu sistemlere %60 oranında SiC takviyesi gerçekleştirmişlerdir. Yapı içerisinde ilave edilen %1 oranında Si ilavesinde aşınma dayanımlarında artış kaydedilirken bu orandan sonra düşüş olduğu saptanmıştır.

3.2.1. Adhezif Aşınma (Adhezyon Aşınması)

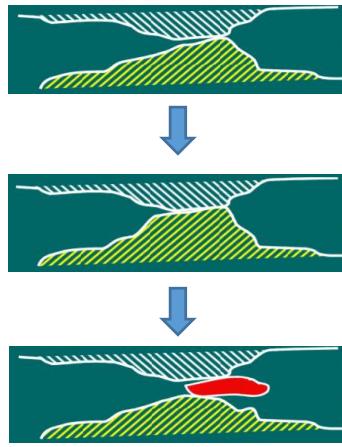
Adhezyon aşınması veya adhezif aşınma, yapışma, ovalanma ve kavrama olarak da bilinen, birbirine temas eden cisimlerin temas yüzeylerinin, bir normal kuvvet etkisi altında izafi hareket yapmaları sırasında görülebilen bir aşınma türüdür [25].



Şekil 3.1. Adhezyon ve abrazyon aşınmasına örnek olarak görüntüdeki kam mili üzerindeki izler [25].

Birbirleriyle temas ortamı içinde olan iki cismin reel temas yüzeyleri yüzey pürüzlülüğü sebebiyle gerçekte çok çok küçük olduğundan, gerçek temas yüzeyine normal kuvvet sebebiyle uygulanan basınç oldukça büyük değerler alır. Bu noktadaki gerilmeler çok minimal yük durumlarında dahi akma gerilmesi sınırına ulaşır ve akarak plastik deformasyona maruz kalırlar. Plastik deformasyona maruz kalan bu yüzeyler üzerinden cisimler, birbirine mikro kaynaklar ile bağlanırlar. Bu esnada iki cisim arasında devam eden izafi bağ kopar. Bu kopma neticesinde diğer cisme göre yumuşak olan malzemedeki üretilmiş olan cismin yüzeyinde boşluklar, diğer yüzeyde ise çıkıntılar meydana gelir ve iki yüzey arasından adhezif parçacıklar dökülür.

Adhezyon aşınması, benzer karakteristiklerdeki malzemeler arasında meydana gelmekte ve tüm temas noktalarında meydana gelmemekte, sadece bir kısmında ortaya çıkmaktadır. Adhezyon aşınması yüzey pürüzlülüğünü bozduğu ve adhezif parçacıkların oluşmasına sebep olduğu için abrazyon aşınmasına da zemin hazırlar ve adhezyon aşınması ile abrazyon aşınması aynı anda görülmez. İki yüzey arasında çevre etkisiyle sert partiküller girdiğinde veya adhezif parçacıklar oluştuğunda yani abrazyon aşınması için gerekli şartlar sağlandığında adhezyon aşınması olmaz [25].

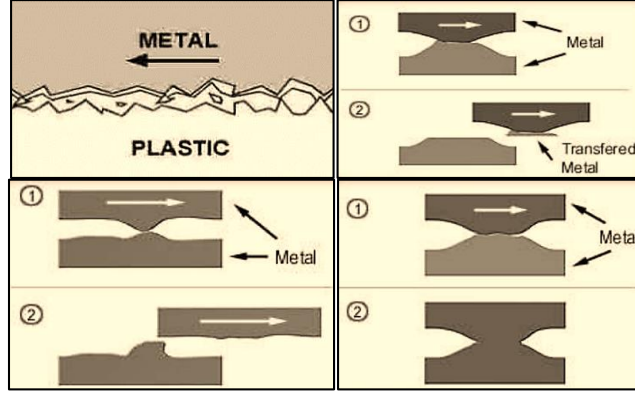


Şekil 3.2. Adhezif aşınma mekanizması [12].

Aşınma hızı yüzeylerin hareket hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Çoğunlukla yüksek kayma hızlarında ve büyük yüklerde görülen bir aşınma formudur. Cisimlerin çevresindeki gazlarında aşınma hızına olan etkileri oldukça yüksektir. Örneğin CO₂ 'li ve N 'lu ortamda aşınma hızı havaya göre oldukça düşük seyretmektedir.

Adhezyon aşınmasının engellenmesi açısından yağlamanın önemi büyüktür. Doğru bir yağlayıcı tercihi ve iyi bir yağlama yöntemi ile yarı sıvı sürtünme bölgesinde dahi adhezyon aşınması engellenebilir. Örneğin yüksek hız ve basınç altında çalışan yüzeylerin arasına katkılı bir yağlayıcı konulmasıyla adhezif aşınmanın önüne geçmek mümkündür. Diğer bir yöntem olarak da makine elemanlarının yüzeylerinin sertleştirilmesi aşınmayı oldukça yavaşlatır. Çünkü birbiriyle temas içinde olan makine parçalarının birinin diğerine göre daha sert olması adhezyon aşınmasının yumuşak parçada oluşmasını sağlar böylece yumuşak malzemenin sert malzeme

üzerinde birikimiyle sert malzemenin adhezif aşınmasından korunması sağlanır. Ayrıca malzemenin yüzey pürüzlüğü de önemli bir etkidir.



Şekil 3.3. Adhezif aşınma örneği / yapışma aşınması [21].

3.2.2. Abrasif Aşınma (Abrazyon Aşınması)

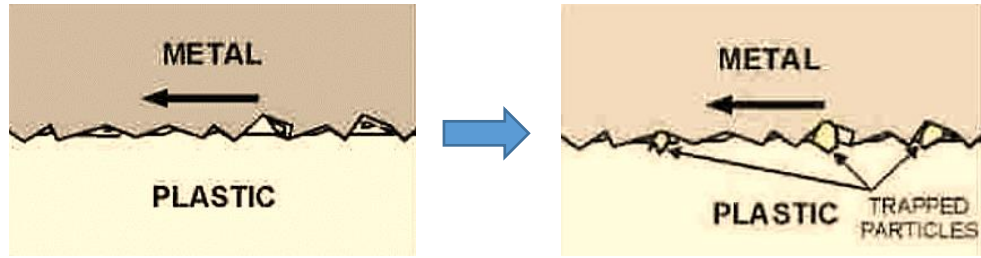
Abrasif aşınma veya abrazyon aşınması; birbirine göre izafi hareketlere maruz kalan iki yüzey arasına ortamdaki gelen yabancı sert parçacıkların girmesiyle oluşan, aşındırdığı yüzeyde çizikler ve kesikler şeklinde hasara sebep olan ve bundan dolayı da çizilme aşınması olarak da bilinen aşınma türüdür.

Kırıcılar, kazıcılar vb. iş makinelerinin bıçaklarında ve çalışma ağızları gibi makine parçalarında bu tür aşınma çok sık görülür. Faydalı kullanımı açısından da abrasif aşınma taşlama işleminde kullanılır [22].

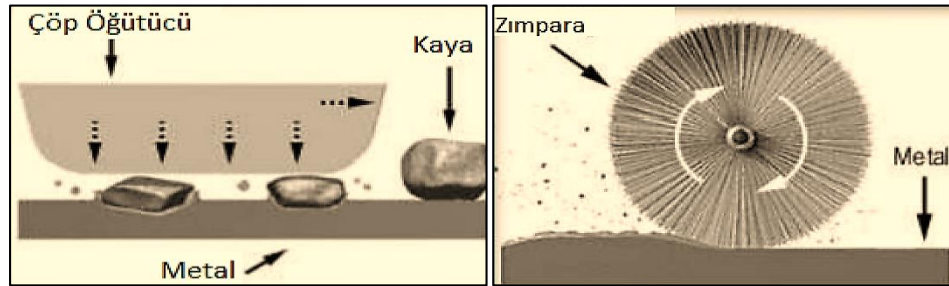


Şekil 3.4. Bir makine milleri üzerindeki abrasif aşınma çizgileri [20,22].

Endüstriyel uygulamalardaki aşınma problemlerinin çoğu yani >%50' den fazlası abrasif aşınma kaynaklıdır. Bu aşınma maruz kaldığı parçalar üzerinde hızlı meydana gelir. Yabancı katı parçacıklar, yüzey sertliği diğerine göre nispeten daha düşük olan yüzeye gömülürler. Bu aşamada aşınma mekanizması olarak; bu katı parçacıklar malzemeyi eğelercesine yüzeyden parça kaldırırlar ve ilerleyen süreçte derin oyuklar açarlar. Buradan çıkan parçalarında makine sistemine dahil olmasıyla bu elemanlar kullanılmaz hale gelir [22].



Şekil 3.5. Abrasif aşınma mekanizmasına örnek [20].



Şekil 3.6. Abrasif aşınmaya maruz kalan kırıcı ve aşındırıcılar [20].

Bu tip bir aşınmaya alınabilecek önlem olarak; söz konusu parçaların yüzeyi kaynakla kaplanarak olası bir aşınmanın malzeme yüzeyinde değil kaplama yüzeyinde olması sağlanabilir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların tamamı Karabük Üniversitesi bünyesinde bulunan Demir Çelik Enstitüsünde bulunan Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi basınçlı infiltrasyon metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matris malzemesi olarak AA2024 ve AA6061 kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ise 37 µm tane boyutuna sahip SiC tercih edilmiştir. Üretilen kompozitler için karakterizasyon ve tribolojik testler aşağıdaki sıralama ile gerçekleştirilmiştir.

- Metalografik Analiz ve Makro/Mikro Görüntü Alma
- XRD Analizi
- Brinell Sertlik Analizi
- Aşınma Testi
- Aşınma Yüzeylerinin Görüntüsünün Alınması (Shuutle Pix)
- SEM Analizi

4.1. METALOGRAFİK ANALİZ VE MAKRO/MİKRO GÖRÜNTÜ ALMA

Metalografi çalışmaları 7 ve 8 bar değerlerinde basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen Al-2024 ve A6061 numuneleri üzerinde yapılmıştır. Bahsedilen numuneler Struers Tegramin-30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı EN standartlarına uygun olarak zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır (Şekil 4.1). Tüm bu

aşamalardan sonra her bir numuneden Nikon MA200 optik mikroskop cihaz ile 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x ölçeklerinde mikro görüntüler alınmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Struers tegramin-30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.



Şekil 4.2. Nikon MA200 optik metal mikroskop cihazı.

4.2. XRD ANALİZİ

Rigaku Ultima IV marka X ışınları difraksiyonu cihazı kullanılarak, 40 kv jeneratör gerilimi, 30 mA akımda 20°-90° açı aralığında ve 0,02 adım tarama boyutlu 2 derece/dk. hızda XRD desenleri elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Kompozitlerin XRD analizlerinin yapıldığı X-Işını difraktometresi XRD deney cihazı.

4.3. BRİNELL SERTLİK ANALİZİ

Sertlik ölçümü QNESS cihazı ile 187,5 kgf yük altında 10 saniye bekleme süresinde 10 mm çelik bilya batıcı uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.3.). Bu tez çalışması kapsamında da farklı basınç değerlerin de basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen numuneler üzerinden sertlik ölçümü yapıp gerekli kıyaslamalar oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. QNESS Q20M makro sertlik ölçüm cihazı.

4.4. AŞINMA TESTİ

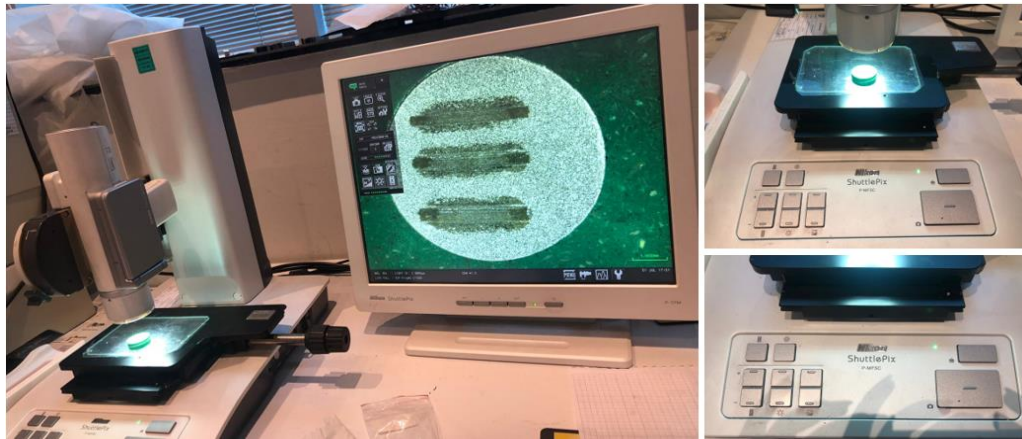
Aşınma testleri UTS Tribometer T10 test cihazı (Şekil 4.4) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu test kuru ve yağ olmak üzere iki farklı ortamda yapılmıştır. Yağ ortam olarak %3,5 tuzlu su ve motor yağı ortamları hazırlanmıştır. Tüm testlerde aşındırıcı uç olarak 6 mm çapında 52100 kalite çelik bilye kullanılmıştır. Toplam kayma mesafesi 50 m, stroke mesafesi ise 5 mm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.4. UTS Tribometer T10 aşınma test cihazı.

