

**T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALZEME BİLİMİ VE NANOTEKNOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BASINÇLI İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA2024 VE AA6061  
MATRİSLİ, B<sub>4</sub>C VE SİC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ İÇYAPI,  
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Alperen Refik Bilal ÖZSARI**

**NİSAN 2018  
UŞAK**

**T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALZEME BİLİMİ VE NANOTEKNOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BASINÇLI İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA2024 VE AA6061  
MATRİSLİ, B<sub>4</sub>C VE SİC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ İÇYAPI,  
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Alperen Refik Bilal ÖZSARI**

**NİSAN 2018**

Alperen Refik Bilal ÖZSARI tarafından hazırlanan ‘‘BASINÇLI İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA2024 VE AA6061 MATRİSLİ, B<sub>4</sub>C VE SİC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ İÇYAPI, FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ’’ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN .....

Tez Danışmanı, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim UZUN .....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN .....

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ .....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Yaser AÇIKBAŞ .....

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Eylem KILIÇ .....

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih:...../...../.....

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Alperen Refik Bilal ÖZSARI



**BASINÇLI İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA2024 VE AA6061  
MATRİSLİ, B<sub>4</sub>C VE SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ İÇYAPISI,  
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Alperen Refik Bilal ÖZSARI**

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Nisan 2018**

**ÖZET**

Bu çalışmada, %50 oranlarında B<sub>4</sub>C ve SiC partikül takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin mikroyapısı ve mekanik özelliklerine matris bileşimi ve basınç değerinin etkisi incelenmiştir. Çelik borular içerisine 50x8 mm ölçülerinde 48µm ortalama tane boyutuna sahip B<sub>4</sub>C tozları veya 37µm ortalama tane boyutuna sahip SiC tozları kullanılarak preformlar oluşturulmuştur. Hazırlanan preformlara, 800°C’de basınçlı infiltrasyon tekniği kullanılarak 7 bar ve 8 bar basınçlarda AA2024 ve AA6061 alüminyum matrisler infiltre edilmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapısı incelemeleri EDS donanımlı taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Porozite hesabı hassas teraziye entegre alkol içerisinde askı aparatlı cihaz kullanılarak yapılmıştır. Kompozit malzemelerin mikroyapısı incelemeleri, porozitelerin B<sub>4</sub>C ve SiC takviye partiküllerinin çevresinde yoğunlaşarak meydana geldiği görülmüştür. Artan basınç miktarlarıyla porozite hacim oranında düşüş sağlanmıştır. Elde edilen görüntülerde SiC partiküllü kompozit malzemelerin B<sub>4</sub>C partiküllü kompozitlere göre daha çok poroziteye sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin ise toz tane boyutundan kaynaklandığı görülmektedir.

Kompozit malzemelerinin EDS analizlerinde gri renkte intermetaliklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Matris elemanında değişen takviye elemanı ile oluşan yapısal farklılıkların tayininde X-Işını difraksiyonu (XRD) kullanılmıştır. XRD analizinde kompozit malzemelerde  $Al_4C_3$ ,  $Al_3Ti$ ,  $Al_3BC$ ,  $Al_4SiC_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Al_4C_3$ ,  $Mg_2Cu$ ,  $Al_3Cu_2$ ,  $MgCuAl_2$ ,  $CuAl_2$ ,  $Al_6Si_2O_{13}$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Mg_2Si$  gibi ikincil fazlar oluştuğu gözlemlenmiştir.

Mekanik özellikler sertlik ve basma deneyleri ile belirlenmiştir. AA2024 veya AA6061 matrisli kompozit malzemelerin sertlik deneylerinde  $B_4C$  veya  $SiC$  takviyeli kompozitlere uygulanan basınç değerlerinin artması ile sertlik değerinde büyük oranda artış gözlemlenmiştir. Basma deneyinde AA2024 veya AA6061 matrisli kompozit malzemelere takviye elemanı olarak kullanılan  $B_4C$  veya  $SiC$  takviyelerine uygulanan basınç değerinin artırılmasıyla basma mukavemetlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum sertlik sonuçlarıyla da uyumludur. Üretilen bu kompozitlerin basma mukavemetindeki bu artış porozitedeki %90'lara varan oranlardaki düşüş ve yapılarda meydana gelen ikincil fazların etkisidir. Yapılan karşılaştırmalara göre mekanik özelliklerdeki iyileşmeler basınç miktarı artması ile özelliklerin arttığı gözlemlenmiştir. Matris elemanı açısından kıyaslama yapıldığında AA6061 matrisli kompozit malzemelerin, AA2024 matrisli kompozit malzemelere göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca takviye elemanları açısından kıyaslama yapıldığında ise  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemelerin,  $SiC$  takviyeli kompozit malzemelere göre daha iyi mikroyapı ve mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler : AA6061, AA2024, Kompozit Malzeme, Basınçlı İnfiltrasyon, Mikroyapı, Mekanik Özellikler,  $SiC$ ,  $B_4C$

Sayfa Adedi : 72

Tez Yöneticisi : Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN

**ANALYSING THE EFFECT OF B<sub>4</sub>C AND SiC ON MICROSTRUCTURE,  
PHYSICAL AND MECHANIC PROPERTIES OF AA2024 AND AA6061 MATRIX  
COMPOSITES, FABRICATED FROM PRESSURE INFILTRATION**

**(M.Sc. Thesis)**

**Alperen Refik Bilal ÖZSARI**

**UNIVERSITY OF UŞAK**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED OF SCIENCE**

**April 2018**

**ABSTRACT**

In this study, the effects of matrix composition and pressure value on microstructure and physical properties of AA2024 and AA6061 matrix composites reinforced with 50% of B<sub>4</sub>C and SiC particule is examined. By using B<sub>4</sub>C and SiC particules with 48µm and 37µm average grain size respectively, 50x8 mm-sized preforms are created in 50x8mm dimension steel tubes. Using pressured infiltration technique AA2024 and AA6061 aluminum matrixes are infiltrated under 7 bar and 8 bar pressure and 800 celsius degrees temperature.

The microstructure analysis of composite materials is carried out by using EDS-equipped electron microscope (SEM). Porosity is calculated using a device with hooks which is placed in alcohol that is integrated to a precision scales. It is found that porosity is formed around the B<sub>4</sub>C and SiC particules. Volume of porosity is decreased by increasing the pressure. The results suggest that composites with SiC particule have higher porosity than the composites with B<sub>4</sub>C particules due to the grain size. EDS analysis also shows the formation of gray-colored intermetallics. The X-ray diffraction (XRD) is used in order to determine the structural differences which were caused by different reinforcement materials. XRD analysis shows the formation of secondary phases such as Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, Al<sub>3</sub>Ti,

$\text{Al}_3\text{BC}$ ,  $\text{Al}_4\text{SiC}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_4\text{C}_3$ ,  $\text{Mg}_2\text{Cu}$ ,  $\text{Al}_3\text{Cu}_2$ ,  $\text{MgCuAl}_2$ ,  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Mg}_2\text{Si}$ .

Mechanical properties are determined using hardness and compression tests. The hardness test conducted on AA2024 and AA6061 composites proves that increasing pressure on the composites with  $\text{B}_4\text{C}$  and  $\text{SiC}$  results with substantial increase in hardness value. The pressing test found that increasing pressure on  $\text{B}_4\text{C}$  and  $\text{SiC}$ , which were used to reinforce AA2024 or AA6061 composites, also increases its compression strength. These findings correspond to the results of the hardness test. The increase in compressive strength is the result of up to 90% decrease in porosity and of the secondary phases that occur in the structure. The comparison suggests that pressure increase improves the mechanical properties of matrix composites. According to the comparison between matrix materials, AA6061 matrix composites have better mechanical properties compared to AA2024 matrix composites. Additionally, the comparison between reinforcement materials shows that the composites reinforced with  $\text{B}_4\text{C}$  have better microstructure and mechanical properties than the composites reinforced with  $\text{SiC}$ .

Science Code :

Key Words : AA6061, AA2024, Composite Material, Pressure Infiltration, Microstructure, Mechanical Properties,  $\text{SiC}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$

Page Number : 72

Adviser : Assist. Prof. Dr. Kadir GÜNDOĞAN



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI, Prof. Dr. Yavuz SUN ve Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK hocalarıma ve deney çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Sefa POLAT'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017/TP020) teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olduklarını bildiğim, yaşamım ve eğitim hayatım boyunca bana olan güvenlerini hiç yitirmeyen, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER .....	4
2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri .....	8
2.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları .....	9
2.3. Metal Matrisli Kompozitler .....	10
2.3.1. MMK'ler İçin Matris Malzemeler .....	10
2.3.2. MMK'ler İçin Takviye Elemanları .....	19
2.3.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	22
2.4. Literatür Araştırması.....	35
3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	41
3.1. Deneysel Malzemeler .....	41
3.2. Deneysel Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	42
3.3. Mikroyapı Karakterizasyonu .....	44
3.4. Metalografik İncelemeler.....	44
3.4.1. XRD İncelemeleri .....	45
3.5. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu.....	45
3.5.1. Sertlik Deneyi .....	45
3.5.2. Basma Deneyi.....	46
3.6. Metalografik İnceleme Sonuçları .....	47
3.6.1. AA2024 Metal Matrisli Kompozitler.....	47
3.6.2. AA6061 Alaşım Matrisli Kompozitler.....	51
3.7. XRD Sonuçları.....	55
3.8. Mikroyapı Özellikleri .....	56
3.9. Sertlik Ölçüm Sonuçları .....	58

3.10. Matris Bileşiminin Sertliğe Etkisi .....	60
3.11. Basma Deneyi Sonuçları.....	61
3.12. Matris Bileşiminin Mukavemete Etkisi .....	63
4. GENEL SONUÇLAR.....	65
5. KAYNAKÇA.....	67



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Takviye elemanı tipine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması a) kısa fiber takviyeli, b) sürekli fiber takviyeli, c) partikül takviyeli.....	5
Şekil 2.2. Farklı malzeme sınıflarının ve metal matrisli kompozitlerin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranlarına göre performansları.....	6
Şekil 2.3. Chevrolet- Volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı (yeşil renk ile gösterilmekte).....	16
Şekil 2.4. . Otomotiv sanayisindeki kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	17
Şekil 2.5. Alüminyum ve alaşımlarının uçaklar üzerinde kullanım oranları.....	17
Şekil 2.6. Anka İnsansız hava aracında kullanılan kompozit malzemeler .....	18
Şekil 2.7. Airbus yolcu uçağı yapısında alüminyum alaşımların kullanıldığı yerler .....	19
Şekil 2.8. Havacılık ve savunma sanayilerinde kompozit malzemelerin kullanım alanları.19	
Şekil 2.9. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda takviye parçacıklarının arasındaki kılcal boşluklarda ilerlemesi .....	25
Şekil 2.10. Basınçsız infiltrasyon veya Lanxide yöntemi şekli.....	26
Şekil 2.11. Basınçlı infiltrasyon prosesleri için a) üstten doldurma, b) alttan doldurma ve c) üstten döküm yöntemlerinin şematik çizimi .....	28
Şekil 2.12. Basınçlı infiltrasyon yöntemi .....	29
Şekil 2.13. Sıkıştırılmalı döküm yöntemi .....	30
Şekil 2.14. Karıştırılmalı döküm yöntemi .....	31
Şekil 2.15. Toz metalujisi yöntemi.....	33