4.5. AŞINMA TESTİ SONRASI MİKROYAPI İNCELEMESİ (SHUTTLE PIX)

Özellikle uygulama alanı bakımından aşınma yüzeylerinin fotoğrafını çekmek için tasarlanan Shuttle Pix cihazı (Şekil 4.5) ile numunelerin aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeylerinden görüntü alır.



Şekil 4.5. Shuttle pix.

4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ

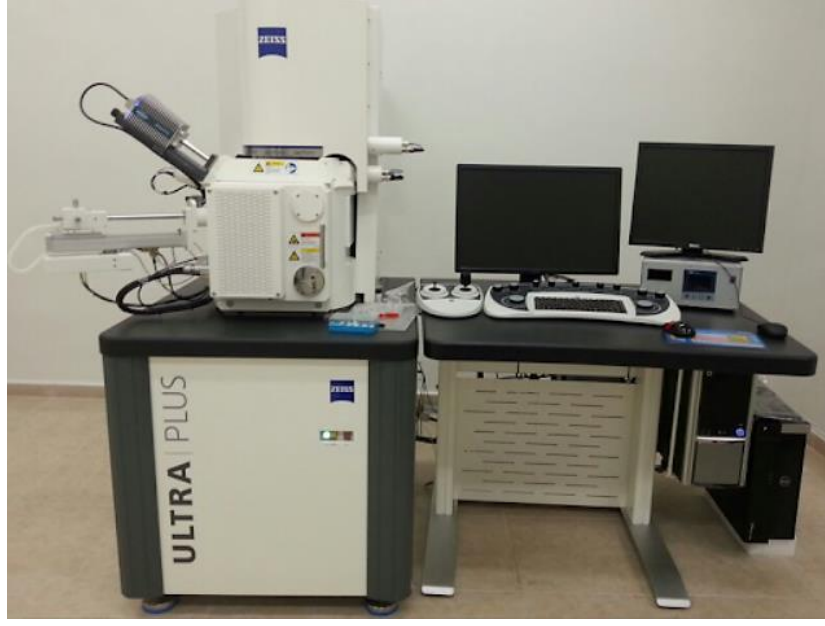
Aşınma deneylerinin ardından aşınmış olan her bir yüzey için Şekil 4.6'de verilen Portable Surface Roughness Tester (Sj- 410 series) marka yüzey profilometresi cihazı ile 2D yüzey alanı ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümden elde edilen yüzey alanı değerleri stroke mesafesi ile çarpılarak malzemenin aşınmış olan miktarı hacimsel olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Portable surface roughness tester (Sj- 410 series) / profilometre.

4.7. SEM ANALİZİ

Üretilen kompozitlerde partiküllerin matris içerisindeki dağılımlarını görebilmek ve ara yüzey etkileşimlerini incelemek amacıyla Şekil 4.7'te görülen taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı ile mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Ayrıca bu cihaz ile aşınma testleri sonrası her bir numunenin aşınma yüzeyleri incelenmiştir. Böylece aşınma mekanizmaları tespit edilmiş ve aşınma hızı gibi grafiksel verilerle desteklenerek aşınma izleri yorumlanmıştır.



Şekil 4.7. Carl zeiss ultra plus gemini fesem.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUCU

5.1 MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

Bu çalışmada kullanılan takviye ve matrislerin hacimsel oranları ile üretim parametresi olan basınç miktarları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre AA2024 matrisine 7 bar basınçta yapılan takviyelerin porozite oranları 8 bar basınçta üretilenlere kıyasla %1,28 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum AA6061 matrisine bakıldığında ise 7 bar basınçtaki üretimlerde 8 bar basınçtaki üretimlere kıyasla %1,88 daha fazla porozitenin meydana geldiği gözlenmiştir.

Önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalara bakıldığında [12], düşük basınçtaki yapılan üretimlerde daha yüksek porozite çıkması, sıvı metalin partikül aralarında daha zor hareket etmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yüksek basınçta ise sıvı metal partiküller arasında daha kolay hareket etmekte ve bu yüzden partikülleri daha fazla sararak poroziteyi azaltmakta olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada da benzer bir durum söz konusu olduğu için elde edilen sonuçların da literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1. 7 ve 8 bar ile üretilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerin takviye ve matris hacim oranları.

Matris	Basınç Miktarı	Hacim Oranı %		
		SiC	Matris	Porozite
AA2024	7	50	47,52	2,48
AA2024	8	50	48,8	1,20

Çizelge 5.2. 7 ve 8 bar ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerin takviye ve matris hacim oranları.

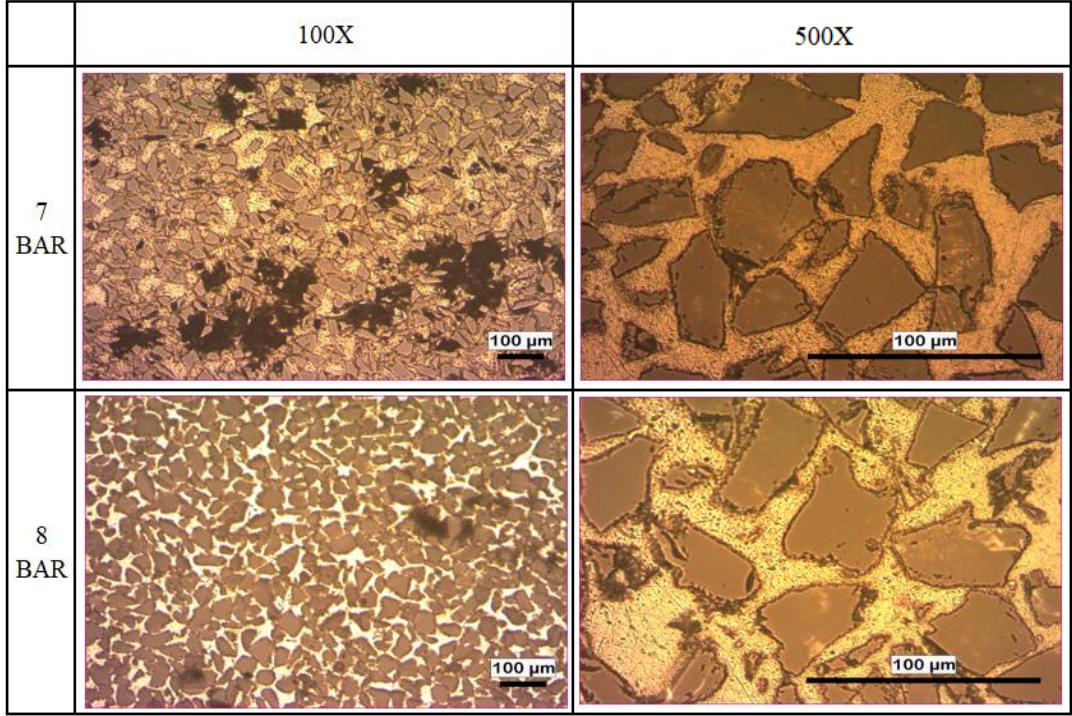
Matris	Basınç Miktarı	Hacim Oranı %		
		SiC	Matris	Porozite
AA6061	7	50	47,52	2,56
AA6061	8	50	49,32	0,68

Çizelge 5.1’de AA2024 malzemenin matris, takviye ve porozite hacim oranları verilmiştir. Görüldüğü üzere 7 bar basınç ile üretilen kompozit malzemede %2,48 olan porozite değeri 8 bar basınç ile üretilen kompozit malzemede ise %1,20’e düşmüştür. Çizelge 5.2’de AA6061 malzemenin matris, takviye ve porozite hacim oranları verilmiştir. Görüldüğü üzere 7 bar basınç ile üretilen kompozit malzemede %2,56 olan porozite değeri 8 bar basınç ile üretilen kompozit malzemede ise %0,68’e düşmüştür.

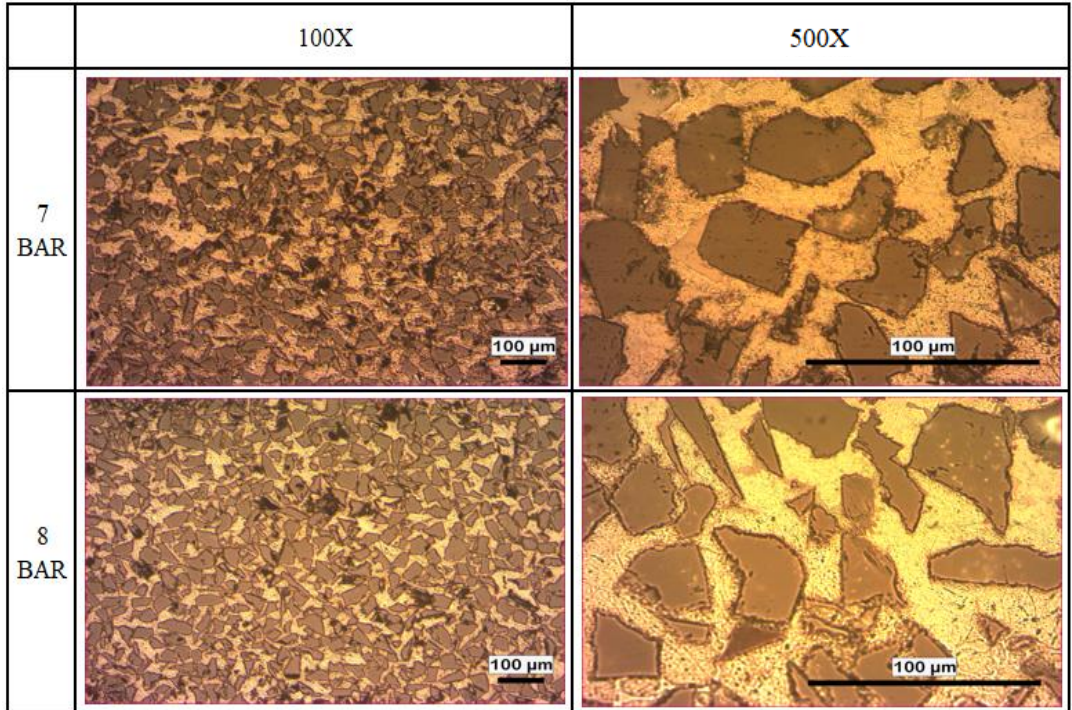
Üretilen metal matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’ de verilmiştir. Bu görüntülerden yola çıkarak partiküllerin matris içerisinde genel olarak homojen bir şekilde dağılmış olduğu gözlenmektedir. Öte yandan bazı numunelerde matris ile partikül çevrelerinde porozite olarak adlandırılan boşluklar gözlenmektedir. Bu tür porozitelerin her iki matris içinde 7 bar ile yapılan üretimlerinde oldukça fazla olduğu gözlenmektedir.

Özsarı, R. [15] yüksek lisans tezinde; 7 bar basınç altında üretilen AA2024-SiC kompozit malzeme de porozitelerin genellikle takviye elamanı etrafında oldukça fazla şekilde olduğunu, 8 bar ile üretilenlerde ise az miktarda ve küçük boyutlarda olduğunu aktarmıştır. AA6061-SiC kompozit içinde aynı şekilde 8 bar ile üretilenlerdeki porozite oranının 7 bar ile üretilene göre daha az ve küçük boyutlarda olduğunu da belirtmiştir.

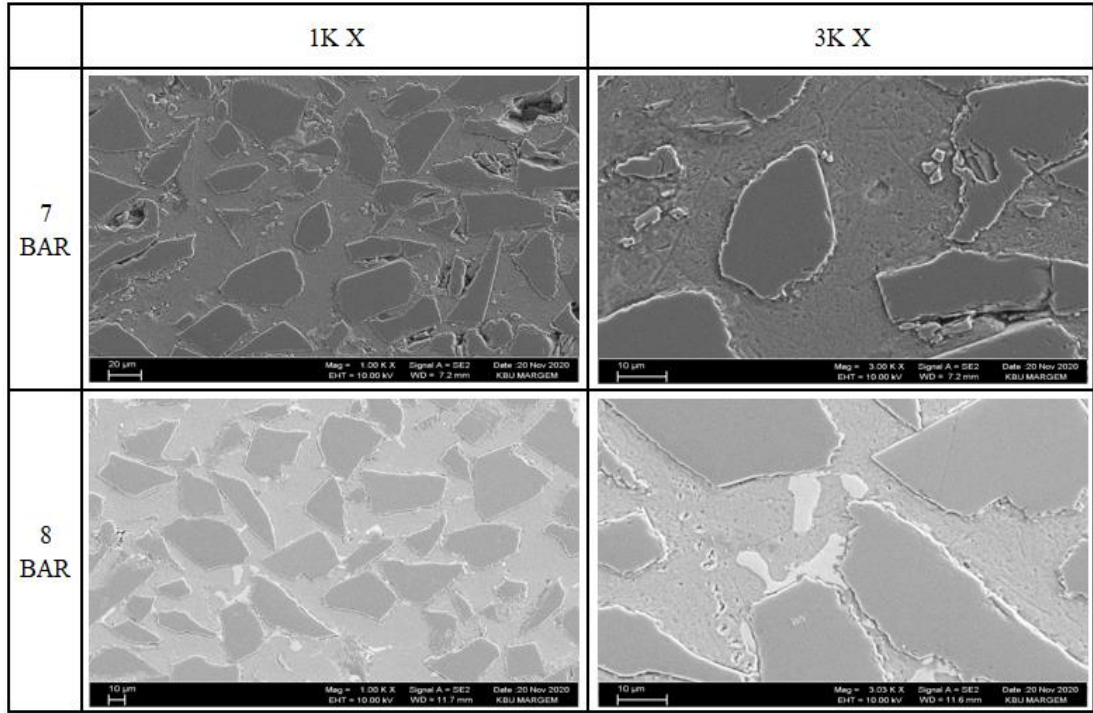
8 bar basınçta yapılan üretimlerde AA6061’in daha az porozite içermesi muhtemelen akıcılığın AA2024’ten daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir. AA6061 matrisi hem silisyum hem magnezyum içerirken, AA2024 matrisi ise Cu içermektedir. Literatürde ise Mg ve Si alaşım elementlerinin daha çok akıcılık sağladığı ifade edildiği belirtilmiştir ki bu da bizim çalışmamızı doğrular niteliktedir.



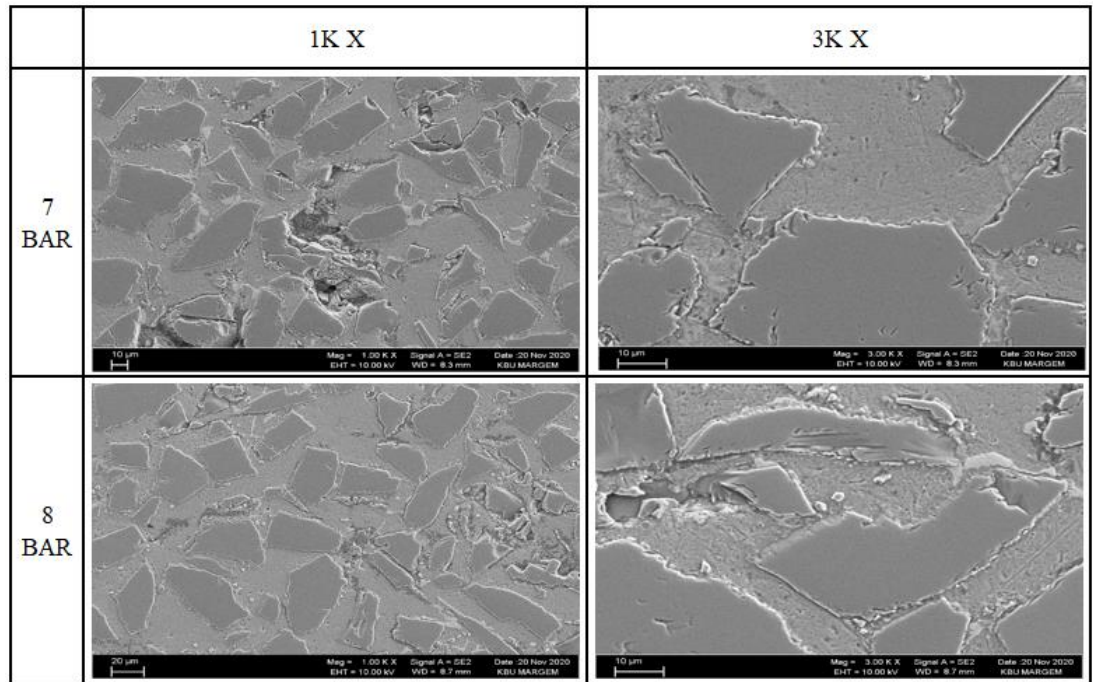
Şekil 5.1. AA2024-SiC kompozitin üretim basıncına göre mikro yapı görüntüleri.



Şekil 5.2. AA6061-SiC kompozitin üretim basıncına göre mikro yapı görüntüleri.



Şekil 5.3. a) 7 ve 8 bar basınçta üretilen AA2024-SiC kompozitlerin SEM görüntüleri.



Şekil 5.4. a) 7 ve 8 bar basınçta üretilen AA6061-SiC kompozitlerin SEM görüntüleri.

Şekil 5.3' de 7-8 bar basınç altında üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri görülmektedir. AA2024 malzemeye takviye edilen SiC takviye malzemeleri ile matris

malzemesi arasında intermetalik bileşiklerin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca bu görüntüler Çizelge 5.1’de verilen porozite değerleri ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

Şekil 5.4’ de 7-8 bar basınç altında üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri görülmektedir. AA6061 malzemeye takviye edilmiş SiC takviye malzemesi ile matris malzemesi arasında AA2024-SiC’ de olduğu gibi intermetalik bileşiklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Çizelge 5.2’de verilen porozite değerleri ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

Özsarı, R. [26] mikroyapıdaki porozite için; alüminyum matrisli seramik tavilyeli kompozitlerin üretiminde Al’ün O’ne olan yoğun ilgisinden dolayı matris elemanı ile takviye elemanı arasında Al₂O₃ oksit tabakası oluştuğu ve matrisin seramik partikülleri ıslatmasını zorlaştırdığını böylece porozite oranının arttığı belirtilmiştir.

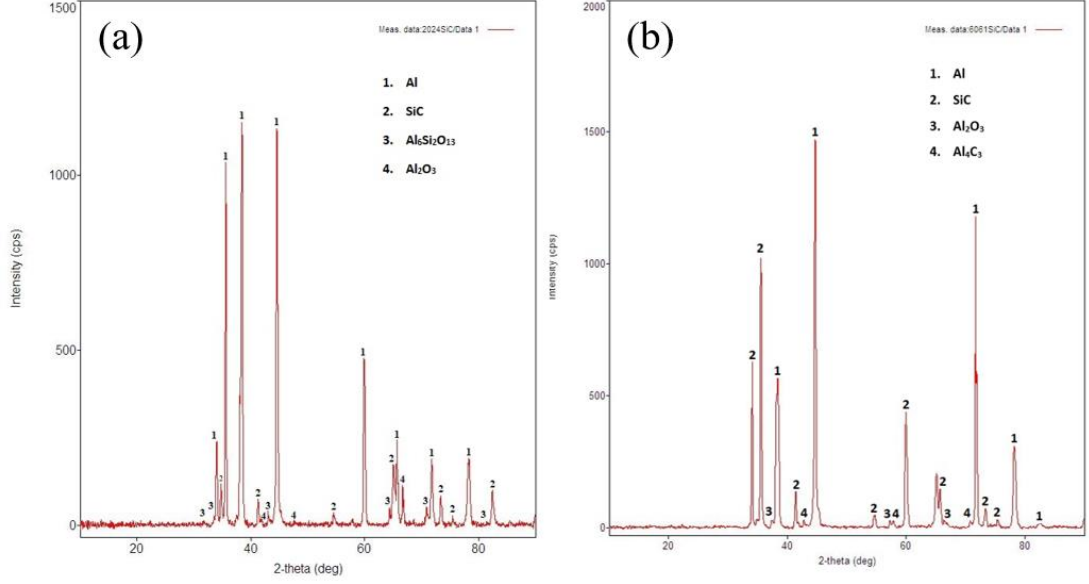
Polat, S. [28] doktora tez çalışmasında TiB₂ ve B₄C takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin özelliklerini ve basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilebilirlikleri birçok yönden incelemiştir. Elde ettiği bulgular takviye partiküllerin sahip olduğu boyutsal dağılımların üretim içi oldukça önemli olduğunu göstermiştir. Farklı boyut dağılımındaki TiB₂ ve B₄C takviyeleri arasından en iyi üretimlerin, daha büyük ve homojen partikül dağılımına sahip olan B₄C takviyeli kompozitlerde gerçekleştiğini saptamıştır.

Polat, S. [28] çalışmasında basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılarak yapılan üretimlerde partikül boyutu homojen dağılım sergilemeyen 40 mikron ve altı takviyelerle üretilen kompozitlerin, homojen dağılımlı ve 40 mikron üstü kompozitlere göre hem mekanik hem de termal özelliklerin olumsuz bir şekilde etkilendiğinin sonucuna varmıştır.

5.2. XRD ANALİZİ SONUÇLARI

Şekil 5.5.a’ da verilen XRD analizlerinde görüldüğü üzere AA2024-SiC malzemenin yapısında Al₆Si₂O₁₃ ve Al₂O₃ ikincil fazların oluştuğu, Şekil 5.5.b’de AA6061-SiC

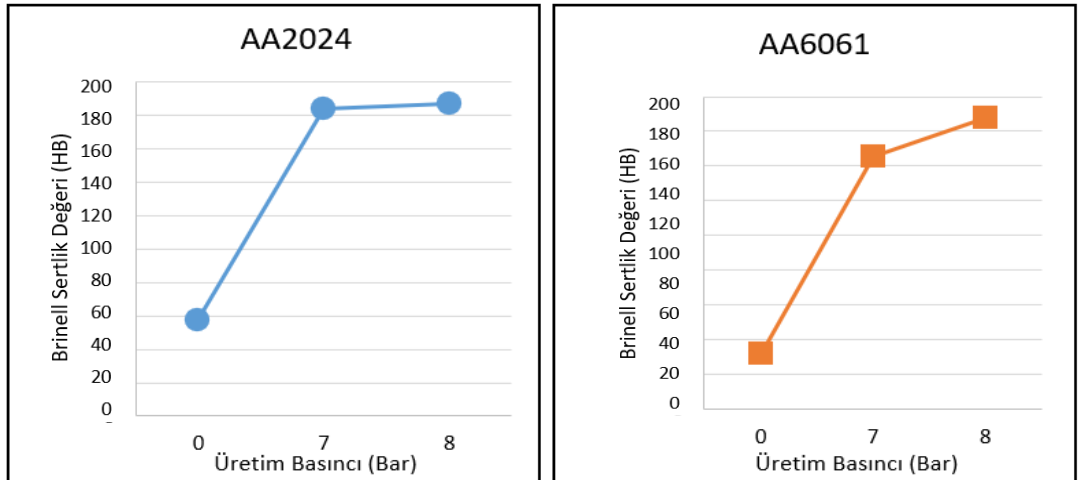
malzemesine ait verilerde ise yapı içerisinde Al_4C_3 ve Al_2O_3 gibi ikincil fazların oluştuğu tespit edilmiştir [15].



Şekil 5.5. a) 2024-SiC, b) 6061-SiC XRD analiz sonuçları.

5.3. BRİNELL SERTLİK SONUÇLARI

AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin üretim aşamasında uygulanan 7 bar ve 8 bar basınç değerleri ile üretilen kompozitlerin brinell sertlik değerlerinde meydana gelen değişimi Şekil 5.6'te gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Takviyesiz ve 7-8 bar basınç ile üretilen AA2024 ve AA6061 kompozit malzemelerin sertlik değerlerindeki değişim.

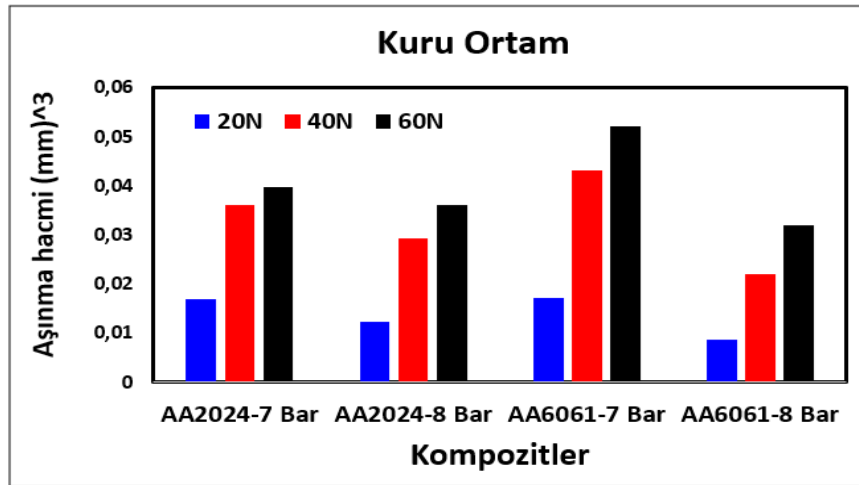
Basıncılı infiltrasyon yöntemi ile üretilen AA2024 matrisli malzemelerde, 7 bar basınç ile üretilen malzemede %69 oranında sertlik artışı görünmüştür. 8 bar basınç ile üretilen malzeme de ise %70 oranında sertlik artışı görünmektedir. 7 bar ile 8 bar arasında ise %1,44 kadar sertlik artışı olmuştur. Bu artışlar üretim basıncına bağlı olarak malzemenin porozite oranındaki düşüşten kaynaklanmaktadır.

AA6061 matrisli malzemelerde, 7 bar basınç ile üretilen malzemede %78 sertlik artışı olmuştur. 8 bar basınç ile üretilen malzemede ise %80 sertlik artışı görünmektedir. 7 bar ile 8 bar arasında ise %13 oranında sertlik artışı olmuştur.

Basıncılı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan malzemelerde 7 bar basınçta yüksek oranda sertlik değerinin arttığı görülmektedir.