Şekil 2.16. Difüzyon bağlanma .....	33
Şekil 2.17. Sıcak haddeleme yöntemi.....	34
Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan infiltrasyon ünitesine ait a) makro ve b) şematik görünüm.....	42
Şekil 3.2. Numune tutucu paslanmaz çelik tüpün şematik görünümü.....	43
Şekil 3.3. Üretilen metal matrisli kompozit malzeme. ....	43
Şekil 3.4. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı EDS donanımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM) deney cihazı görüntüsü.....	44
Şekil 3.5. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı X-Işını Difraktometresi XRD deney cihazı görüntüsü.....	45
Şekil 3.6. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı Brinell sertlik deney cihazı görüntüsü.....	46
Şekil 3.7. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı basma dayanımı deney cihazı görüntüsü.....	46
Şekil 3.8. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 100X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA2024-B <sub>4</sub> C 7 bar basınç, b) AA2024-SiC 7 bar basınç, c) AA2024-B <sub>4</sub> C 8 bar basınç ve d) AA2024-SiC 8 bar basınç.....	48
Şekil 3.9. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 500X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA2024-B <sub>4</sub> C 7 bar basınç, b) AA2024-SiC 7 bar basınç, c) AA2024-B <sub>4</sub> C 8 bar basınç ve d) AA2024-SiC 8 bar basınç.....	49
Şekil 3.10. Farklı basınç değerlerinde basılan kompozit malzemelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri a) AA2024-B <sub>4</sub> C EDS analizi, b) AA2024-SiC EDS analizi.....	50
Şekil 3.11. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 100X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA6061-B <sub>4</sub> C 7 bar basınç, b) AA6061-SiC 7 bar basınç, c) AA6061-B <sub>4</sub> C 8 bar basınç ve d) AA6061-SiC 8 bar basınç.....	52

Şekil 3.12. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 500X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA6061-B <sub>4</sub> C 7 bar basınç, b) AA6061-SiC 7 bar basınç, c) AA6061-B <sub>4</sub> C 8 bar basınç ve d) AA6061-SiC 8 bar basınç.....	53
Şekil 3.13. Farklı basınç değerlerinde basılan kompozit malzemelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri a) AA6061-B <sub>4</sub> C EDS analizi, b) AA6061-SiC EDS analizi.....	54
Şekil 3.14. AA2024 matrisli B <sub>4</sub> C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin XRD desenleri analizi a) AA2024-B <sub>4</sub> C, b) AA2024-SiC.....	55
Şekil 3.15. AA6061 matrisli B <sub>4</sub> C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin XRD desenleri analizi a) AA6061-B <sub>4</sub> C, b) AA6061-SiC.....	56
Şekil 3.16. Basınca bağlı porozite değişimi a) AA2024 matrisli kompozit malzeme b) AA6061 matrisli kompozit malzeme. ....	57
Şekil 3.17. Farklı basınç oranlarında basılan kompozit malzemelerin sertlik değerlerindeki değişim grafiği a) AA2024 Matrisli kompozit malzemelerin sertlik değişim grafiği b) AA6061 Matrisli kompozit malzemelerin sertlik değişim grafiği. ....	60
Şekil 3.18. Farklı basınç oranlarında basılan kompozit malzemelerin basma dayanımı değişim grafiği a) AA2024 Matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımı grafiği b) AA6061 Matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımı grafiği.....	64

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Alüminyumun özellikleri .....	12
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımlarının simgeleme sıralaması .....	12
Çizelge 2.3. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeler ve mekanik özellikleri.....	22
Çizelge 3.1. Kullanılan matris elemanlarının kimyasal bileşimleri.....	41
Çizelge 3.2. Kullanılan matris elemanlarının mekanik özellikleri. ....	41
Çizelge 3.3. Farklı basınç oranlarında infiltrasyonla elde edilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite ve matris hacim oranları .....	50
Çizelge 3.4. Farklı basınç oranlarında infiltrasyonla elde edilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite ve matris hacim oranları. ....	54
Çizelge 3.5. Kompozit malzemelerin sertlik değerleri. ....	59
Çizelge 3.6. Kompozit malzemelerin basma dayanımları. ....	63

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>AA6061</b>	: Alüminyum 6061 alaşımı
<b>AA2024</b>	: Alüminyum 2024 alaşımı
<b>B<sub>4</sub>C</b>	: Bor Karbür
<b>SiC</b>	: Silisyum Karbür
<b>Ti</b>	: Titanyum
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Fe</b>	: Demir
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>MMK</b>	: Metal matrisli kompozit
<b>EDS</b>	: Electron Diffraction Scanning (Elektron Difraksiyon Taraması)
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>XRD</b>	: X-Ray Diffractometer (X-ışını Difraktometresi)



## 1. GİRİŞ

Uygarlık tarihi boyunca malzemenin ne kadar çok önemli olduğunu anlayabilmek için tarih çağları olarak ifade edilen taş devri, tunç devri, demir devri gibi başlıklarla anıldığını gözlemleyerek anlayabiliriz. Günümüzde malzemeler geçmişe göre yaşamımızda ve buna paralel olarak da ekonomide daha fazla önem kazanmıştır [1].

Metalurji ve Malzeme bilimi alanındaki bilimsel araştırmalar devamlı olarak malzeme özelliklerinin gelişimi ve malzemelerin performanslarını iyileştirmek için yapılan çalışmalardır. Mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikler hakkındaki bilimsel geliştirmeler, kimyasal iyileştirmeler ve geleneksel termal, mekanik ve termomekanik işlem metotlarını geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalardır. Gelişmeler daima geleneksel malzemelerin daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen, daha güçlü, daha katı ve daha hafif olma gibi özelliklerini iyileştirme ve malzemelerin özelliklerini geliştirme yönündedir. Yüksek teknoloji endüstrileri bu istekleri canlandırmaya izin vermektedir [2].

Metaller gibi klasik malzemelerin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayamamaya başlayınca daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir araştırma gelişme sürecine girilmiştir. Klasik malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıktır. Yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe, yorulma dayanımlarının artırılması, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesine imkân sağlanmıştır. Kompozit malzemeler yaygın olarak makine, askeri, deniz taşıtları, otomotiv, inşaat, havacılık ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır [3].

Kompozit malzeme tanım olarak iki veya daha fazla sayıdaki aynı veyahut farklı malzemelerin istenilen özelliklerini tek bir malzeme toplamak için makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak tanımlanırlar. Karbon elyafli plastikler, otomobil lastikleri ve sermetler gibi kompozit malzeme olarak üretilen malzemeler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Kompozit malzemeyi üç boyutlu şekilde meydana getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan özelliklerin elde edilmesidir. Diğer bir ifadeyle, istenilen özellikler doğrultusunda bileşenlerinden daha üstün özelliklere

sahip bir malzeme elde edilmesi amaçlanmaktadır. Kompozit malzemeler genellikle düşük elastikiyet modülü ve dayanıma sahip reçine veyahut metalik matris ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olarak da ifade edilen takviye elemanlarından oluşmaktadır. Karbür uçlu takımlar, yumuşak kobalt metal matris içine sert karbürlerin yerleştirilmesi ile parçacıklı bir kompozit malzeme elde edilmesi kompozit malzemelere örnek verilebilir [3].

20.yüzyılın ikinci yarısından itibaren kompozit malzemeler mühendislik uygulamalarında kullanılmaya başlanılmıştır. Çeşitli metallerin alaşımlarıyla birlikte matris malzemesi olarak kullanılması ise son yıllarda hız kazanmıştır. Bu hızlanış, metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların yoğunlaşmasını da arttırmıştır [3].

Metal matrisli kompozitler, tek başlarına istenilen özellikleri karşılayamayan metal malzemelerin, genel olarak seramik malzeme kaynaklı takviye elemanları kullanılarak oluşturulan kompozit malzeme grubu olarak adlandırılır. Örnek olarak; elektronik pazarında sürekli daha küçük ve daha verimli devrelerin üretilmesini istemektedir. Devre elemanları genel olarak yüksek yoğunluklarındaki artışa bağlı olarak ısı iletim değerlerinden dolayı ısınmasındaki olumsuzluklardan kaynaklı olarak verimlerinde azalma ve malzeme ömründe kısalma ortaya çıkmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde talep edilen özelliklerin takviye elemanlarıyla malzemeye kazandırılması neticesinde, bu malzemeleri termal uygulamalarda ve devre elemanları olarak tercih edilen malzemeler haline getirmiştir. Genellikle bu kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları metal matrise göre daha düşük ısıl genleşme katsayısına ve ısıl iletkenlik değerine sahip partiküllerdir. Farklı üretim yöntemleriyle kullanım alanına uygun olarak istenilen özelliklerin malzemeye kazandırılabilmesi özelliğinden dolayı metal matrisli kompozitler ısıl yönetim için tercih edilen en uygun malzemedir [4].

Günümüzde metal matrisli kompozit malzeme üretiminde sıvı yöntemler, partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerde oldukça tercih edilen üretim yöntemlerindedir. Genel olarak son şekle yakın üretim imkânı sağlaması, hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması gibi avantajlarından dolayı basınçlı infiltrasyon yöntemi önemli üretim tekniklerindedir. Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile metal matrisli kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak alüminyum ve magnezyum alaşımları daha

geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Bunların arasında üstün mekanik özelliklere, düşük elektrik iletkenliğine, düşük yoğunluğa, yüksek korozyon direncine ve diğer hafif metallere göre düşük maliyete sahip olmalarından dolayı martis alaşımı olarak alüminyum alaşımlarının kullanımı daha ön plana çıkarak çalışmalarda yer bulmaktadır. 2XXX (AlCuMg), 5XXX (AlMg), 6XXX (AlMgCuSi), 7XXX (AlZnMgCu) ve ayrıca ıslatılabilirlik karakteristiğinden dolayı 8XXX (AlLi) alüminyum alaşımlarından çok yaygın bir şekilde kompozit malzeme üretiminde yararlanılmaktadır [5].

Hafif metaller arasında düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci ve düşük üretim maliyeti gibi avantajları ile öne çıkan alüminyum ve alaşımları metal matrisli kompozitlerde matris elemanı olarak tercih edilmede ilk sıralarda yer almaktadır. Bu sebeplerden dolayı metal matrisli kompozit üretiminde alüminyum ve alaşımları, otomotiv, havacılık ve bilişim sektörlerinde ticari olarak kullanılmasının yanı sıra bilim adamları tarafından da farklı uygulama alanları için çalışmalarda kullanılmaktadır [4].

Bu çalışmada basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen 7 bar ve 8 bar basınç altında yüksek partikül (%50 B<sub>4</sub>C ve %50 SiC oranlarında) takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu yapıldıktan sonra mekanik (sertlik, basma) özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit, farklı kimyasal yapıdaki iki veya daha fazla sayıdaki malzemenin, sınırlarını ve özelliklerini koruyarak oluşturduğu çok fazlı olarak tanımlanabilen malzemedir. Takviye ve matris elemanı olmak üzere iki ana bileşenden oluşan yapılara kompozit malzeme olarak adlandırılır. Bileşenlerin en üstün özelliklerini ön plana çıkartıp, zayıf özelliklerini diğeri ile sağlayarak meydana getirilen kompozit malzemeler, üstün ve eşsiz fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olabilmektedirler [4]. Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin en önemlileri [9];

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısıl direnç,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm

şeklinde sıralanabilir [9].