5.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

5.4.1. Kuru Ortam Aşınma Sonuçları



Şekil 5.7. AA2024-SiC & AA6061-SiC kompozitlerin kuru aşınma ortamında aşınma hacimlerinin değişken yüklerle ve üretim basıncına bağlı değişimi.

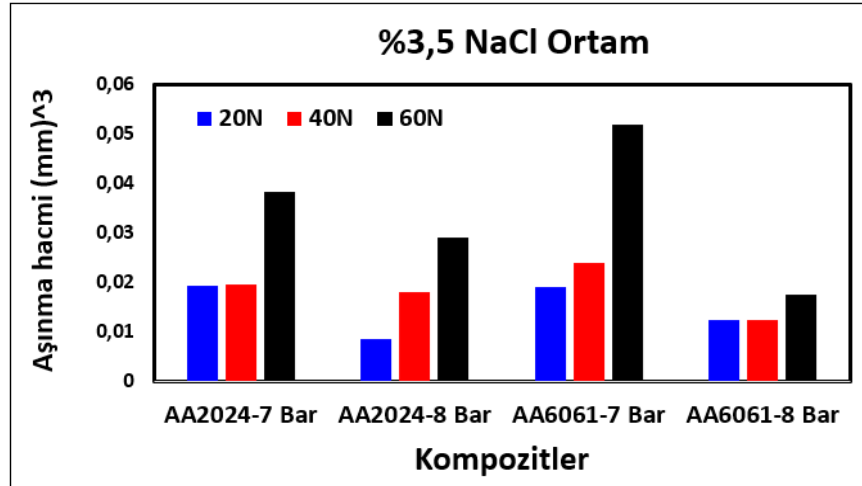
Basıncılı infiltrasyon yöntemiyle 7-8 bar basınçlar altında üretilen AA2024-SiC ve AA6061-SiC kompozitlerine kuru ortam şartlarında yapılan aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Buradan elde edilen sonuçlar Şekil 5.7’te verilmiştir. Buradan hareketle 7 bar basınç altında üretilen AA2024-SiC kompozitin aşınma hacmi her üç yük değeri altında da 8 bar ile üretilen göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla aşınma direnci bakımından 8 bar ile üretilen AA2024-SiC kompozit 7 barla üretilene göre daha dirençli olduğu saptanmıştır.

Farklı yük değerleri altında AA6061-SiC kompozitin de 8 bar ile üretilmiş olanları 7 bar ile üretilenlere göre daha iyi aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum AA6061-SiC kompozitin Çizelge 5.2’de verilen porozite değerleri ile uyumludur.

Kuru aşınma ortamı için incelendiğinde; 4 alternatif kompozit malzeme arasından 8 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozitin en avantajlı olduğu görülmüştür.

5.4.2. %3,5 NaCl Çözeltisi Ortamında Aşınma Sonuçları



Şekil 5.8. AA2024-SiC & AA6061-SiC kompozitlerin %3,5 NaCl ortamında aşınma katsayılarının değişken yüklerle ve üretim basıncına bağlı değişimi.

Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle 7-8 bar basınçlar altında üretilen AA2024-SiC ve AA6061-SiC kompozitlerine %3,5 NaCl çözeltisi ortamı şartlarında yapılan aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

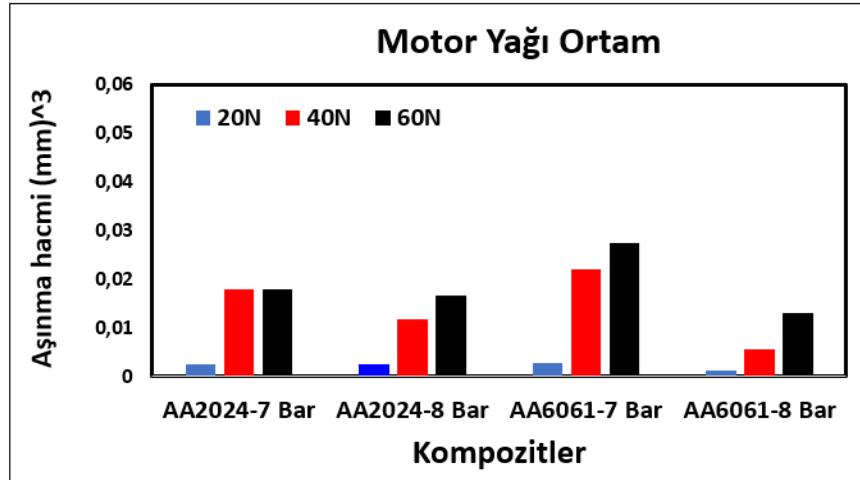
Aşınmayı deneyi sonuçları Şekil 5.8’ te görüldüğü üzere verilmiştir. 7 bar ile üretilen AA2024-SiC kompozit 20N ve 40N yük değerleri altında benzer aşınma davranışları

kaydetmiştir. Ancak artan yük etkisi altında aşınma hacminde ciddi bir artış meydana gelmiştir. 8 bar ile üretilen AA2024-SiC kompozite bakıldığında ise artan yük etkisi altında doğrusal bir seyir kaydetmiştir. Genel manada 8 bar ile üretilen kompozitin 7 bar ile üretilene göre daha fazla aşınma direncine sahip olduğu görülmektedir.

AA6061-SiC kompozit ise 7 bar basınç altında artan yük etkisine 7 bar ile üretilen AA2024-SiC den daha fazla tepki vermiştir. Buna sebep olarak da Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de verilen porozite oranlarına bakılabilmektedir. 8 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozit ise tüm yük değerleri altında oldukça düşük veriler kaydetmiştir.

%3,5 NaCl ortamı için de 8 bar ile üretilen AA6061-SiC malzeme çok düşük değerler kaydettiği için aşınma dayanımı en yüksek olan malzeme olduğunu göstermiştir.

5.4.3. Motor Yağı Ortamında Aşınma Sonuçları



Şekil 5.9. AA2024-SiC & AA6061-SiC kompozitlerin motor yağı ortamında aşınma katsayılarının değişken yüklere ve üretim basıncına bağlı değişimi.

Basıncılı infiltrasyon yöntemiyle 7-8 bar basınçlar altında üretilen AA2024-SiC ve AA6061-SiC kompozitlerine motor yağı ortamı şartlarında yapılan aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Aşınma sonuçları sütun grafiği şeklinde Şekil 5.9'da görüldüğü şekilde verilmiştir. Verilen incelendiğinde 7 bar ile üretilen AA2024-SiC kompozit düşük yükler altında oldukça düşük veriler kaydetmiş olup artan yük ile aşınma oranı da yükselmiştir. 8 bar ile üretilen kompozitte de aynı durum söz konusu olsa bile burada daha yumuşak geçişler görülmüştür. Bununla birlikte de 8 bar ile üretilen kompozitin 7 bar ile üretilene göre aşınmaya olan direnci daha yüksek olduğu saptanmıştır.

AA6061-SiC için tespit edilen verilere bakılırsa; 7 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozitin daha önceki iki ortam şartında da kaydettiği verilere benzer bir davranış sergilediği tespit edilmiştir. 8 bar ile üretilen kompozitte ise düşük yüklerdeki aşınma hacmi yok denecek kadar az olup genel anlamda da aşınma direnci 7 bar ile üretilene göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Motor yağı ortamında da 8 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozit diğer ortamlarda olduğu gibi yüksek aşınma direnci sergilemiştir.

Mindivan, H. [27] yaptığı doktora çalışmasında, SiC takviyeli alüminyum kompozitleri korozif çözeltilerde (30g/l NaCl + 10ml/l HCl), saf suda ve yarı sentetik yağ (10W-40) içinde aşınma testlerine tabi tutmuştur. Yağlı ortam koşulları altında yapılan deneylerde korozif ortam ve saf su içerisinde yapılan deneylere göre daha düşük düşük sürtünme katsayısı ve aşınma hızı göstermiştir. Sonuç olarak bu aşınma ortamlarının kuru aşınma ortamlarına nazaran daha yüksek temas basınçları altında dahi daha az aşındıkları ve daha düşük sürtünme katsayısı kaydettiklerini belirtmiştir.

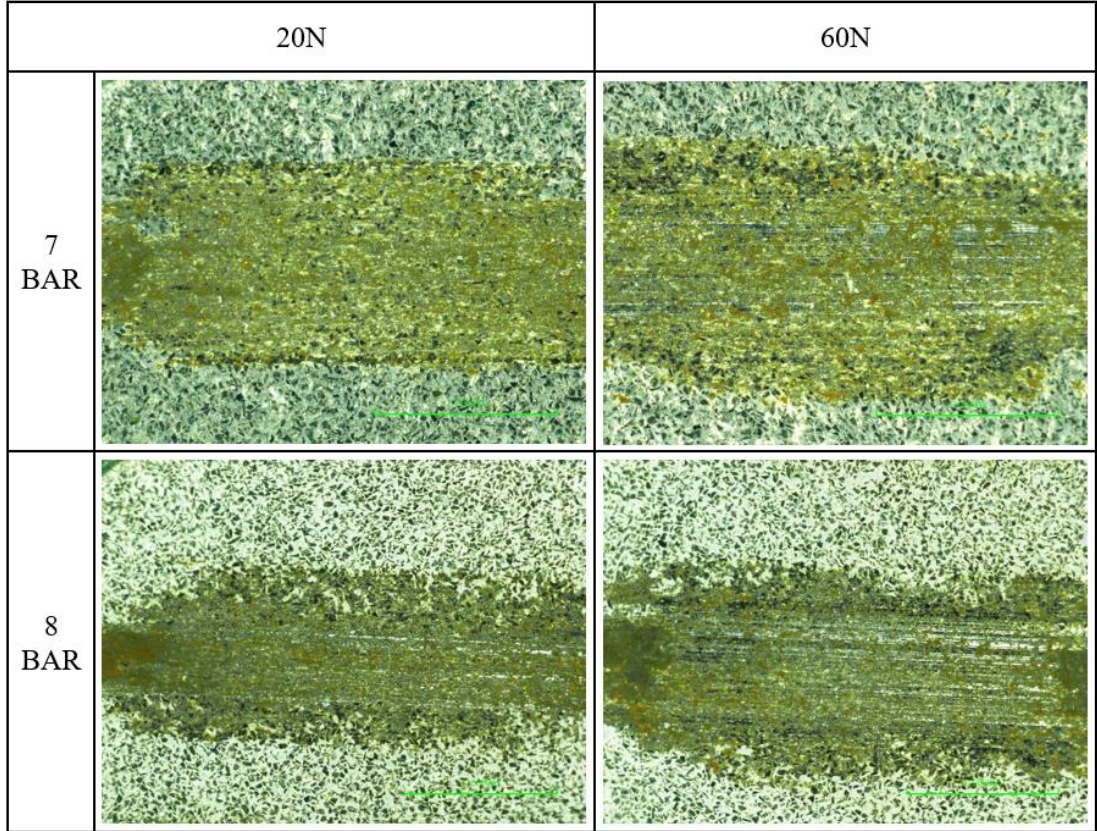
Mindivan, H. [27] yaptığı çalışmada basınçlı infiltrasyon yöntemi ile ürettiği %50 hacim oranlı 30 µm boyutundaki SiC partikül takviyeli kompozit üretimine korozyon direnci bakımından AA6082, mekanik özellikler ve aşınma direnci açısından da en uygun matris alaşımının AA7012 ve AA7075 olduğunu belirtmiştir.

5.5. AŞINMA TESTİ SONRASI MİKROYAPI ANALİZİ

Aşınma testine tabi tutulan AA2024-SiC ve AA6061-SiC kompozitlerin aşınma testleri sonrası oluşan aşınma izleri üzerinde Shuutle Pix mikro görüntüleme cihazı ile görüntüler çekildi ve yorumlandı.