Kompozit malzemeler birçok şekilde sınıflandırılabilir. Malzeme kombinasyonları (örneğin; metal-organik veya metal-inorganik), takviye fazların karakteristikleri (örneğin; sürekli fiber, süreksiz partiküller), fonksiyonları (örneğin; elektriksel ve yapısal) ve özellikleri ele alınarak kompozit malzemelerin birçok sınıflandırmaları yapılmıştır [6].

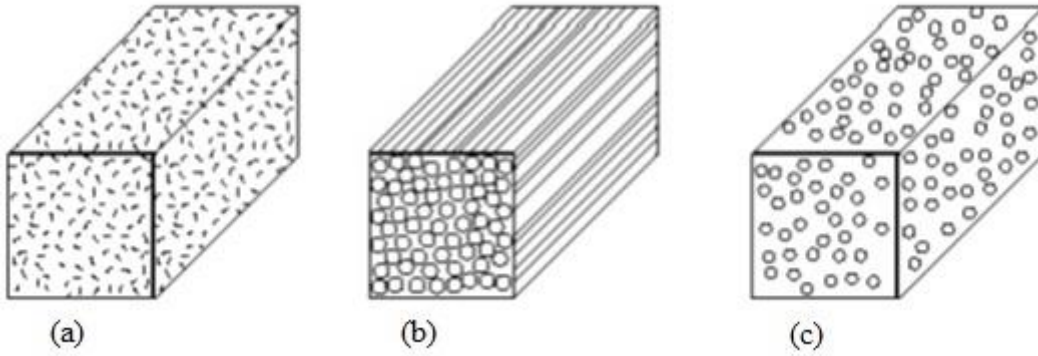
Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesine göre üç farklı şekilde sınıflandırılmaktadır [6];

- Metal matrisli kompozitler

- Seramik matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler

Takviye bileşenlerin şekline göre yapılan sınıflandırma ise şu şekildedir [6]:

- Vhisker veya Kısa fiber takviyeli kompozitler
- Tabakalı veya Sürekli fiber takviyeli kompozitler
- Partikül takviyeli kompozitler



Şekil 2.1. Takviye elemanı tipine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması a) kısa fiber takviyeli, b) sürekli fiber takviyeli, c) partikül takviyeli [6]

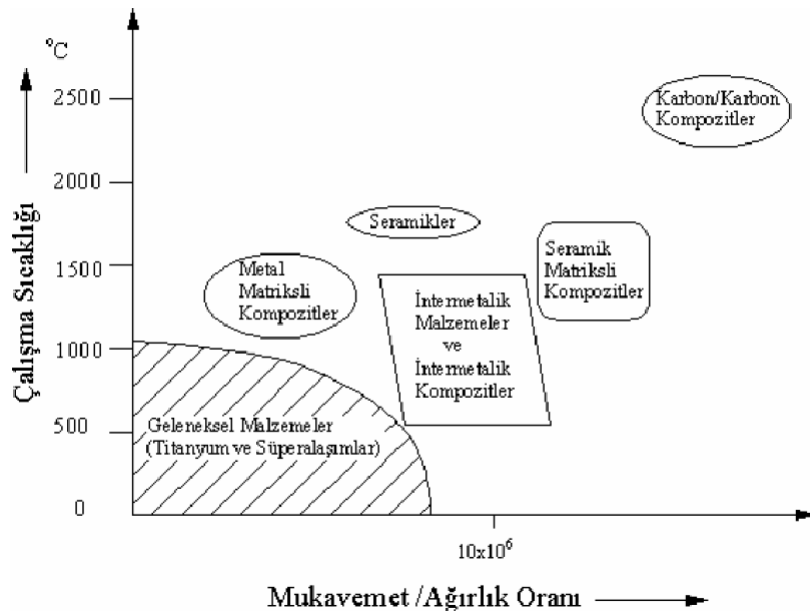
Metal matrisli kompozit malzemelerde metal ve metal alaşımları ana matris olarak kullanılmaktadır. Genellikle magnezyum, alüminyum, titanyum ve bunların alaşımları gibi düşük yoğunluklu metal ve metal alaşımları kullanılmaktadır. Bazı özgün uygulamalarda kobalt ve bakır gibi ağır metallerle de metal matrisli kompozit üretimi gerçekleştirilmektedir. Metal matrisli kompozitler matris elamanına göre 1200°C'ye kadar olan uygulama koşullarında kullanılabilir. Partikül ve kısa fiberlerin metal matrisli kompozit üretimlerinde çoğunlukla kullanılmasının yanında dayanımı ciddi oranlarda artırması nedeniyle sürekli fiberlerde kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitler için en büyük problem korozyon dayanımıdır. Metal matrisli kompozitler hâlâ geliştirme aşamasındadır. Metal matrisli kompozitler daha çok nakliye uygulamalarına yoğunlaşmakla birlikte özellikle alüminyum ve alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitler büyük oranda dikkat çekmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının oldukça yakın olan elastisite modülleri takviye elemanı ilavesiyle geliştirilebilmektedir. Metaller doğası gereği yüksek tokluk ve süneklik özelliğine sahiptir. Takviye elemanı ile elastisite modülü iyileşirken tokluk düşmektedir [4,9]. Metal matrisli kompozit

malzemelerin takviyesiz metallere ve polimer matrisli kompozitlere göre birçok avantajı mevcuttur [9].

Bunlar şu şekilde sıralayabiliriz [9];

- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin ise yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirme,
- Düşük ağırlık oranında yüksek dayanım,
- Yüksek korozyon direnci,
- Mükemmel boyutsal tamlık (tekrar üretilebilirlik gibi),
- Radyoaktif dayanıklılık,
- Çekicilik ve estetik görünüm
- Yüksek sıcaklıkta kararlılık (sürünme direnci gibi),
- İyi ısı ve elektrik iletkenliği,
- Yüksek mukavemet dayanımı (çekme, basma, yorulma, aşınma ve kayma gibi),
- Geliştirilebilir montaj kabiliyeti.

Şekil 2.2’de farklı malzeme sınıfları ile metal matrisli kompozitlerin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranlarına göre performansları gösterilmiştir [3].



Şekil 2.2. Farklı malzeme sınıflarının ve metal matrisli kompozitlerin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranlarına göre performansları [3]

Seramik matrisli kompozit malzemelerde, oksit ve oksit olmayan seramik malzemeler matris elamanı olarak kullanılmaktadır. Seramik matrisli kompozit malzemeler 1200°C'nin ve üstündeki yüksek sıcaklıklarda kullanım için uygundur. Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıklarda üretilebildikleri için oldukça pahalı bir üretim yöntemidir. Bazı durumlarda kaliteli ürün elde edilebilmesi için yüksek sıcaklıklarda yüksek basınca ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Polimer matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak termoset, termoplastik veya elastomer olabilmektedir. Üretim yönünden avantajlı olması nedeniyle genellikle termoset plastikler diğer matris malzemelerine göre daha çok tercih edilmektedir. Son yıllardaysa termoplastik polimerler nispeten yüksek tokluğu ve tekrar kullanılabilirliği özellikleri ile önem kazanmaktadır. Polimer matrisli kompozitler çok düşük sıcaklıklarda elde edilebilmektedirler ama sadece bazı özel polimerler 250°C'nin üstünde kullanılabilen fakat 350°C'nin üzerindeki sıcaklıklarında kullanımları imkân vermemektedir. Özellikle fiber kullanıldığında polimer matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri, matris elamanı olarak kullanılan polimerle kıyaslandığında büyük oranda geliştirilebilmektedir. Bu özellikleriyle metallerin kullanım alanlarında kendine oldukça geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [4].

Partikül takviyeli kompozit malzemeler, diğerlerine göre daha düşük maliyet, yüksek rijitlik ve hemen hemen izotropik özellikler sergilerken, mukavemet açısından gelişmenin az olduğu ve kopmadaki şekil değişimi ile kırılma tokluğunun düşük olduğu gözlemlenmektedir. Whisker veya kısa fiber takviyeli kompozit malzemelerse, partikül takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek maliyetli iken daha mukavemetli olduğu görülmektedir. Tabakalı veya sürekli fiber katkılı kompozit malzemeler, mukavemetin en iyi bileşimini sergilerken, özelliklerinin anizotropik olması ve kullanılan fiberlerin ve üretim sürecinin maliyetli olması, bu malzemelerin dezavantajları olarak öne çıkmaktadır [3].

Takviye boyutlarına göre kompozitler nano, mikro, makro kompozitler şeklinde sınıflandırılabilir. Makro kompozitlerde takviye malzemesinin tane boyutu milimetre seviyesindedir ve buna verilebilecek en güzel örnek çimento, kum ve çakıldan oluşan betondur. Mikro kompozitlerde ise ilave edilen takviye malzemesinin tane boyutu

mikron seviyesindedir. Örnek olarak ilk akla gelen cam ve karbon takviyeleridir. Tane boyutu nanometre seviyelerinde olan takviye malzemesi içerirse nano kompozit olarak adlandırılır. En klasik örnekler ise nanokil takviyeli ve karbon-nanotüp takviyeli polimer matrisli kompozitler verilebilir. Mikro ve nano kompozitler takviye malzemesi seviyesinde homojen değilken makro seviyesinde homojendir. Bu makro seviyede kompozitin tek bileşenli bir malzeme olarak davranması demektir [4].

## 2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler şekillendirme, mukavemet, korozyon direnci gibi pek çok avantajı özellikleriyle tasarım, iyileştirme, bakım onarım işletme, idame ve birçok aşamada daha az parça kullanımı mümkün kılmaktadır. Kullanılan parça sayısının az olması veya azaltılabilmesi sistem mühendisliği yaklaşımıyla ele alındığında bakım onarım, işletme ve idame faaliyetleri için gerekli yedek parça miktar ve çeşitliliğinin azalmasını ve sistemin veya ürünün ömür devri maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlamaktadır [27].

İnovasyon çalışmalarında yeni buluşlar ve malzeme alanındaki gelişmeler etkili olmaktadır. Malzeme bilimi birçok ana dallardan oluşmaktadır. Metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere dört ana dalda sınıflandırılmışlardır. Kompozit malzemeler ise bu sınıflandırmada ayrı bir yere sahiptir. Çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Ar-Ge çalışmalarıyla günümüzde yeni kompozit malzemeler üretilmekte ve kullanıma sunulmaktadır [9].

Kompozit malzeme üretimiyle malzemelerin mekanik özellikleri (basınç çekme, eğilme, aşınma, ısı iletkenlik, yoğunluk, yorulma, gürültü dayanımı gibi) geliştirilebilir. Bu özelliklerin hepsini bir anda geliştirebilmek imkânsızdır. Kullanım yerine ve özelliklerine göre en çok istenilen özellikler geliştirilerek en azından kullanım yerinde istenen özelliklere uygun kompozit malzeme üretilebilmektedir [9]. Kompozit malzeme üretimiyle malzemelerin şu özellikleri geliştirilebilmektedir [9];

- Yorulma, korozyon, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Akustik, termal veya elektriksel iletkenliği ve direnci,
- Elastikiyetlik özelliği,
- Mekanik dayanıklılık,
- Korozyon dayanımı,



- Kırılma tokluğu,
- Aşınma direnci,
- Görünümü,
- Rijitliği,
- Ağırlık.