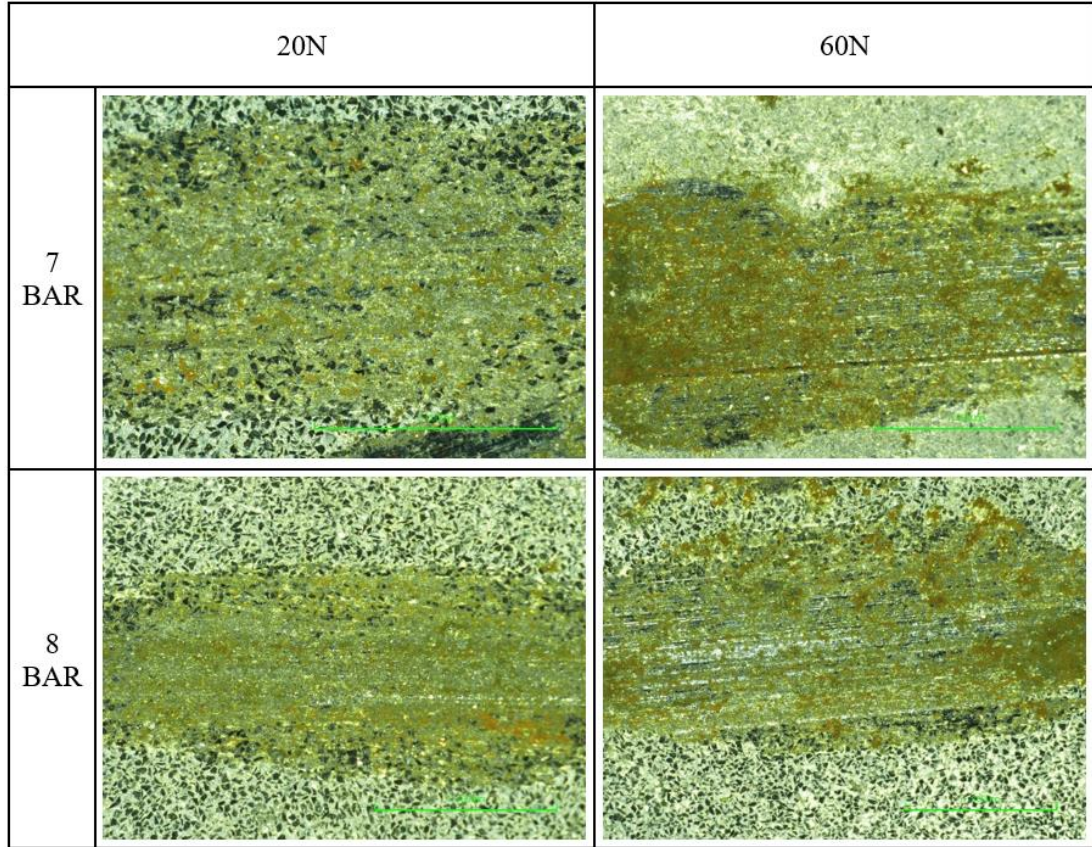
5.5.1. Kuru Aşınma Ortamı

Şekil 5.9’te verilen aşınma test sonuçlarına göre kuru aşınma ortamında teste tabi tutulan AA2024-SiC ve AA6061-SiC numune gruplarına ait aşınma testi sonrası mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.9. AA2024-SiC numunelerinin kuru ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri.

AA2024-SiC numunelerine ait olan Şekil 5.9’ de verilen görüntülerde 7 bar ile üretilen malzemenin iz genişliği 8 bar ile üretilene göre daha geniş olduğu görülmekte olup artan yük etkisiyle birlikte yüzeye sıvanma miktarı artsa bile izlerin altında SiC tanelerinin konumlarını korudukları görülmüştür.



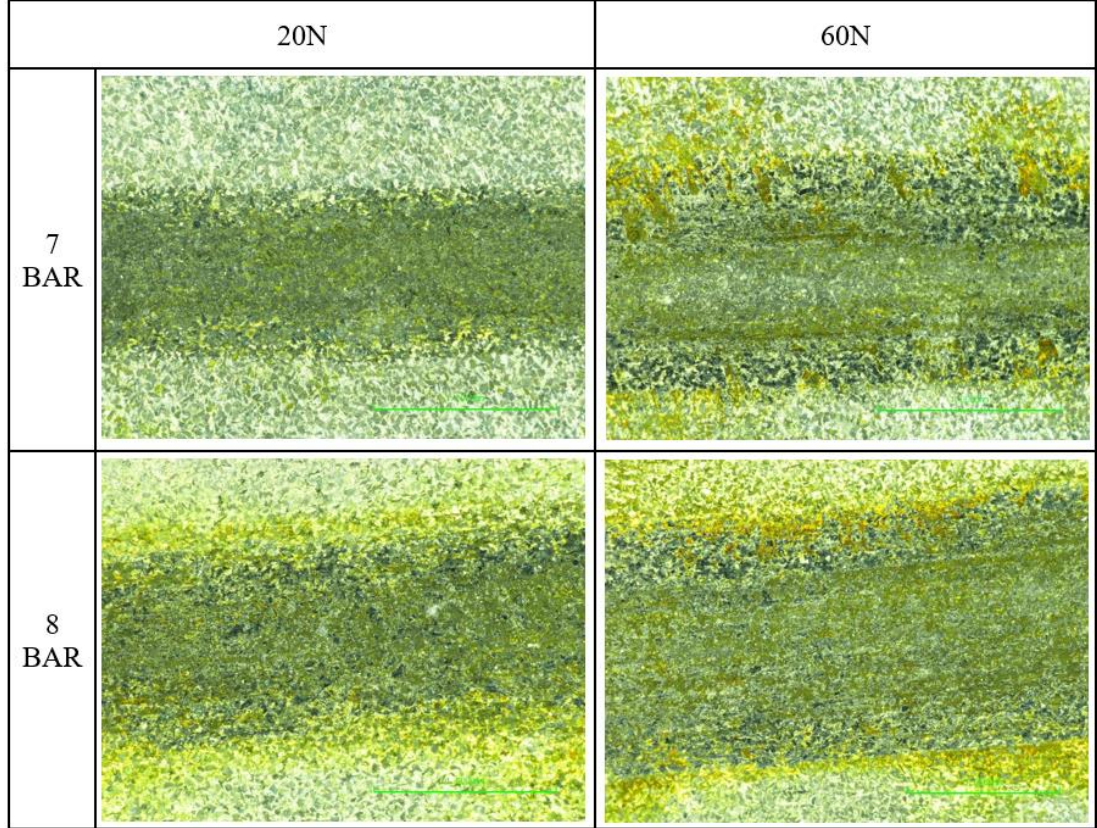
Şekil 5.10. AA6061-SiC numunelerinin kuru ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.

AA6061-SiC numunelerine ait olan Şekil 5.10'te verilen görüntülerde ise 8 bar ile üretilen numunelerdeki iz genişliğinin 7 bar ile üretilene göre daha geniş olduğu SiC partiküllerinin yüzeyden aşındığı görülmüştür.

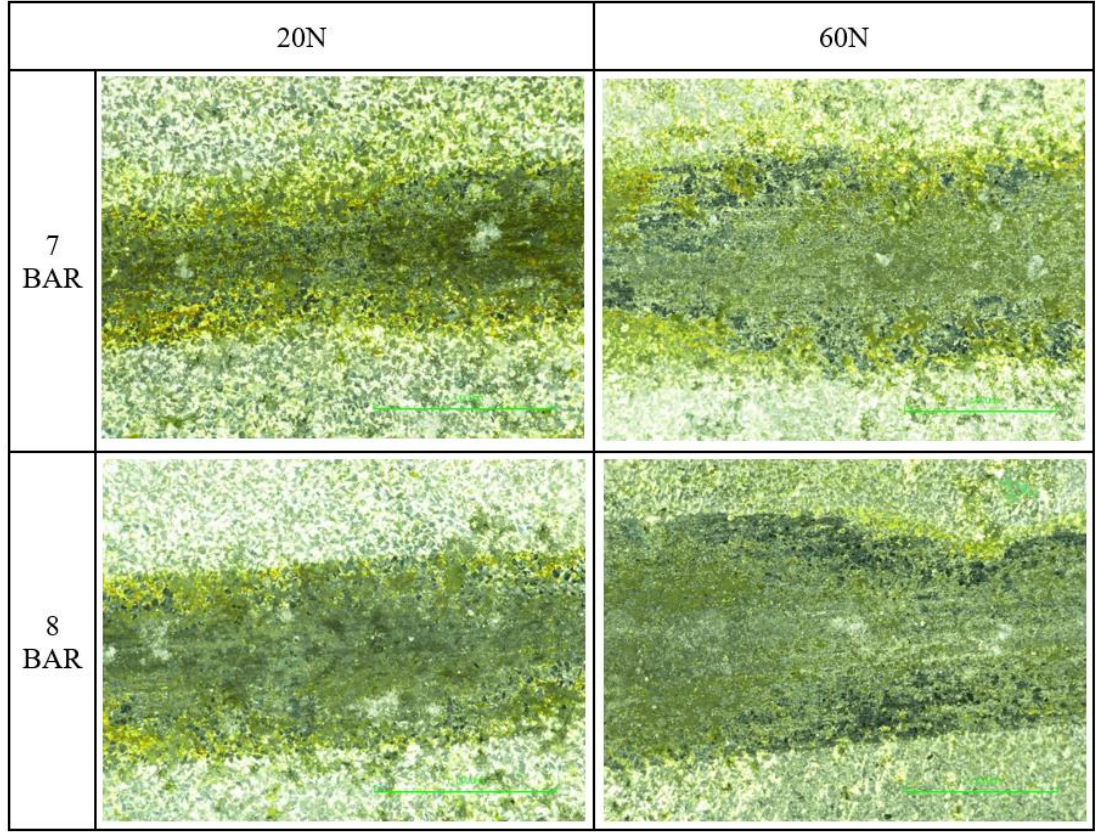
Dolayısıyla kuru aşınma ortamı için AA2024-SiC takviyeli malzemenin 8 bar ile üretilmiş olmasındaki iyileşmeler görsel olarak kendini belli etmektedir. AA6061-SiC malzemede ise 7 bar ile üretim sonucu aşınma izinde herhangi bir iyileşme gözlemlenmemekle birlikte görsel test sonucunda da 8 bar ile üretilen numunelere göre daha fazla aşındıkları gözlemlenmiştir.

5.5.2. %3,5 NaCl Çözelti Ortamı

Şekil 5.11' de verilen aşınma test sonuçlarında %3,5 NaCl içeren sulu çözelti ortamında teste tabi tutulan AA2024-SiC ve AA6061-SiC numune gruplarına ait aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.11. AA2024-SiC numunelerinin NaCl sulu çözeltisi ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikro yapı görüntüleri.



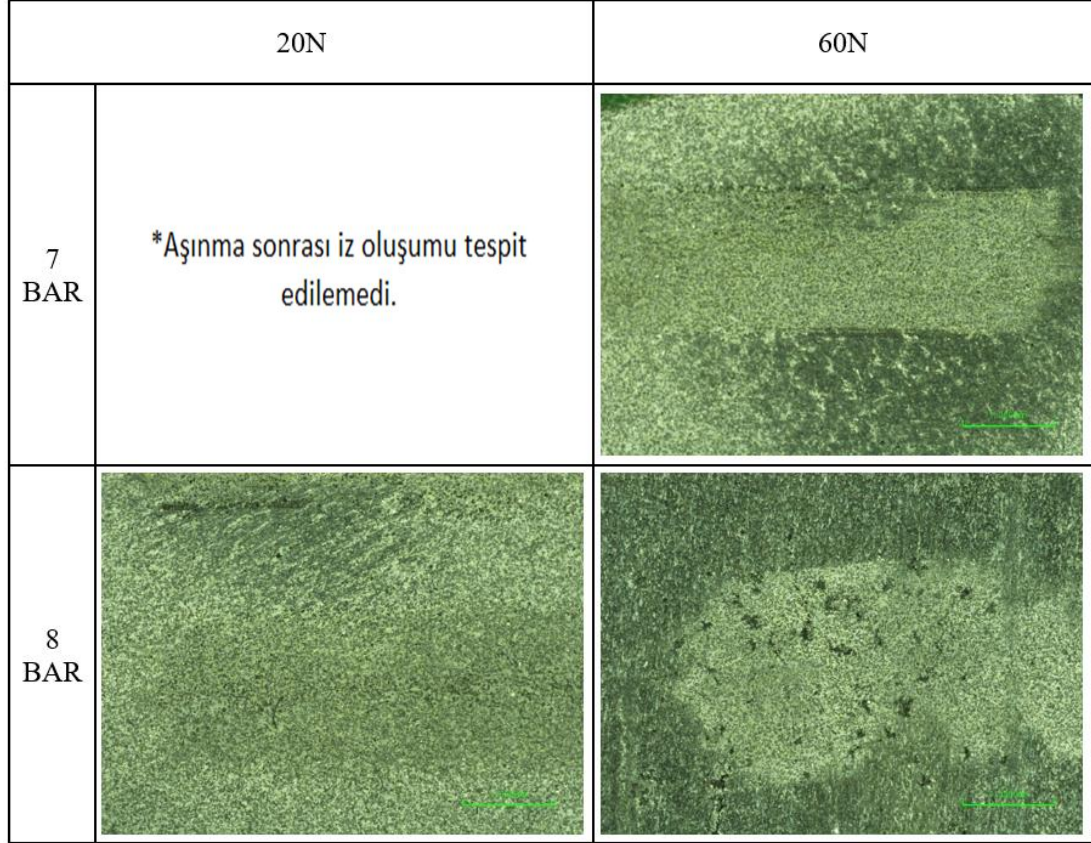
Şekil 5.12. AA6061-SiC kompozitlerin NaCl sulu çözeltisi ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.

AA2024-SiC numunelerine ait olan Şekil 5.11’te verilen görüntülerde 7 bar ile üretilen malzemedeki iz genişliğinin, oksidasyonun ve saçılımın 8 bar ile üretilene göre daha fazla olduğu tespit edilmiş olup 60N yük altında 7 bar ile üretilen malzemede takviye malzemeler seçilemezken 8 bar ile üretilen malzemede bu elemanlar seçilebilmiştir.

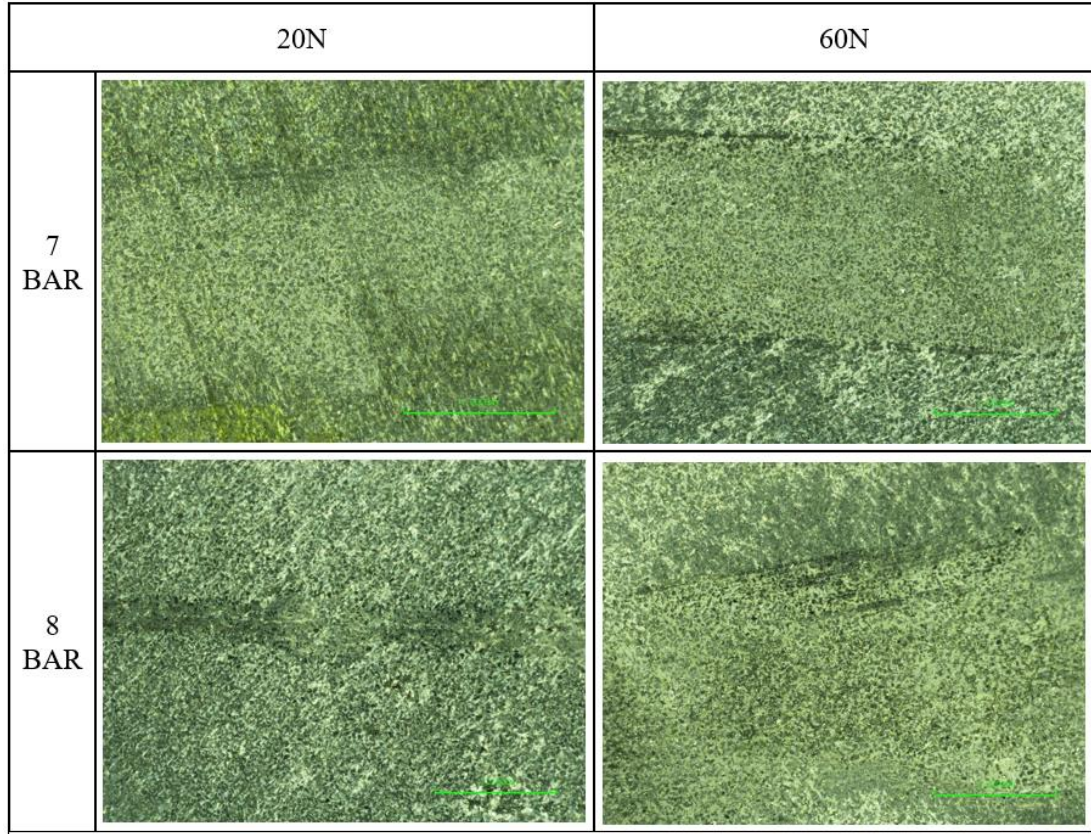
Bu nedenle verilen görseller birlikte incelendiğinde AA6061-SiC malzeme grubu sulu NaCl çözeltisi içinde aşınmaya karşı 7 bar ile üretilen numunelerin 8 bar ile üretilenlere göre daha düşük direnç gösterirken AA6061-SiC grubunda üretilen numunelerin bu korozif ortamdan etkilenmiş olmasına rağmen farklı basınçlarda üretilen numuneler arası aşınma davranışının daha stabil kaldığı görülmüştür.

5.6.3. Motor Yağı Ortamı

Şekil 5.13’ da verilen görseller grubunda motor yağı ortamında teste tabi tutulan AA2024-SiC ve AA6061-SiC numune gruplarına ait aşınma sonrası mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.13. AA2024-SiC kompozitlerin motor yağı ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.14. AA6061-SiC numunelerinin motor yağı ortamında aşınma testi sonrası oluşan izler üzerinden alınan aşınma sonrası mikroyapı görüntüleri görüntüleri.

AA2024-SiC numunelerine ait olan Şekil 5.13'te verilen görüntülerde ortamın yağlayıcı etkisinin yüksek olmasından 7 bar-20N' da iz oluşumu gözlemlenmemiş olup 60N yük etkisi altında saçılımların olmadığı bir aşınma izi oluşmuş olup tahribat gözükmemektedir. 8 bar ile üretilen numunede ise 20N'da oluşan iz yüzeyde belli olmaz iken 60N'da oluşan izde SiC partiküllerin belirginleştiği görülmekle birlikte 7 bar skalasına göre kısa bir iz oluşumu bulunmuştur.

AA6061-SiC numunelerine ait olan Şekil 5.14'te verilen görsellerde ise aynı şekilde özellikle artan yük etkisi altında 7 bar ile üretilen malzeme yüzeyindeki tahribatın 8 bar skalasında verilen görüntülerden fazla olduğu görülmüştür.

Genel anlamda görseller incelenirse; mikro yapı, SEM-EDS analizlerinde de tespit edildiği üzere AA2024-SiC kompozitin AA6061-SiC'ün yanında bekleneni

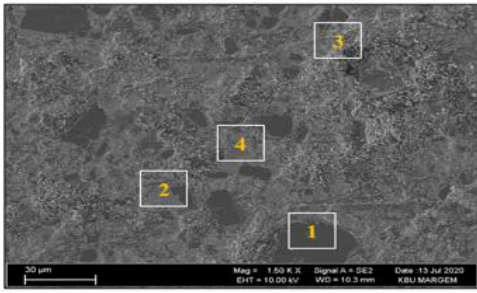
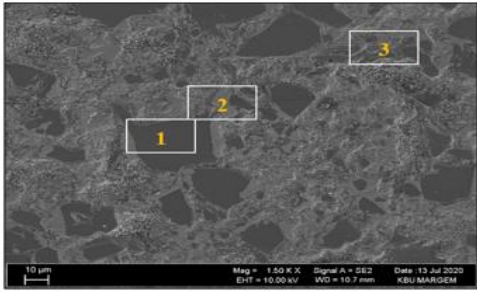
karşılayamamıştır. Ancak AA6061-SiC’de üretim basıncının 8 bar değerine yükseltilmesinin doğurduğu başarılı sonuçlar sürekli olarak teyit edilmiştir

5.6. SEM-EDS ANALİZ SONUÇLARI

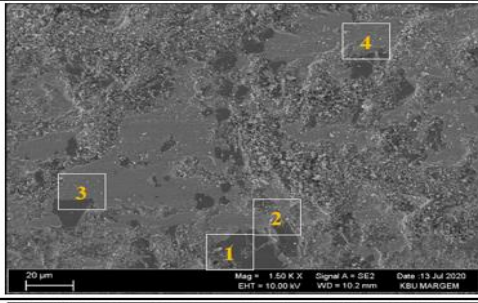
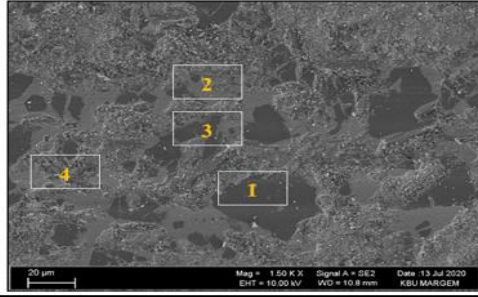
Basıncılı infiltrasyon yöntemi ile üretimi sağlanmış olan AA2024-SiC ve AA6061-SiC kompozitler üzerinde farklı ortamlarda aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşınma izleri üzerinden SEM görüntüleri alınarak detaylı incelemeler yapılmıştır. Ayırıcı bu izlerin olduğu noktalardan EDS analizleri alınarak SEM görüntüleri ile değerlendirmeler yapılmıştır.

5.6.1. Kuru Aşınma Ortamı

Farklı basınçlar altında üretilen AA2024-SiC kompozitin 20N yük altında kuru aşınma sonrasında aşınma izinden alınan SEM görüntüleri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’te verilmiştir.

		20N					
		SEM	EDS				
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	31,24	0,48	68,28	0,00	0,00
		2	9,78	0,07	0,24	0,00	89,91
		3	27,71	0,59	71,7	0,00	0,00
		4	13,18	0,12	1,02	1,9	83,78
8 BAR		1	33,07	0,28	65,14	0,00	1,51
		2	8,29	0,19	0,77	1,45	89,31
		3	20,96	7,29	34,58	0,10	37,07
		4	-	-	-	-	-

Şekil 5.15. AA2024-SiC kompozitin 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

		60N					
		SEM	EDS				
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	13,89	2,87	16,13	0,00	67,11
		2	34,35	0,35	64,80	0,44	0,06
		3	10,93	1,01	1,76	0,80	85,50
		4	31,97	0,35	65,96	0,00	1,72
8 BAR		1	31,48	0,47	67,69	0,00	0,35
		2	6,95	1,09	1,66	0,00	90,29
		3	17,53	4,21	5,78	0,31	72,18
		4	10,74	1,83	8,57	0,28	78,59

Şekil 5.16. AA2024-SiC kompozitin 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

Basıncılı infiltrasyon yöntemiyle 7-8 bar basınçla üretilmiş AA2024-SiC kompozitin kuru ortamda maruz bırakıldığı aşınma testi sonucunda; 7 bar basınçta üretilen AA2024-SiC kompozitin 8 bar basınçta üretilene göre aşınma oranının daha yüksek olduğu saptanmıştır.

7 bar-20N görüntüsünde 2-4 no lu bölgelerden alınan EDS sonuçlarında Fe elementi oranının yüksek çıktığı saptanmıştır. Dolayısıyla bu bölgelerin aşınma testi sırasında aşındırıcı bilyanın yüzeyinden ayrılan ve numune yüzeyine sıvanan (kaplanan) partiküller olduğu tespit edilmiştir.

7 bar-60N görüntüsüne bakılacak olursa sıvanmanın burada daha geniş yüzeylere yayıldığı görülmüştür. Ayrıca 1-3 no lu bölgelerden alınan EDS analizleri de bunu desteklemekte olup bunun dışında 2-4 no lu bölgelerden alınan EDS analizlerinde Si ve C elementlerinin oranının yüksek çıktığı belirlenmiştir. Dolayısıyla SiC takviyelerinin yerinden ayrıldığı veya parçalanarak yüzeye sıvandığı dolayısıyla da malzemenin 60N yük altında aşınma aktivitesinin arttığı söylenebilir.

8 bar-20N görüntüsünde ise yüzeydeki sıvanmanın 7 bar ile üretilmiş malzemeye göre daha az olduğu ve takviye partiküllerin daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu durumda bu aşınma sırasında malzemenin az aşındığı dolayısıyla da yüzeyde sıvanmanın daha az olduğu söylenebilir.

8 bar-60N görüntüsünde ise yüzeydeki sıvanma oranının daha fazla olduğu ve takviye partiküllerin belirginliğini yitirdiği saptanmıştır. Bu sebeple yük artışıyla beraber malzemenin daha fazla aşındığı görülmüştür. Bu görüntülerden yola çıkılarak yapılan yorumlamaların malzemelerin aşınma oranı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

		20N					
		SEM	EDS				
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	9,03	0,00	1,68	0,60	88,69
		2	34,75	0,41	64,83	0,00	0,00
		3	13,08	6,99	10,65	0,07	69,22
		4	25,13	11,52	12,26	0,00	51,10
8 BAR		1	32,68	0,49	65,4	0,00	1,44
		2	10,39	1,19	86,84	0,00	1,59
		3	11,34	0,00	0,18	0,65	87,83
		4	15,92	14,65	6,84	0,00	62,58

Şekil 5.17. Farklı basınç değerleri altında üretilen AA6061-SiC kompozitin 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri.

		60N					
		SEM	EDS				
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	33,43	0,44	66,12	0,00	0,02
		2	5,98	0,67	0,76	0,31	92,28
		3	9,57	6,50	1,71	1,98	80,24
		4	13,03	2,43	9,10	0,00	75,44
8 BAR		1	28,00	0,41	69,82	0,13	1,64
		2	39,49	0,00	59,11	0,00	1,41
		3	28,46	0,26	71,23	0,05	0,00
		4	9,09	0,01	1,47	0,00	89,44

Şekil 5.18. AA6061-SiC kompozitin 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

Basıncılı infiltrasyon yöntemiyle 7-8 bar basınçla üretilmiş AA6061-SiC kompozitin kuru ortamda aşınma testine tabi tutulmuştur. Bu kompozit numuneleri artan yük etkisi altında aşınma oranlarında yükseliş kaydedilmiştir. Ancak 8 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozit 7 bar ile üretilene göre ve diğer basınçlarda üretilmiş AA2024-SiC kompozitlere göre aşınma dayanımının yüksek olduğu bilinmektedir.

Şekil 5.17’de 7 bar-20N SEM görüntüsüne bakacak olursak 1-3-4 no lu bölgelerden alınan EDS analizlerinden de anlaşılacağı üzere bilyanın aşınarak yüzeye sıvandığı anlaşılmıştır. %11,52 Al, %51,10 Fe, %25,13 C içeren 4 no lu bölge ye bakıldığında ise burada hem bilyanın aşındığını hem de malzemenin aşınarak tekrardan yüzeye sıvandığı yorumu yapılmıştır. 7 bar-60N’ a ait SEM görüntüsüne bakıldığında ise 20N ‘a göre bilyadan geçen sıvanmanın daha geniş yüzeylere yayılmış olup 1-2-3-4 no lu bölgelerden alınan EDS analizleri de bunu desteklemektedir.