## 2.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerinde kendine has birçok avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir [9];

Avantajları [9];

- Yüksek mukavemet sağlamaları,
- Paslanma problemlerinin olmaması,
- Şekillendirilebilmelerinin kolay olması,
- Yorulma direnci oldukça yüksek olması,
- Diğer malzemelere göre daha hafif olmaları,
- Çatlak ilerlemesi olayı minimize edilebilmesi,
- Titreşimleri absorbe etme özelliği sağlamaları,
- Kopma dayanımı metallere göre daha iyi olması,
- Kompozit malzemelerden bazılarının çok yüksek akma sınırı değerlerine sahip olması.

Dezavantajları [9];

- Yüksek maliyet
- Geri dönüşümlerin genellikle olmaması,
- Farklı doğrultuda farklı mekanik özellikler göstermeleri,
- Aynı kompozit malzemeler için çekme, basma, eğilme dayanım değerlerinin farklılık göstermesi,
- Üretim aşamasında nem, hava tanecikleri ve hava şartlarının kompozitlerin mekanik ve yorulma dayanımlarını olumsuz yönde etkilemesi.

### 2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler, ana yapıyı metal veya metal alaşımlarının oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da seramik veya refrakter bir takviye elemanın kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Bu kompozit malzemelerin matris malzemesi olan metal ve alaşımları ile takviye malzemesi olarak seramik veya refrakter malzemesinin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı görülmektedir. Son 45-50 yıldır metal matrisli kompozitler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürlerde olumlu şekilde yer almıştır. Fakat bunların optimum kullanım şartlarının belirlenmesinde ve pratikte uygulanmasında bazı şartlar aranır. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür [2];

- Yüksek mukavemet,
- İyi sürünme direnci,
- Yüksek elastikiyet modülü,
- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri,
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik,
- Isıl şoklar ve sıcaklık değişikliklerine karşı düşük hassasiyet,
- İyi yüzey dayanımı ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
- Tasarım, üretim, biçimlendirme, birleştirme ve son işleme bakımından mükemmel teknolojik birikim [2].

#### 2.3.1. MMK'ler İçin Matris Malzemeler

Matris malzemeleri takviye malzemesini bir arada tutarak bazı kritik fonksiyonları da yerine getirirler. Matris malzemeleri takviye elemanlarına yük paylaşımı yaparlarken, takviye elemanlarından kırılma çatlakların yayılmasını engeller ve takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona dirençlerini arttırlar. Matris malzemeleri kompozit malzemenin mekanik özelliklerini de belirler. Kompozit malzemelerde matris malzemesinden beklenen özellikler başta hafiflik olmak üzere korozyon direnci, kırılma tokluğu ve takviye elemanı ıslatabilirliği ve uyumluluğudur [2].

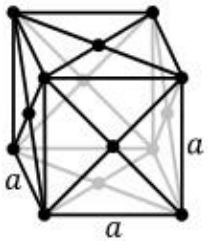
Metal matrisli kompozitler için hemen hemen bütün metaller ve alaşımları matris olarak kullanılabilir. Bunlar Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi metaller ile

bunların alaşımlarıdır. Alüminyumunun en yaygın kullanılan matris malzemesi olmasının sebebi hafifliği, işleme kolaylığı, korozyon direnci ve takviye elemanı ile uyumluluğu etkili olmuştur. Alüminyumun en büyük dezavantajı olan düşük ergime sıcaklığı nedeniyle yüksek sıcaklıklarda kullanımı sınırlamaktadır. Eğer ki yüksek sıcaklıklarda çalışılmak istenirse titanyum ve alaşımları gibi yüksek ergime derecelerine sahip olan metal veya metal alaşımları matris malzemeler olarak seçilebilir. Matris malzemesi olarak magnezyumunda her geçen gün kullanımı artmaktadır. Magnezyum ve alaşımları düşük yoğunluklarından dolayı birçok sektörde tercih edilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri kullanılmasına sınırlama getirmekle birlikte, seramik parçacıklarla kullanılarak bu sınırlamalara rağmen aşınma direnci ve genleşme özellikleri geliştirilerek mühendislik malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca matris malzemelerinin özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, kolay üretilebilirlik özelliklerinin artırılması imkânı sağlamaktadır [2,3].

#### **2.3.1.1. Alüminyum ve alaşımları**

Alüminyum, yeryüzünde en çok bulunan elementlerdendir ve yeryüzünün %8'ini oluşturmaktadır. Alüminyumun keşfedilmesi ve üretim yöntemlerindeki teknolojinin geliştirilmesi, diğer birçok metale göre yeni olmasına rağmen günümüzde diğer tüm demirden gayri (demir dışı) metallere daha fazla üretilmektedir. Alüminyum alaşımları; üstün korozyon dirençleri, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri, tedarik kolaylıkları, kolay işlenebilirlikleri, düşük yoğunlukları ve dayanımlarını arttırabilme yetenekleri sebebiyle, diğer malzemelere göre bu özellikleri ile avantaj sağlayarak teknolojik uygulamalarda kullanılır hale gelmiştir. Bu özellikler içinde en önemlisi düşük yoğunluğudur ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) ki bu değer, çelik ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ), bakır ( $8,93 \text{ g/cm}^3$ ) ve pirinç ( $8,53 \text{ g/cm}^3$ ) gibi malzemelerin yaklaşık 1/3'ne eşittir. Saf alüminyumun oksijene olan duyarlılığından dolayı saf alüminyumun döküm özelliğinin kötü olması ve mekanik özelliklerinin düşük olmasından dolayı alaşım haline getirilerek özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır [7]. Çizelge 2.1'de alüminyumun özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir [3].

Çizelge 2.1. Alüminyumun özellikleri [3]

Sembolü (Al)		Sınıfı	Metalik
		Yoğunluğu	2,70 g/cm <sup>3</sup>
		Sıvı yoğunluğu	2,375 g/cm <sup>3</sup>
		Ergime sıcaklığı	660,32 °C
		Kaynama sıcaklığı	2519 °C
		Elastik modülü	70 GPa
Malzeme adı	Alüminyum	Poisson oranı	0,35
Atom numarası	13	Mohs sertliği	2,75
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik	Termal iletkenliği	235 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Madde hali	Katı	Termal genleşme katsayısı	23,1x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Rengi	Mat gümüşümsü		

İşlenmiş alüminyum ve alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme sıralaması, Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen simgeleme sıralamasıdır. İlk olarak Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kullanılmaya başlanan bu simgeleme 1957 yılında standart hale gelmiştir. Bu simgeleme biçimi dört rakamdan oluşan bir kodlama yöntemi ile Çizelge 2.2’de gösterildiği gibidir. Çizelgede görüldüğü üzere dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtmektedir [7].

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımlarının simgeleme sıralaması [7]

SIMGE	Temel Alaşım Elementi
1xxx	----
2xxx	Bakır (Cu)
3xxx	Mangan (Mn)
4xxx	Silis (Si)
5xxx	Magnezyum (Mg)
6xxx	Magnezyum+Silis
7xxx	Çinko (Zn)
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan dizi

**a. Alüminyum 1xxx serisi**

Kimyasal özellikleri bakımından en az %99 saflıkta alüminyum içeren bu alaşımlar, empürite olarak yapısında silisyum ve demir barındırırlar. %0,12 Cu ilavesi ile dayanıklılık özellikleri iyileştirilebilir. Bu alaşımlar haddeleme işlemine tabii tutularak levha veya folyo şekline getirilerek kullanılabilirler. En çok bilinen 1XXX serisi alüminyum alaşımı 1100 alaşımının tavlama işlemine tabii tutulması ile çekme dayanımı 90 MPa olur [8].

**b. Alüminyum 2xxx serisi**

Bu seri alaşımların bileşimine bakırın yanında magnezyum ve az miktarda diğer elementlerden ilave edilir. 2XXX serisi alaşımların birim ağırlık mukavemetinin yüksek olması sayesinde uçak endüstrisi gibi alanlarda kullanılır. Katı eriyik mukavemetlenmesi ve çökelti sertleşmesi yapılarak dayanıklı bir yapıya sahip olmaları sağlanır. Özellikle sanayide en çok uygulama alanı bulan 2024 alaşımıdır. 2024-T6 alaşımı bileşiminde %4,5 Cu, %1,5 Mg, ve %0,6 Mn içerir ve çekme mukavemeti 185 MPa'dır [8].

**c. Alüminyum 3xxx serisi**

Bu serinin alaşımları iyi işlenebilir özelliğinin var olduğu yerlerde kullanılabilen genel amaçlı alaşımlardır. 3003 bu serinin en önemli alaşımıdır. Bu alaşım 1100 alaşımına %1,25 Mn ilavesi ile elde edilir. 3003 alaşımının tavllanmış halinde çekme mukavemeti 110 MPa'dır. Buradan da anlaşılacağı gibi Mn ilavesi mukavemeti artırmaktadır [8].

**d. Alüminyum 4xxx Serisi**

Bu serideki alüminyum alaşımlarına Si katılarak kaynak veya lehimleme işlemlerinde erime derecesi düşürülmekte, bu sayede alaşımın kaynak veya lehimleme kabiliyeti artmaktadır. Silisyum, alaşımın akıcılık özelliğini iyileştirmektedir. Bu sebepten döküm teknolojisinde karmaşık geometrik şekillerin üretilmesine olanak vermektedir. Genellikle 4043 alaşımı kaynak dolgu teli olarak kullanılmaktadır [8].

**e. Alüminyum 5xxx serisi**

Temel alaşım elementi olan magnezyum miktarı %5'e kadar çıkarılabileceği gibi Mg katı eriyik mukavemetlenmesi özelliği sağlamaktadır. Bu serinin sanayide en önemli

kullanılan alaşımı 5052'dir. Bu alaşım içerisinde %2,5 Mg, %0,2 Cr ihtiva eder ve tavllanmış durumdaki çekme kuvveti 193 MPa'dır [8].

***f. Alüminyum 6xxx serisi***

Mg<sub>2</sub>Si intermetalik bileşiklerindeki çökeltinin sertleştirilmesiyle dayanıklılığı yükselir. 6061 alaşımı en yaygın kullanılan alaşımıdır. Bu alaşım %1 Mg, %0,6 Si ve %0,3 Cu içerir. 6061-T6 alaşımının çekme mukavemeti 124 MPa'dır. Bu seri genel amaçlı yapı elemanı olarak otomotiv sektöründe kullanım alanı bulmaktadır [8].

***g. Alüminyum 7xxx serisi***

Bu serinin en önemli alaşım elementi çinkodur. Bu seri alüminyum, çinko, magnezyum alaşımları ile alüminyum, çinko, magnezyum, bakır alaşımları olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Uçak yapı malzemesi olarak kullanılan 7178 alaşımının minimum çekme mukavemeti 580 MPa'dır. Bu serinin alüminyum alaşımlarına bakır ilavesi ile korozyon direnci diğer serilere göre daha da düşüktür [8].

**2.3.1.2. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler ve kullanım alanları**

Alüminyum esaslı kompozit malzemeler; otomotiv, uçak-uzay, savunma ve elektronik sanayilerinde, yüksek aşınma direncine ve yüksek sıcaklık dayanımına ihtiyaç duyulan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler fren kampanaları ve pistonlarda dökme demirler yerine kullanılmakta, takviye elemanın tane boyutu artırılarak fazla sürtünme dayanımına gereksinim duyulan yerlerde ise daha uygun maliyetlerle parça imal edilebilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin en büyük avantajları fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin, uygulamaların gerektirdiği değerlere uyarlanabilir olmasıdır. Bunların başlıcaları hafiflik, yüksek elastisite modülü, yüksek çekme dayanımı, düşük termal iletkenlik iyi yorulma, abrasif ve aşınma direncidir. Örneğin Al-Si matrisli-alümina kedi bıyığı takviyeli kompozitler, takviyesiz malzemeye göre yüksek sıcaklıklardaki (250°C) çekme dayanımında %300 düzeyinde iyileşme sağlamaktadır. Elastisite modüllündeki aynı orandaki iyileşme sürekli lif takviyeleriyle sağlanabilmektedir. Seramik parçacıklarının yüzdesinin artırılmasıyla, termal genleşme katsayısı da %400 oranında düşürülebilmektedir. Mekanik özellikleri geliştirilmiş alüminyum MMK kullanılarak üretilen araçlar da ağırlığının %10 oranında düşürülmesiyle

yakıt tüketiminde %5 tasarruf sağlanmıştır. MMK'lerden üretilen makine elemanlarının bazıları, fren kampanaları, turbo kompresörler, otomotiv şasisi, piston, krank motor gövdesi, bisiklet şasisi, askeri araçlar (tank) vb.dir [29].

Alüminyum hafif bir metal olması nedeni ile, son yıllarda alüminyum matrisli kompozit malzemeler üzerinde yoğun bir araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda amaç hafif olan ve üstün özelliklere sahip yapılar elde etmektir. Alüminyum içerisine SiC, TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>C gibi seramik parçacıklar kompozit malzemenin çekme dayanımı, elastiklik sabiti, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [30].

Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitler, otomotiv ve uçak endüstrisinde fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Matris elemanına farklı takviye tane boyutu ve miktarı gibi faktörlere bağlı olarak ilave edilen takviye malzemesi ile istenilen özellikler elde edilebilir [31].

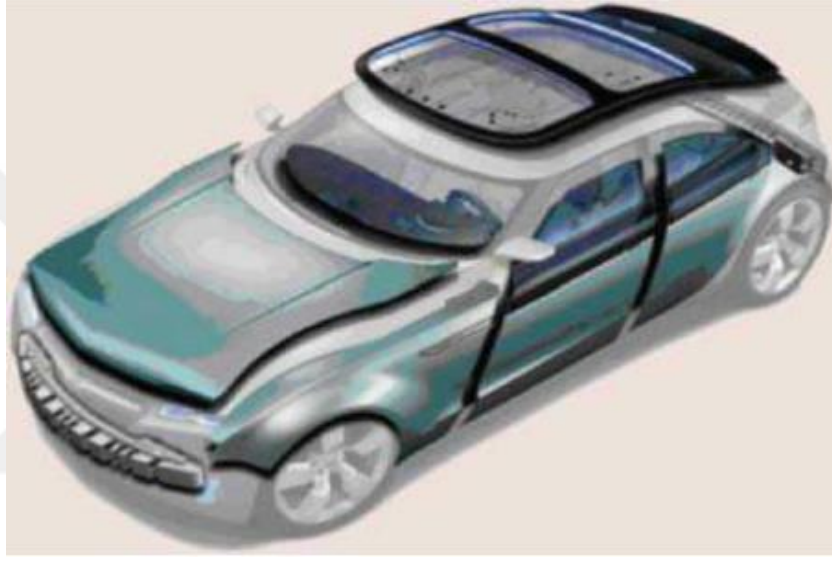
#### **2.3.1.2.1. Otomotiv endüstrisindeki uygulamaları**

Alüminyum birçok otomobil parçası için en ekonomik malzeme konumundadır. Çevreye duyarlı bir otomobil geliştirmek için daha üretim aşamasında otomobil üreticileri, üretim maliyetinde sağladığı avantajlar ve müşterinin yakıt tasarrufu isteği göz önüne alınarak alüminyum kullanılmaktadır. Otomobil üreticileri ile alüminyum imalatçıları otomobillerde alüminyum parçaların daha fazla yer alması için halen yakın işbirliği halinde çalışmaktadırlar. Önümüzdeki 10 yıl içerisinde otomotivlerde kullanılan alüminyum miktarının 2 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Alüminyum, 21.yüzyılın çevreye dost arabaları için daha çok tercih edilen malzeme olacaktır. 1970'lerde başlayan enerji krizi ile birlikte araçların hafifleştirilmesi yönünde bir eğilim olmuştur. 1980'lerde ise daha yüksek performans, daha fazla sürüş konforu, daha fazla emniyet ve kolay bakım imkanı sağlayan arabalara doğru bir trend izlemiştir. Sonuç olarak artan çevre bilinci ile otomotiv endüstrisi, otomobillerin ağırlığının azaltılması gerektiğini öncelikler listesinde ilk sıraya almıştır [32].

Otomotiv endüstrisinde ağırlığın düşürülmesi amacı ile alüminyum, kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Örneğin; Avrupa menşeli bir otomobil markasının otomobillerinde kullanılan alüminyum miktarı 65 kg civarında olup ve otomobil

endüstrisinde alüminyum kullanımı her yıl %4 büyümektedir. Örnek olarak İsveç markası olan Volvo, alüminyum miktarı 140 kg bulan modeller üretmiştir. Almanya’da ise Audi, geçmiş yıllarda A8 modelinin tamamını alüminyumdan imal etmiştir [32].

Alüminyum ve alaşımları, otomobil ve havacılık endüstrisi için mükemmel korozyon direnci, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek elektrik ve termal iletkenlik gibi özellikleri nedeniyle çok önemli bir malzemedir [11]. Şekil 2.3’de Chevrolet-Volt elektrikli araçta kompozit kullanımı verilmiştir [10].



Şekil 2.3. Chevrolet- Volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı (yeşil renk ile gösterilmekte) [10]

Otomotiv endüstrisinde kompozit malzemeler birçok uygulama sahasına sahiptirler. Bu uygulama sahaları, otomotiv dış gövde parçaları, (örneğin; kompozit malzemenin ülkemizde otomotiv endüstrisinde ilk uygulaması yerli otomobil markası olarak üretilen Anadol’un kaporta kısmında fiberglass kaportalarda kullanmıştır.), pikap, traktör ve iş makinaları kabinleri, soğutucu kamyon kasaları, makaslar, tamponlar, motor blokları, fren balataları, şaseler, amortisör yayları, tren, metro ve tramvay vagonları olarak sıralanabilir [33].

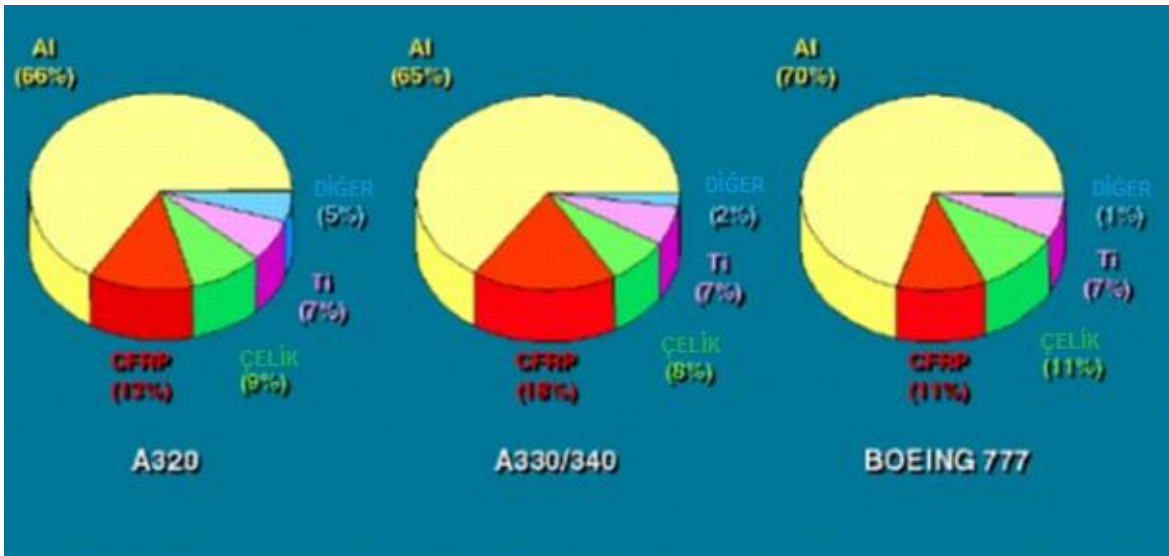




Şekil 2.4. . Otomotiv sanayisindeki kompozit malzemelerin kullanım alanları [33]

### 2.3.1.2.2. *Havacılık ve savunma sanayisi uygulamaları*

Havacılık alanında emniyet ve güvenilirlik, ani hızlanma veya yavaşlamalar, aerodinamik yükler, taşıma kuvveti, sürüklenme kuvveti, iniş sırasında maruz kalınan yükler ve aracın kendi ağırlığı gibi kuvvetler altında çalışan hava araçlarında çok önemli unsurlardır. Üretilen parçalar önceden belirlenen her türlü çalışma koşulunda kendilerinden bekleneni verebilmelidir. Dolayısıyla hava aracı üzerinde kullanılacak bir malzemenin kullanım şartlarının çok iyi bilinmesi ve bu şartlar altında özelliklerini koruyabilmesi gerekir. Günümüzde kullanılan hava araçlarının gövde yapılarının büyük bir kısmı alüminyum alaşımları kullanılarak imal edilmektedir. Alüminyum alaşımlarını pek çok uygulama için uygun ve ekonomik kılan özelliklerin başında; görünümü, hafifliği, işlenebilirliği, fiziksel ve mekanik özellikleri ve yüksek korozyon dayanımı gelir. Genel olarak yüksek sıcaklıklar için çok uygun olmayan bazı alüminyum alaşımları 300°C'ye varan sıcaklıklara kadar rahatlıkla kullanılabilir. Şekil 2.5'de farklı uçak tiplerinde kullanılan malzemeler ve oranları görülmektedir. Kullanılan malzemeler arasında en yüksek oran alüminyum alaşımlarınca oluşturulmaktadır [28].