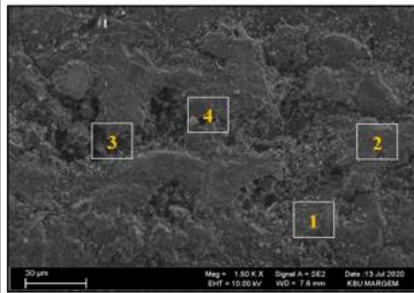
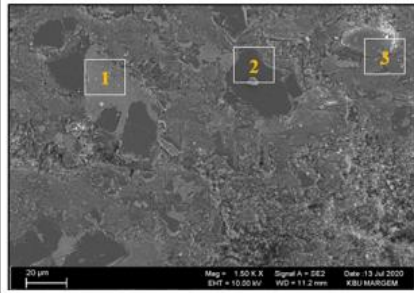
8 bar-20N’ da verilen SEM görüntüsünde ise 7 bar-20N’ daki görüntüye göre bilyanın yüzeye daha fazla sıvanmıştır. Bunun yanı sıra matris malzemesi Al metalinin de yüzeyden ayrılıp tekrar yüzeye sıvandığı belirlenmiştir. Takviye elemanın bulunduğu

4 no lu bölgeden alınan EDS analizinde tespit edilen %14,65 Al ile daha belirgin olarak anlaşılmaktadır.

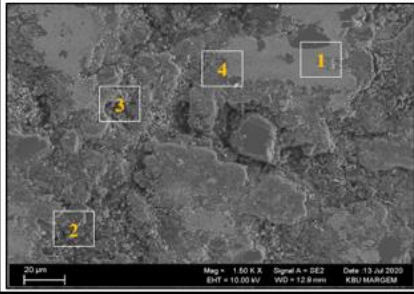
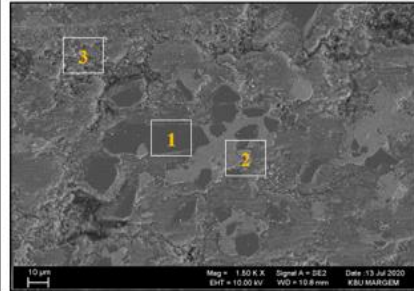
Bu tespitler ışığında artan yük etkisi ile 8 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozitlerin yüzey morfolojisindeki tahribatın 7 bar ile üretilene göre yoğun olmadığı saptanmıştır. Çizelge 5.2’ de verilen porozite değerlerine ve aşınma deney sonuçlarına bakıldığında SEM görüntülerini doğrular nitelikte olduğu saptanmıştır.

5.6.2. %3,5 NaCl Çözelti Ortamı

%3,5 NaCl ortamında aşınma testine tabi tutulan AA2024-SiC ve AA6061-SiC’ e ait SEM-EDS görüntü ve analizleri bu başlık altında verilen şekillerle aktarılmıştır.

	20N								
	SEM	EDS							
		C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)	Na (%)	Cl (%)	
7 BAR		1	38,83	3,53	56,48	0,53	0,00	0,41	0,23
		2	21,06	26,90	5,83	6,21	38,69	1,31	0,00
		3	34,37	9,68	43,96	0,00	11,65	0,33	0,00
		4	72,22	0,80	3,64	0,00	0,00	0,80	0,00
8 BAR		1	8,02	0,43	1,28	17,34	71,65	0,00	0,00
		2	31,53	0,31	67,56	0,33	0,00	1,13	0,00
		3	15,95	4,52	1,80	5,68	70,25	1,80	1,80
		4	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.19. AA2024-SiC kompozitinin %3,5 NaCl ortamında 20N yük altındaki aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

	60N								
	SEM	EDS							
		C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)	Na (%)	Cl (%)	
7 BAR		1	7,69	1,41	1,43	10,20	78,54	0,13	0,60
		2	38,56	20,06	39,01	0,00	2,08	0,00	0,28
		3	37,08	15,39	12,76	3,99	29,53	1,05	0,19
		4	23,93	1,81	2,53	12,42	57,97	1,19	0,15
8 BAR		1	34,08	0,45	64,94	0,52	0,00	0,00	0,01
		2	8,46	1,29	1,43	16,67	70,58	0,79	0,79
		3	13,06	7,57	1,88	1,54	75,83	0,00	0,12
		4	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.20. AA2024-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamında 60N yük altındaki aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

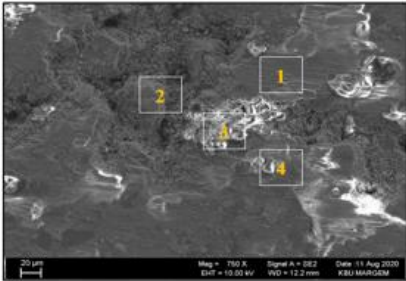
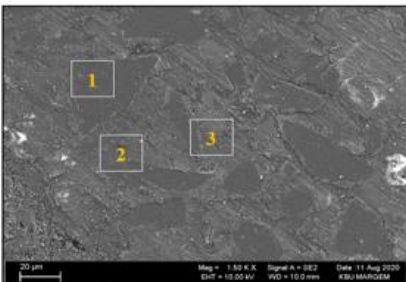
AA2024-SiC Metal matrisli kompozit malzemelerin %3,5 NaCl içeren çözelti içerisinde değişken yükler altında aşınma testine maruz bırakılmışlardır. Bunun sonucunda 7 bar basınç ile üretilen AA2024-SiC kompozit 8 bar ile üretilene göre aşınma dayanımı daha düşük olduğu bilinmektedir.

Şekil 5.19'de verilen 7 bar-20N görüntüsünde önceki başlıklarda incelenen kuru aşınma görüntülerine göre yüzeyde özellikle bilyanın etkisiyle oluşan sıvanmanın daha düşük olduğu görülmüştür. 1-3-4 no lu bölgelerden alınan EDS sonuçlarındaki Fe ve Cr elementi oranı bu fikri desteklemektedir. Bunun başlıca sebebi olarak aşınmanın sıvı bir ortam içinde gerçekleşmesidir. Dolayısıyla hem bilyadan hem de malzemedan kopan partiküller yüzeyden ayrılıp ortama karıştığı için tekrardan yük etkisiyle yüzeye yapışması azalmıştır.

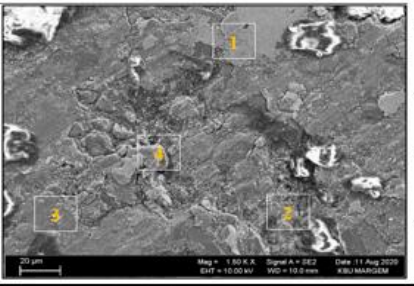
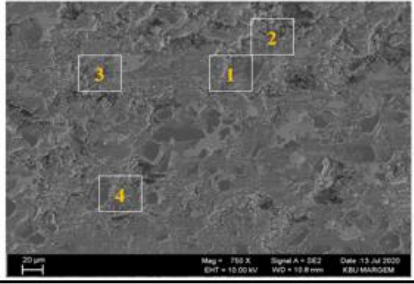
7 bar-60N görüntüsünde ise takviye elemanlarının yük artışı ile yerlerinden ayrıldığı görülmektedir. 1-3-4 no lu bölgelerden alınan EDS analizlerinde de yüzeyde tutunmuş gözükken NaCl bileşiklerinin yüzeydeki korozif erozyonları ve tahribatları belirlenmiştir.

8 bar-20N SEM görüntüsünde ise malzemenin korozif aşınma ortamından 7 bar ile üretilen malzemeye göre daha az etkilendiği görülmüştür. 2-3 no lu bölgelerden alınan EDS analizlerinde hem takviye elemanı hem de matris malzemesi üzerinde tutunmuş NaCl bileşikleri olduğu görülse bile yüzeyde ciddi bir tahribat söz konusu olmamıştır. Dolayısıyla bu yorumdan hareketle 8 bar ile üretilen AA2024-SiC malzemelerdeki matris-takviye elemanı uyumunun 7 bar ile üretilmiş olana göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

8 bar-60N görüntüsünde ise bazı noktalarda 20N'a göre oyuklaşma başlangıçları oluşmuş olsa bile yüzeyde ciddi bir tahribat tespit edilmemiştir. Burada 2-3 no lu bölgelerden alınan EDS analizlerinde bilyanın yüzeyde daha fazla partikül yapıştırdığı görülmüştür.

	20N								
	SEM	EDS							
		C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)	Na (%)	Cl (%)	
7 BAR		1	16,10	3,68	0,89	11,01	55,83	2,50	1,85
		2	16,98	5,35	2,33	6,18	58,35	6,27	1,70
		3	45,35	29,22	0,34	0,50	60,22	1,80	0,74
		4	21,32	29,22	3,74	7,03	60,22	1,80	0,74
8 BAR		1	14,92	2,62	65,07	0,00	0,00	0,31	0,12
		2	26,24	13,41	2,46	8,88	41,31	1,56	0,35
		3	14,92	77,90	3,15	0,17	0,00	0,07	0,10
		4	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.21. AA6061-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamındaki 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

	60N								
	SEM	EDS							
		C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)	Na (%)	Cl (%)	
7 BAR		1	9,95	0,50	0,88	12,25	71,03	1,49	0,46
		2	71,39	0,90	0,74	0,25	0,54	2,98	3,83
		3	50,97	20,28	1,13	5,34	15,07	2,29	1,65
		4	14,67	8,78	1,41	5,05	62,62	1,98	0,86
8 BAR		1	31,63	0,45	64,42	0,00	1,91	0,00	0,05
		2	32,72	46,67	6,40	1,14	0,00	0,00	3,72
		3	6,06	1,40	0,94	11,37	75,48	0,98	0,26
		4	30,50	0,52	67,49	0,00	0,00	0,13	0,03

Şekil 5.22. AA6061-SiC kompozitin %3,5 NaCl ortamındaki 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

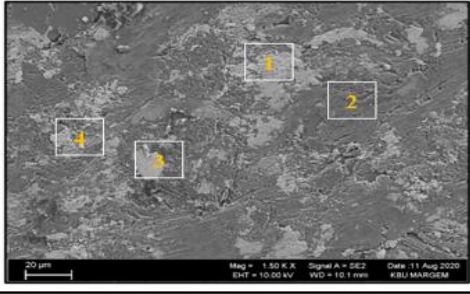
Farklı basınç değerlerinde imal edilmiş AA6061-SiC malzemeden alınan numunelerin artan yük etkisi altında aşınma testleri yapılmıştır. Buna göre 8 bar basınç altında üretilen AA6061-SiC kompozit sahip olduğu düşük porozite oranı sayesinde aşınma dayanımı 7 bar ile üretilen göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

7 bar-60N görüntüsünde NaCl bileşiklerinin yoğun olarak tespit edildiği 1-3-4 no lu bölgeler görülmektedir. Bununla birlikte artan yük etkisi altında 7 bar ile üretilen kompozitin yüzeyinde oluşan tahribat 8 bar ile üretilene göre çok daha yoğundur.

7 bar-60N görüntüsünde ise aynı skaladaki 8 bar ile üretilen malzemeye göre yüzeyde NaCl bileşiklerinin daha az tutunduğunu ancak 2-3-4 no lu bölgelerden alınan EDS analizlerine ve SEM görüntüsüne bakacak olursak matris malzemesinin ciddi oranda aşındığı belirlenmiştir. Hatta yüzeyden ayrılan bazı partiküllerin tekrardan yüzeye sıvandığını görülmüştür. Takviye elemanları ile matris malzemesi ara yüzeylerinde ciddi çatlak oluşumları gözlemlenmiştir.

5.6.3. Motor Yağı Ortamında

Motor yağı ortamında aşınma testine tabi tutulan AA2024-SiC ve AA6061-SiC' e ait SEM-EDS görüntü ve analizleri bu başlık altında verilen şekillerle aktarılmıştır.

	20N						
	SEM	EDS					
		C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)	
7 BAR	*Aşınma sonrası iz oluşumu tespit edilemedi ve EDS analizi yapılmadı.	1	-	-	-	-	-
		2	-	-	-	-	-
		3	-	-	-	-	-
		4	-	-	-	-	-
8 BAR		1	33,27	9,68	3,79	28,30	19,68
		2	31,30	62,43	1,98	0,08	1,55
		3	24,43	0,15	1,12	7,21	63,78
		4	64,78	16,15	4,93	0,47	1,84

Şekil 5.23. AA2024-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri.

Şekil 5.23'te SEM görüntüleri ve EDS analizleri verilen AA2024-SiC kompozite ait numunelerin motor yağı ortamında yapılan aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlere göre; porozite oranlarına da doğrudan bağlantılı olarak 8 bar ile üretilen kompozitin aşınma direncinin 7 bar ile üretilene göre daha yüksek olduğu bilinmektedir.

		60N					
		SEM		EDS			
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	23,15	0,00	1,89	8,39	64,47
		2	15,87	1,64	81,24	1,16	0,00
		3	21,63	73,64	0,94	0,40	0,32
		4	23,46	0,11	0,38	7,20	66,75
8 BAR			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
		1	18,43	0,31	0,98	12,20	64,75
		2	25,18	0,00	0,63	9,22	62,76
		3	23,87	0,00	1,31	8,15	63,24
	4	31,42	0,62	1,15	8,92	52,89	

Şekil 5.24. AA2024-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri.