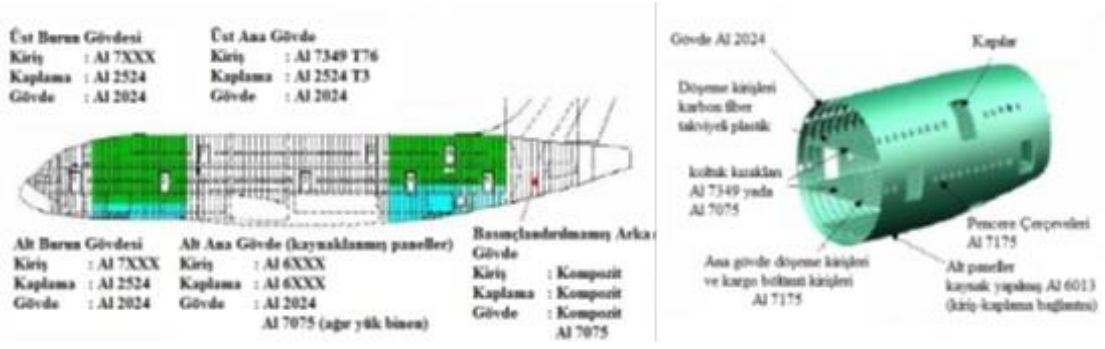
Şekil 2.5. Alüminyum ve alaşımlarının uçaklar üzerinde kullanım oranları [28]

Ülkemizdeki havacılık ve savunma sanayii alanındaki çalışmalar TUSAŞ(Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.) liderliğinde yürütülmektedir. Helikopterlerin “Glass Cockpit” uygulamaları ile ASELSAN (Askeri Elektronik Sanayi) bünyesinde yazılım ve seyr-ü sefer sistemleri tasarımı, üretimi ve entegrasyonu amacıyla projeler başlamıştır. Bu sayede geniş bir ürün hattı oluşturulmuş, başlangıçta lisans altında üretim hattı oluşturulması yönünde sonuçlar alınmaya başlanmıştır. TUSAŞ aynı zamanda JSF/F-35 müşterek taarruz uçağı projesinde görev almaktadır. Uçağın en karmaşık yapısal bölümlerinden birisi olan “orta gövde” üretimi tek kaynak olarak ülkemizde yapılmaktadır. Bunun yanı sıra kompozit komponentler, hava alığı, hava-yer harici yük taşıyıcı dünyadaki iki yükleyiciden biri olarak Türkiye’de üretilmektedir. Bu konuda yürütülen milli bütçeli diğer projeler ise Havadan Erken İhbar Uçağı (Barış Kartalı), Deniz Karakol Uçağı, İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Yeni Nesil Eğitim Uçağı (Hürkuş), T-129 Taarruz Helikopteri, Genel Maksat Helikopteri projeleridir. Anka insansız hava aracında kullanılan kompozit parçalar Şekil 2.6’da verilmiştir [10].



Şekil 2.6. Anka İnsansız hava aracında kullanılan kompozit malzemeler [10]

Airbus 380 yolcu uçağında kullanılan malzemeler Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Kullanılan malzemeler arasında en yüksek oran alüminyum alaşımları oluşturmaktadır. Airbus 380 uçağında alüminyum alaşımlarının pek çok çeşidi kullanılmaktadır. Örneğin; Airbus 380 yolcu uçağında 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Şekil 2.7’de Airbus 380 yolcu uçağı yapısında kullanılan alüminyum alaşımların kullanım yerleri görüntüsü verilmiştir [28].



Şekil 2.7. Airbus yolcu uçağı yapısında alüminyum alaşımların kullanıldığı yerler [28]

ANKA uçak yapısının kanat, gövde ve kuyruğun %90'ı karbon epoksi prepregten oluşmaktadır. Bu projelerde birçok kompozit malzeme üreticisi firmalar alt yükleyici olarak belirlenmiş ve bu firmalar akredite edilerek değerlendirilmiştir. Bugün artık kompozit malzeme üreticisi firmalar uluslararası projede yükleyici veya alt yükleyici olarak görev alarak başarılı bir performans göstermektedirler [10].

Kompozit malzemeler havacılık ve savunma sanayisinde kendilerine birçok uygulama alanı bulmuşlardır. Bunlar; hücum botlar, F-16 savaş uçakları iniş takımları, uçak kanatları, roketatar gövde kısımları, helikopter kabin ve pervaneleri, jet motorları mühimmat taşıyıcı özel sandıklar, mayın tarama gemileri, radar ve uydu haberleşme yapımında kullanılmaktadır [33].



Şekil 2.8. Havacılık ve savunma sanayilerinde kompozit malzemelerin kullanım alanları

[33]

### 2.3.2. MMK'ler İçin Takviye Elemanları

Kompozit malzemelerde takviye elemanının en büyük görevi yükü paylaşarak matrisin dayanımını arttırmaktır. Kompozitlerde takviye elemanları partikül, kısa fiberler (viskerler) veya uzun fiberler şeklinde bulunabilirler. Yüksek elastikiyet modülü, düşük yoğunluk, yüksek çekme mukavemeti, termal kararlılık, matris malzemesi ile uyumluluk takviye elemanlarından istenilen özelliklerdir.  $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$ ,  $TiB_2$ , TiN,  $ZrO_2$  ve TiC metal matrisli kompozit malzemelerde sıklıkla kullanılan takviye elemanlarıdır [2].

### **2.3.2.1. Silisyum karbür (SiC)**

Silisyum doğada en çok bulunan elementlerden biridir. Rengi koyu gridir ve normal şartlarda katı faz haldedir. Yerkabuğunun yaklaşık %25,7'si bu elementten oluşur. Tabiatta silisyum silikat asidi ve tuzları halinde bulunur ve kullanım alanı çok fazladır. Silisyum, oksijenden sonra bileşikleri halinde en fazla bulunan elementtir. Silisyum oksit ( $\text{SiO}_2$ ) doğada kum ve kuartz şeklinde bulunur [9].

Metal matrisli kompozit malzemelere katılan önemli takviye elemanlarından birisi de silisyum karbürdür. Silisyum karbür, saf silisyumun elektrikli fırınlarda silisyum dioksitin kok kömürüyle indirgenerek elde edilmesi esnasında gerektiğinden daha fazla karbon verilmesiyle oluşan bileşiktir. Yüksek mukavemet, yüksek oksitlenme direnci ve termal şok direnci gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca silisyum karbür sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımından dolayı da pişirme fırınlarında kullanılan refrakterler içinde önemli bir yere sahiptir. Balistik zırh plakalar, aşınmaya dirençli nozul, döküm filtresi, döküm potası ve seramik fırın malzemelerinde silisyum karbür bazlı malzemeler kullanılır [7].

Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı ve çok sert bir malzemedir. Seramik malzeme sınıfı içinde; yüksek aşınma dayanımı, düşük sürtünme katsayısı, yüksek ısıl şok mukavemeti, uygun ısıl genleşme ve iletkenlik katsayısı gibi üstün özellikleri nedeniyle ile gaz tribünlerinde ve aşınmaya maruz otomobil parçalarında kullanımı çok önemli olmuştur [9].

SiC, matris malzemesine kazandırdığı üstün fiziksel ve mekanik özelliklerden dolayı, alüminyum ve alüminyum alaşımlı MMK malzemelerin üretiminde çok yaygın olarak kullanılan seramik bir takviye elemanıdır [9].

### **2.3.2.2. Bor karbür ( $\text{B}_4\text{C}$ )**

Bor karbür, elmas ve kübik yapılı bor nitrürden sonra bilinen en sert (9.5+Mohs skalasında) üçüncü malzemedir. Nötron absorpsiyonu, sürünme direnci ve darbe dayanımı isteyen uygulamalar için farklı avantajlara sahip, kovalent bağlı seramik yapıdadır. Ayrıca seramiklerin en hafifidir. Bu yüzden kompozitin toplam ağırlığını arttırmadan mekanik özelliklerini geliştirmede kullanılabilir.  $\text{B}_4\text{C}$  ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken dezavantajı,  $\text{B}_4\text{C}$ 'ün yüksek sertliğinden dolayı kompozitin ekstrüzyon yapabilme

kabiliyetinin limitli olmasıdır. Tamamen yoğun mikroyapıların üretiminde karşılaşılan sorunlar ve gevrek kırılmaya karşı B<sub>4</sub>C'ün aşırı hassasiyeti bu takviye malzemesinin sahip olduğu sınırlılıklardır [7].

B<sub>4</sub>C, günümüzde ilgi çeken metal dışı sert malzemelerin (alümina, silisyum karbür, silisyum nitrür, elmas, kübik bor nitrür) arasında önemli bir yere sahiptir. Sahip olduğu yüksek ergime noktası, yüksek sertlik, iyi mekanik özellikler, düşük özgül ağırlık, kimyasal etkenlere karşı gösterdiği yüksek direnç, yüksek nötron absorblama kabiliyeti gibi özellikleriyle ileri teknoloji uygulamalarında sıklıkla tercih edilen bir malzeme olmuştur. Tüm bu avantajlarına rağmen, bor karbür malzemelerinin sahip olduğu düşük kırılma tokluğu bu tür malzemelerin en büyük dezavantajıdır. İçerik bakımından yaklaşık %80 bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktası ve iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde bor karbür daha etkin ve daha ekonomiktir. Yüksek bor içeriği, bor karbürü diğer bor bileşikleri üretmede önemli bir kaynak kılmaktadır. Elmastan ekonomik olarak daha avantajlı olmasından dolayı aşındırıcı ve parlaticı olarak da kullanılır. B<sub>4</sub>C oldukça sert ve düşük yoğunluklu bir malzemedir. Ancak; bor karbürün yaygın kullanımı, gevrek kırılmaya karşı hassasiyetinden ve tamamen yoğun, içyapı kusuru içermeyen üniform bir malzeme elde edilmesindeki zorluklardan, üretiminde kullanılan yöntemlerin hem pahalı hem de seri üretime uygun olmamasından ve bu yöntemlerin, karmaşık şekilli parçaların üretimine izin vermemesinden dolayı sınırlanmaktadır [34].

Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerinin sıvı faz üretim yöntemleri ile üretilmesi için alüminyumun B<sub>4</sub>C yüzeyini tamamen ıslattığı 1100°C'nin üzerine çıkılması gerekmektedir. Ancak bunun gibi yüksek bir sıcaklıkta alüminyum ve B<sub>4</sub>C arasında kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir ve zararlı yüksek sıcaklık fazları oluşmaktadır [35].

### **2.3.2.3. Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin özellikleri**

SiC özellikle mükemmel termal şok dayanımı, oksidasyon dayanımı, yüksek kırılma tokluğunun; B<sub>4</sub>C sertlik, aşınma dayanımı ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı SiC ve B<sub>4</sub>C tozları matris elemanı içerisine farklı üretim yöntemleriyle, farklı oranlarda takviyesiyle arzulanan özelliklerde yeni malzemeler elde edilerek değişik

amaçlar için kullanılmaktadır. B<sub>4</sub>C bu tip uygulamalar için uygun bir malzemedir ancak gevrek olması, düşük ısı dayanımı, yüksek sıcaklıklarda mukavemet azalması ve düşük termal sok dayanımı bor karbürün negatif yönleridir. B<sub>4</sub>C kompozitteki varlığı elde edilen ürünün özelliklerini etkilemektedir. Kompozitteki B<sub>4</sub>C miktarının artması sinterlenmiş üründe yoğunluğun düşmesine, oksidasyon dayanımının azalmasına ancak daha hafif bir kompozit oluşmasına yol açar. Ayrıca bu tür kompozitler yüksek ısı dayanımı ve çarpmaya karşı mukavemet sergilemektedir [36].

#### **2.3.2.4. Bor karbür-silisyum karbür kompozitlerin kullanım alanları**

Bu tür kompozit malzemeler bazı tip memelerde, türbin motorlarında, ısı ileten tüplerde, savunma sanayinde zırh yapımında ve potalarda olduğu gibi farklı uygulamalarda kullanılabilir [36].

Çizelge 2.3. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeler ve mekanik özellikleri [7]

Takviye Malzemesi	Ergime Sıcaklığı (°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup> )	Elastiklik Modülü (GPa)	Mukavemet (MPa)	Yoğunluk (x10 <sup>3</sup> kgm <sup>-3</sup> )
B <sub>4</sub> C	2420	6,08	448	2759	2,52
SiC	2750	5,40	324	-	3,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2100	7,92	379	221	3,98
SiO <sub>2</sub>	1710	< 1,08	73	-	2,66
AlN	2375	4,48	310	2069	3,26
C	-	-1,44	690	-	2,18

#### **2.3.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin metal matrisli kompozitler içerisinde daha fazla uygulama alanı bulmasının nedeni, klasik ve iyi bilinen yöntemlerle

üretimlerinin mümkün olmasıdır. Fakat bu durum, hiçbir zaman bu kompozitlerin üretiminin problemsiz ve kolay olduğu anlamına gelmemelidir. Matrisin takviye elemanlarını ıslatmaması, homojen dağılımın sağlanması, porozitelerin önlenmesi, dökümde akıcılığın sağlanması, ara yüzey reaksiyonlarının engellenmesi gibi birçok problemle karşılaşılabilir. Bu problemlerin aşılabilmesi çeşitli üretim teknikleri kullanılmakta ve bunları geliştirilmesi üzerine araştırmalar devam etmektedir. Kompozit üretim yöntemleri [3];

- a. Sıvı hal yöntemleri
- b. Katı hal yöntemleri
- c. İn-situ yöntemi
- d. Çöktürme Yöntemleri
- e. Çift-faz Üretim Yöntemleri

olmak üzere genel olarak sınıflandırılır [4].

### **2.3.3.1. Sıvı faz üretim yöntemleri**

Sıvı faz üretim yöntemi, eritilmiş matris malzemelerinin takviye elemanları ile herhangi bir yöntemle temasa geçirilerek aralarında bağ oluşturmasını sağlama işlemleridir. Genel olarak kullanılan sıvı hal üretim yöntemleri şunlardır [1,3];

1. İnfiltrasyon
2. Sıkıştırılmalı döküm
3. Basınçlı döküm
4. Yarı katı döküm
5. Karıştırmalı döküm
6. Püskürtme çökmesi

#### ***2.3.3.1.1. İnfiltrasyon yöntemleri***

İnfiltrasyon yönteminde, normal atmosferde veya vakumlanmış kalıplarda bir inert gaz yardımı ile eriyik haldeki matris metalinin takviye malzemelerinden genellikle ön şekil verilmiş preform parçalar içerisine basınçlı veya basınçsız olarak infiltre edilmesi esasına dayanır. Yöntemin verimli olması, yüksek yüzey kalitesi vermesi, nihai şekle yakın parça üretimini olanaklı kılması gibi avantajların yanı sıra, sıvı metalin bazı durumlarda çok küçük boşluklara matrisin nüfuz edememesi ve matris içerisinde fiberlerin homojen

dağılımlarının oluşmaması gibi dezavantajları olmaktadır. Katılaşma esnasında gözeneklerin yüzeyleri çekirdekleşme bölgeleri olarak davranıp ince tanelerin meydana gelmesinde yardımcı olur [1,3].

Bu yöntemde sıvı matrisin gözenekli bir yapı içerisine infiltrasyonu basınç veya vakum yardımıyla gerçekleştirilir. Ayrıca sıvı damlacıkları katıyı ıslattığı zaman dışardan bir etki olmaksızın, gözenekli bir yapı içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu meydana gelir [1,3].

Sıvı metal matrisin gözenekli seramik takviyeye infiltrasyonu, yüzeye sızma prensibine, kılcallık etkisine bağlıdır. Genellikle metal oksitlerde temas açısı 90°'den yüksektir. Bu nedenle, ıslatma kriteri olarak katı yüzeyde bulunan kılcal aralıklara ve pürüzlü yüzeylere metal sızmasını sağlamak için dış basınca ihtiyaç duyulur [1].

$$\Delta\rho = \frac{-2Df}{r} \quad (2.1)$$

Burada,  $r$ , kılcallık yarıçapı,  $Df = \gamma_{sb} \cdot \cos\theta$ ,  $\gamma_{sb}$  sıvı-buhar yüzey gerilimi, ve  $\theta$ , sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır. Liplike-Young eşitliğinden Eşlenik 2.2'de infiltrasyon için gerekli basınç;

$$\Delta\rho = \frac{2\gamma_{sb} \cdot \cos\theta}{r} \quad (2.2)$$

Burada  $r$ , kılcallık yarıçapıdır.

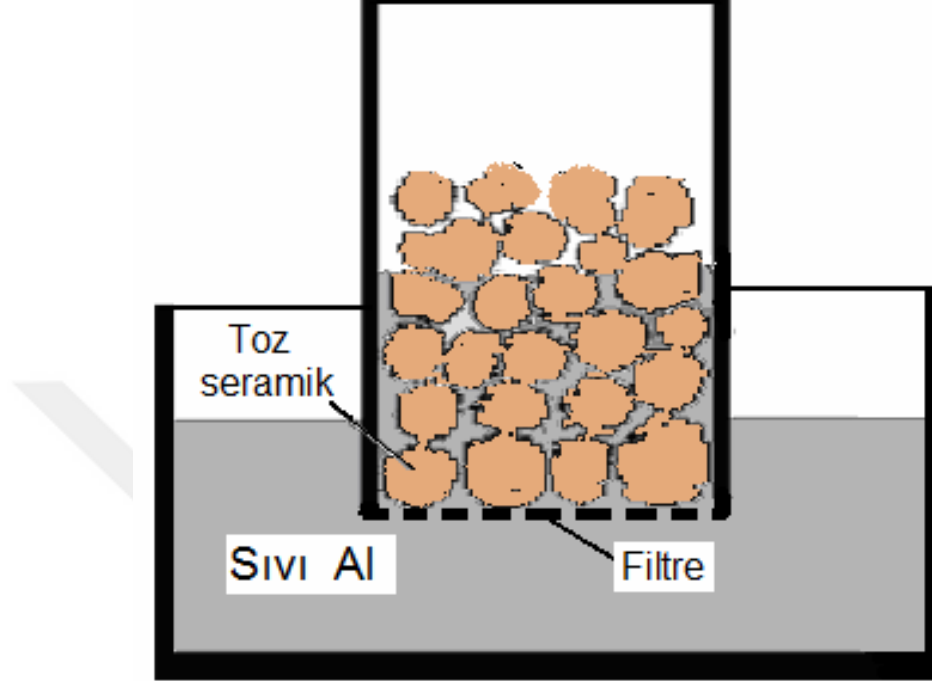
Belli takviye hacim oranında sıkıştırılmış tozlardan oluşan blok parçanın içerisine, sıvı matrisin infiltrasyonu için matematiksel ifade Eşlenik 2.3'de verilmiştir.

$$\Delta\rho = \frac{6\lambda\gamma_{sb} \cdot \cos\theta(1-w)}{d \cdot w} \quad (2.3)$$

Denklemler ile belirlenir.  $\Delta\rho$  infiltrasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli eşik basıncıdır.  $w$ , takviyedeki gözenek oranı,  $d$ , ortalama parçacık çapı,  $\gamma_{sb}$  ve  $\theta$  sırasıyla, sıvı-buhar yüzey gerilimi ve sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır.  $\lambda$  ise geometri faktörüdür. Denklem, takviye hacim oranı ve ortalama parçacık boyutunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [1,3].



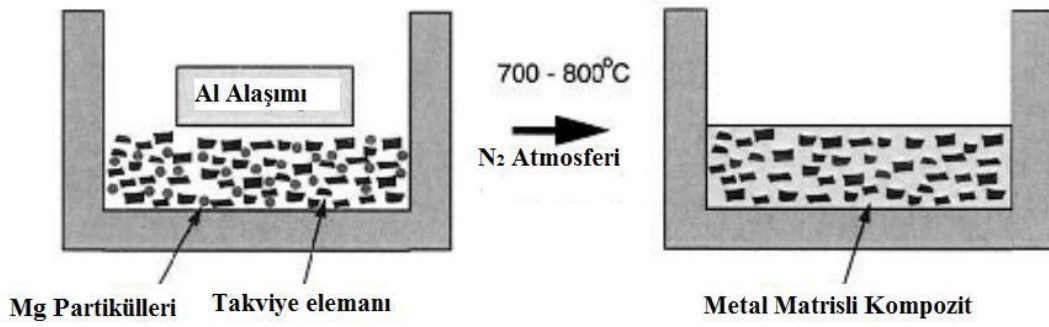
Şekil 2.9’da sıvı matrisin gözenekli bir yapıda, takviye parçacıklarının arasındaki kılcal boşluklarda ilerlemesi şematik olarak görülmektedir [1].



Şekil 2.9. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda takviye parçacıklarının arasındaki kılcal boşluklarda ilerlemesi [9]

#### 2.3.3.1.2. Basınçsız infiltrasyon

Lanxide yöntemi yada basınçsız infiltrasyon yöntemi diye adlandırılan yöntemde Şekil 2.10’da da görüldüğü gibi partikül dolgusuna Al alaşımı başka bir işleme tabi tutulmaya gerek olmadan direkt olarak infiltre edilir. Basınçsız infiltrasyonda sıvı alüminyum matrise Mg ilavesi ve azot atmosferi infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır. Basınçsız infiltrasyon yönteminde saf alüminyum kullanıldığında Al-Mg gibi alaşımlar oluşturabilmek için Mg partikülleri takviye partiküllerinin içerisine yerleştirilir. Üretim esnasında N<sub>2</sub> atmosferi kullanılarak arayüzey reaksiyonlarını minimize edilir [4].



Şekil 2.10. Basınçsız infiltrasyon veya Lanxide yöntemi şekli [4]

### 2.3.3.1.3. Basınçlı infiltrasyon

Uygulanabilmesi durumunda basınçsız infiltrasyon yöntemi birçok avantaja sahiptir. Ancak bu uygulamada matris elemanı olan sıvı metal, seramik takviye elemanlarını yeterince ıslatamamaktadır. Basınçlı infiltrasyon yöntemi bu nedenle genel olarak daha uygulanabilir hale gelmektedir [4]. Basınçlı infiltrasyon yöntemi sıvı metalin pota içerisine yerleştirilmiş basınç kabına yerleştirilen preformun içerisine argon gibi inert bir gazın uyguladığı basınç aracılığıyla infiltre edilmesi işlemidir [4].