Şekil 5.23'te verilen SEM görüntülerine bakılırsa ortamdaki yağlayıcı etkinin çok yüksek olmasından dolayı 20N yük altında aşındırıcı bilya malzeme yüzeyinde belirgin bir iz oluşturamamıştır. 7 bar-60N görüntüsüne bakacak olursak yüzeyde 1-4 no lu bölgelerinden EDS analizleri alınmıştır. Bu analizlerde bilyadan yüzeye belli seviyede sıvanma görülmekle birlikte takviye elemanlarının yerinde, ara yüzeylerde ve matris malzemesi üzerinde kuru aşınmada ve NaCl ortamındaki aşınmalarda görüldüğü gibi tahribatlar oluşmamıştır.

8 bar-20N SEM görüntüsünde ise yüzeydeki hem matris hem de bilyadan geçen partiküllerin yapışma oranının daha fazla olduğu görülmekle birlikte aşırı bir tahribat olmasa bile artan yük etkisiyle birlikte iz oluşumu gerçekleşebilmiştir. 8 bar-60N görüntüsünde ise 1-2-3-4 noktalarından alınan EDS analizlerinde de görüldüğü üzere yüzeydeki Fe ve Al elementi oranı daha geniş yüzeylere yayılmış olup yine de takviye elemanlarında ve ara yüzeylerde oyuklaşma vb. tahribatlar tespit edilmemiştir.

		20N					
		SEM	EDS				
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	27,18	0,07	10,25	7,57	51,12
		2	14,33	0,69	83,44	0,00	1,44
		3	40,89	0,74	56,70	0,00	0,69
		4	22,37	68,95	5,07	0,00	0,00
8 BAR		1	40,39	0,22	55,23	1,06	1,34
		2	22,57	0,32	1,06	6,91	65,01
		3	45,58	1,01	49,53	0,00	1,33
		4	39,65	27,06	31,37	0,00	0,33

Şekil 5.25. AA6061-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 20N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

		60N					
		SEM	EDS				
			C (%)	Al (%)	Si (%)	Cr (%)	Fe (%)
7 BAR		1	34,39	0,49	63,78	0,00	0,03
		2	15,61	0,64	3,76	15,10	61,51
		3	40,77	0,72	56,90	0,00	0,00
		4	15,94	80,76	0,39	0,71	0,00
8 BAR		1	39,65	0,70	57,33	0,00	0,26
		2	34,88	0,32	54,04	1,06	7,76
		3	43,30	0,86	50,73	1,64	1,14
		4	36,38	0,45	60,55	0,19	0,06

Şekil 5.26. AA6061-SiC kompozitin motor yağı ortamındaki 60N yük altında aşınma izleri üzerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri.

AA6061-SiC malzemelerin tabii tutulduğu son aşınma testleri motor yağı ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda; kuru ortam ve NaCl özeltisi ortamında elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Motor yağı ortamında da 8 bar ile üretilen AA6061-SiC malzemelerin aşınma direnci porozite ile uyumlu olarak 7 bar ile üretilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır.

şekil 5.25' de verilen SEM görüntüsünde 7-bar-20N ise düşük yük altındayken bile birçok takviye elemanın aşınmanın etkisiyle yüzeyden ayrıldığı ve çukurlar oluşturduğu belirlenmiştir. Takviye elemanı ile matris matris malzemesi ara yüzeylerinde derin çatlak oluşumları gözlenmiştir. Artan yük etkisiyle oluşan 7 bar-60N aşınma izine bakılırsa burada da neredeyse görüntünün tamamında derin oyukların oluştuğu saptanmıştır. Buralardan ayrılan SiC partiküllerin 1-2-3-4 no lu bölgelerden alınan EDS analizleri den de anlaşılacağı üzere bu bölgelere bir miktar sıvandığı anlaşılmıştır.

8 bar-20N görüntüsünde düşük yük etkisi altında olmasına karşın aşınma testi etkisi ile tahribat oluşumunun başladığını ve 1-2-3-4 no lu bölgelerde Fe elementi yoğunluğu tespit edilmiştir. 8 bar-60N görüntüsünde ise yük etkisinin artmasıyla matris yüzeyinde aşınmanın gerçekleştiği yönde kanallar şeklinde kendini belli eden izlerin varlığı tespit edilmiştir.

Bu yorumlardan hareketle 7 bar basınç altında üretilen AA6061-SiC numunelerinde SEM görüntülerinden tespit edildiği üzere takviye-matris malzemesi ara yüzeylerinde çatlakların olduğu uyumlu bir birleşmenin tam manasıyla gerçekleşemediği tespit edilmiş olup aşınma etkisine karşı düşük direnç sergilemesine sebep olmuştur. Bu durum 7 bar ile üretilen AA6061-SiC kompozitin üç ayrı aşınma ortamında (kuru-%3,5 NaCl özeltisi-motor yağı) sergilediği istikrarlı davranış ile de teyit edilmiştir. Dolayısıyla bu malzeme grubu için bizlere en stabil üretim basıncının 8 bar olduğunu ifade etmektedir. Ancak yine de AA2024-SiC ve AA6061-SiC malzemeleri kıyaslandığında AA6061-SiC numunelerini 8 bar basınç altında üretilmesinin bu malzemeyi daha kararlı ve farklı ortamlarda aşınma etkisine karşı daha avantajlı olduğunu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6

GENEL SONUÇLAR

Endüstriyel alanlarda sahip olduğu düşük yoğunluk, hafiflik ve buna karşın yüksek mukavemet ve esneklik özellikleri sayesinde alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanının oldukça yaygın olduğu bilinmekteydi ancak gelişen ve büyüyen teknolojinin ihtiyaçlarına özel alanlarda cevap olamayan bu tek işlevli malzemeler yerini kompozit işlevli malzemelere bırakmıştır. Bu çalışma kapsamında da sektörde yaygın olarak kullanılan AA2024 ve AA6061 alüminyum alaşımlarının bünyelerine partikül veya kılcal formlarda SiC ilave edilmesi ve üretim aşamasında tercih edilen basınçlı infiltrasyon yönteminde de farklı basınç değerlerinde üretim sağlanarak malzemelerin aşınma davranışlarının da iyileşmeler yapılımaya çalışılmıştır. Böylece 7 ve 8 bar basınç altında SiC takiyeli AA2024 ve AA6061 numune gruplarının üretimleri yapıldı ve akabine aşınma testlerine tabi tutularak farklı analiz yöntemleri ile incelenmesi sonucu bu malzemelerin aşınma etkisine karşı davranışları belirlenmiştir. Bu çalışmanın genel çıktıları aşağıdaki şekilde listelenmektedir;

- Basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılarak 7 ve 8 bar basınç altında takviye malzemesi SiC partiküller, matris malzemeleri olarak da AA2024 ve AA6061 alüminyum alaşım grupları kullanılmak kaydıyla metal matrisli kompozit malzeme özelliğine sahip numune grupları elde edilmiştir.
- AA2024-SiC malzemedeki yapıdaki porozite oranı 7 bar basınçta %2,48 iken 8 bar basınçta %1,20'ye, AA6061-SiC malzemedeki yapıdaki porozite oranı 7 bar basınçta %2,56 iken 8 bar basınçta %0,68 değerine düştüğü tespit edilmiş olup üretim basıncını arttırmanın yapıdaki porozite oranını düşürdüğü tespit edilmiştir.

- Brinell sertlik deneyi sonucu elde edilen değerlere bakıldığında yapıya ilave edilen SiC partiküllerinin AA2024 matrisi ile daha uyumlu birleşmesi sonucu sertlik değerini 180HB seviyelerine çıkardığı, AA6061' de ise bu değere ancak 8 bar basınç altında ulaşabildiği tespit edilmiştir.
- Kuru-sulu NaCl çözeltisi-motor yağı ortamlarında yapılan aşınma deneyi sonuçlarında AA6061-SiC malzemenin 8 bar ile üretilmiş numunelerinin 7 bar ile üretilmiş numunelerden elde edilen verilere göre üç ortam koşulunda da aşınmaya karşı daha dirençli olduğu aşınma oranının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu malzeme grubu için üretim basıncını arttırmanın malzeme üzerinde verimli sonuçlar elde edilmesini sağladığı anlaşılmıştır.
- Kuru-sulu NaCl çözeltisi-motor yağı ortamlarında yapılan aşınma deneyi sonuçlarında AA2024-SiC malzemenin 7 bar ile üretilen numunelerin 8 bar ile üretilene göre aşınma etkisine karşı daha dayanıksız olduğu tespit edilmiş olup AA2024-SiC için üretim basıncının arttırılmasının AA6061-SiC' göre verimli sonuçlar doğurmadığı tespit edilmiştir.
- Aşınma deneyi sonrası aşınma izleri üzerinden yapılan SEM-EDS ve Shuutle Pix görüntüleme analizlerinden elde edilen sonuçlar AA2024-SiC ve AA6061-SiC malzemelerin tespit edilmiş aşınma davranışlarını destekler nitelikte olmuştur.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Prof. Dr. Bilsen Beşergil, “Kompozit Malzemeler Giriş”, http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/1_59.html.
2. İnternet: Advanced Composite Cluster, “Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Gelişimi”, <http://accluster.com/kompozit-malzemelerin-tanimi-ve-gelisimi/> (2018).
3. Sönmez, M. “Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (41-56).
4. Ahlatcı, H. “Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-77 (2003).
5. Uygur, İ. ve Saruhan, H. “Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri” *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8.Cilt 1.Sayı: 167-174 (Mart 2004).
6. İnternet: Turkuaz, “Kompozit”, <http://knowgeee.blogspot.com/2016/08/kompozit.html>.
7. Kalemtaş, A., “Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış” *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*,: 22-28 (Aralık 2014).
8. İnternet: Mühendis Olmak, “Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları” <https://muhendisolmak.com/metal-matrisli-kompozit-lerin-uygulama-alanlari/> (2019).
9. Soy, U., “1000 Soruda Malzeme Bilimi”, Malzeme Bilimine Giriş, 2-23 Sakarya, (Eylül 2014).
10. İnternet: Uslular Haddehane, “Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri”, <https://uslularhadde.com/metal-matrisli-kompozit-malzemeler>.
11. Mindivan, H. “Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-17 (2007).

12. Ahlatcı, H. “Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 77-79 (2003).
13. Polat, S. “Alüminyum Matrisli Farklı Seramik Takviyeli Kompozitlere Grafen İlavesinin Termal ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 27-28 (2020).
14. Uygur, K. ve Saruhan, H., “Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri”, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (1): 167-168.
15. Özsarı R. B, A. “Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B4C ve SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi İçyapı, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü**, Uşak, 40-60 (2018).
16. Kalemtaş, A., “Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış” *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*,: 16-22 (Aralık 2014).
17. Mindivan, H. “Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 25-26 (2007).
18. Mindivan, H. “Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 29-30 (2007).
19. İnternet: Wikipedia, “Triboloji”, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Triboloji>.
20. İnternet: Malzeme Bilimi.Net, “Aşınma nedir? Adhezif ve Abratif Aşınma Nedir?”, <https://malzemebilimi.net/asinma-nedir-adhezif-ve-abratif-asinma-nedir.html> (2020).
21. Ahlatcı, H. “Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 95-144 (2003).
22. İnternet: Wikipedia, “Abrasyon Aşınması”, https://tr.wikipedia.org/wiki/Abrasyon_a%C5%9F%C4%B1nmas%C4%B1 (2020).
23. Topçu, İ. ve Dikici, M., “Seramik Takviyeli Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozitlerin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, *6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Antalya, 478-487 (2018).

24. Ahlatci, H., Candan, E., ve Çimenoğlu, H., "Abrasive wear behavior and mechanical properties of Al–Si/SiC composites", *Wear*, 257 (5–6): 625–632 (2004).
25. İnternet: Malzeme Bilimi.Net, “Aşınma nedir? Adhezif ve Abrazif Aşınma Nedir?”, <https://malzemebilimi.net/asinma-nedir-adhezif-ve-abrazif-asinma-nedir.html> (2020).
26. Özsarı R. B, A. “Basınçlı İnfiltasyon Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B4C ve SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi İıyapı, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü**, Uşak, 51-57 (2018).
27. Mindivan, H. “Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 107-110 (2007).
28. Polat, S. “Alüminyum Matrisli Farklı Seramik Takviyeli Kompozitlere Grafen İlavесinin Termal ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 131-132 (2020).

ÖZGEÇMİŞ

Fatma KÖZ 1995 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. İbrahim Turhan Lisesi'nden 2013 senesinde mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği lisans eğitim programına başladı. Bu süre içinde gerçekleştirdiği çalışmalar "2. ve 3. Uluslararası Demir-Çelik Sempozyumu" ve "1. Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu"nda yayınlandı. 2018 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden iyi bir derece ile mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi sırasında Karabük Üniversitesi Demir-Çelik Enstitüsü'nde yarı zamanlı öğrenci olarak MARGEM laboratuvarlarında çalıştı. Halen 2018 yılında başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine Karabük Üniversitesi bünyesinde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Menderes Mahallesi 346.Sk No:43/8 Esenler/İSTANBUL
Tel : (545) 450 54 38
E-Posta : kozfatmaa@gmail.com