Bu yöntemde sıvı matris, ön şekillendirilmiş blok parça veya yatak içerisine basınçlı gaz ile iletilerek kompozit malzemeler üretilmektedir [1,3,4]. Basınçlı infiltrasyon yönteminde sıcaklık ve basınç değerleri kontrol edilebilir. Diğer kompozit üretim yöntemleri göz önüne alındığında basınçlı infiltrasyon yönteminde alet ve takım masrafı daha düşüktür. Toz metalurjisi yöntemi matris ile takviye elemanın karıştırılması ve sinterlenmesi işlemlerinin masraflı ve zaman alıcı olması gibi dezavantajlara sahiptir. Sıkıştırma döküm yönteminde de üretim esnasında kullanılan yüksek basınç uygulamalarından alet ve takımların çabuk yıpranmasından kaynaklı pahalı bir üretim yöntemi olması gibi dezavantajlara sahip olmalarından dolayı bu iki yönteme göre basınçlı infiltrasyon yönteminin daha avantajlı olduğu söylenebilir [1].

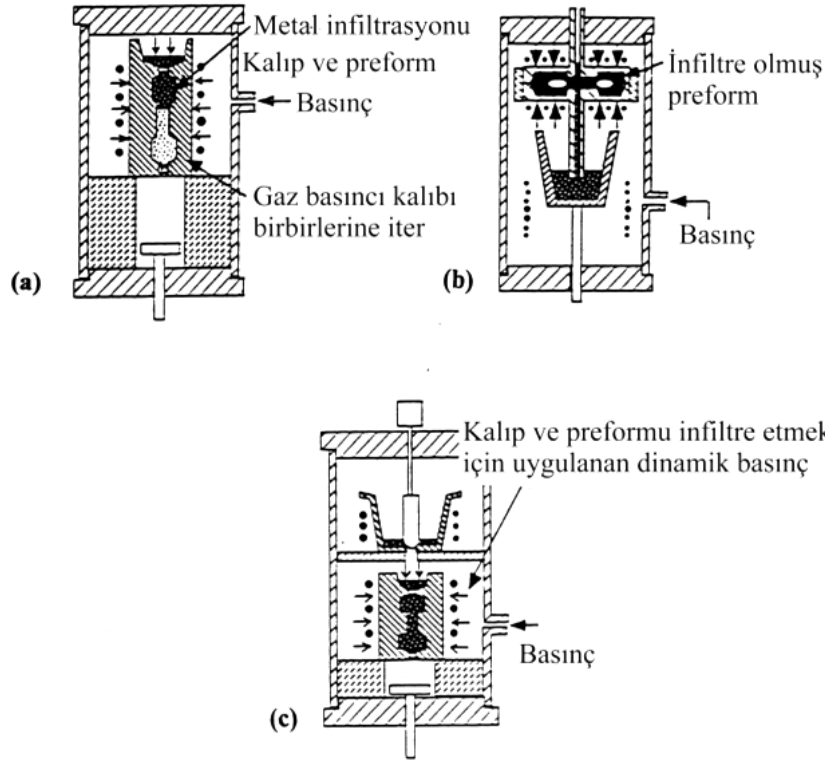
Matris ve takviyeyi birleştirmek için gerekli olan basınç seramik preformu dolduran sıvı matrisin viskozitesinin bir fonksiyonudur. Sıvı alaşım tarafından takviyenin ıslatılması sıvı matrisin kimyasal bileşimine, seramik preform malzemeye, seramik yüzey işlemlerine, yüzey geometrisine, ara yüzey reaksiyonlarına, atmosfer, basınç ve süreye bağlıdır [1,3].

İnfiltrasyon yönteminde zayıf ıslatma sorununu aşmak için uygulanan bir yöntemde, mekanik iş yaparak sıvı metali ıslak olmayan preform içine zorlamaktır. Dışarıdan uygulanan basıncın birincil amacı kılcal kuvvetleri aşmak olsa da daha yüksek basınç, artan işlem hızı, kimyasal reaksiyonların kontrol edilebilmesi, düzgün matris mikro yapısı ve katılma büzülmesini beslemesi sayesinde daha sağlam bir ürün elde edilmesi gibi ek avantajlar sağlar [3].

Şematik olarak Şekil 2.12’de gösterilen basınçlı infiltrasyon yöntemiyle, ergiyik haldeki matris belirli bir gaz basıncı yardımıyla, çelik preformların içerisine yerleştirilen takviye elemanlarına infiltre edilerek kompozit malzeme üretimi gerçekleştirir. Basınçlı infiltrasyon yönteminde infiltrasyon parametreleri, infiltrasyonun basınç değeri, takviye-hacim oranı, matris malzemesinin ön ısıtma sıcaklığı ile sıvı metal sıcaklığı, takviye elemanının tanecik boyutu ve infiltrasyon uygulama süresi işlem parametreleridir [1,3].

Yöntemin uygulamasında sıvı matris yüksek basınç kullanılarak takviye preform içine infiltre olmakta ve basınç altında katılmaktadır. Yüksek basınç katılma esnasında ortaya çıkabilecek kusurları azaltıcı etki yapmakta ve üretilen kompozitin özelliklerini iyileştirmektedir [3].

İnfiltrasyon sırasında ergiyik metal ile preform arasında tam olarak ıslatmanın sağlanamadığı durumlarda dış basınç uygulanması yapılabilmektedir. Şekil 2.11’de de görüldüğü üzere sıvı metale gaz basıncı iki farklı yöntemle üstten veya alttan uygulanarak üretim gerçekleştirilmektedir [4].



Şekil 2.11. Basınçlı infiltrasyon prosesleri için a) üstten doldurma, b) alttan doldurma ve c) üstten döküm yöntemlerinin şematik çizimi [4]

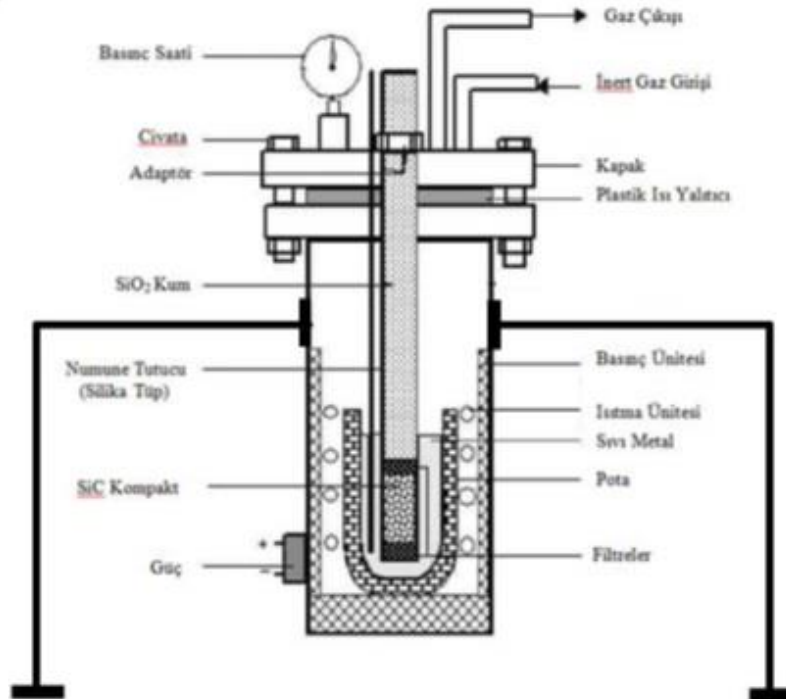
Geleneksel döküm yöntemlerine göre basınçlı infiltrasyon yönteminin yüksek maliyetli olması gibi dezavantajlarının karşın, üretim yönteminin hızlı olması, son şekle yakın malzeme üretimi gerçekleştirilebilmesi, porozite ve aglomerasyon gibi mekanik özelliklere etkileyebilecek sorunlarla karşılaşılan yüksek takviyeli kompozit malzeme üretimini sağlayabilmesi, basınç sayesinde infiltrasyon süresi kısalmasıyla takviye elemanı ile matrisin etkileşimini azaltması gibi birçok avantajı bulunmaktadır [4].

- Hızlı bir üretim yöntemi olması,
- Diğer katı faz yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha düşük maliyetli olması,
- Son şekle yakın üretimin gerçekleştirilebilmesi,
- Yüksek takviyeli kompozit üretiminde mekanik özellikleri etkileyebilecek olan porozite ve aglomerasyon gibi sorunların en aza indirilebilmesi,
- Basınç, infiltrasyonu hızlandırmakta, böylece daha kısa üretim süresine olanak sağlamakta ve takviye elemanı ile matrisin kimyasal etkileşimini azaltmaktadır.

- Matris likidüs sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıklarda da preformun infiltrasyonunu sağlamaktadır; böylece düşük sıcaklıklarda infiltrasyon gerçekleştiğinden matris ve takviye elemanı arasında kimyasal etkileşim en aza indirilmektedir.
- Matris katılaşma boşluklarını beslemek için preform içine sıvı akışını yönlendirmektedir.
- Katılaşma süresince dökümden ısı akış hızını artırmaktadır.

İnfiltrasyon prosesini etkileyen faktörler ise dört grupta sınıflandırılmaktadır [4].

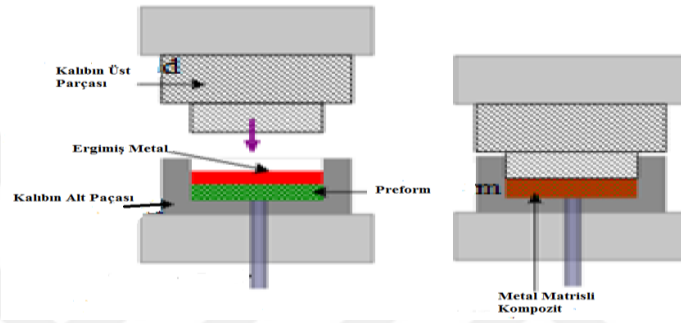
- Partikül (ortalama çapı, boyut dağılımı, şekli ve hacim oranı),
- Sıvı metal (bileşimi, yüzey gerilimi ve viskozitesi),
- Sıvı/katı arayüzeyi (temas açısı, arayüzey reaksiyonları v.b.)
- Deneysel koşullar (uygulanan basınç ve sabit basınç altında kalan süre ve infiltrasyonun gerçekleştiği atmosfer)



Şekil 2.12. Basınçlı infiltrasyon yöntemi [3]

#### 2.3.3.1.4. Sıkıştırılmalı döküm

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, takviye elemanından oluşan blok parça kalıba yerleştirilerek 70-100MPa basınç altında sıvı metalin kalıp içerisine dökülmesiyle daha sonra basınç altında katılaştırılması sağlanarak kompozit malzeme üretilmektedir. Basınç altında döküm ve katılaşmadan dolayı parçalarda gözenek, gaz boşlukları ve çekme gibi döküm hataları en aza indirilmektedir. Sistemin yüksek hidrolik basınç gereksinime ihtiyaç duyması, büyük parçaların üretimine olanak vermemesi gibi dezavantajları vardır [3].



Şekil 2.13. Sıkıştırılmalı döküm yöntemi [4]

#### 2.3.3.1.5. Basınçlı döküm

Basınçlı döküm yönteminde, sıkıştırılmalı döküm yöntemine benzer şekilde uygulanmakla birlikte kullanılan yükler daha düşüktür. Genellikle 10-15 MPa gibi basınçlar bu tür dökümler için yeterli görülmekte ve büyük boyutlu parçaların üretilmesine olanak sağlamaktadır [3].

#### 2.3.3.1.6. Savurma döküm

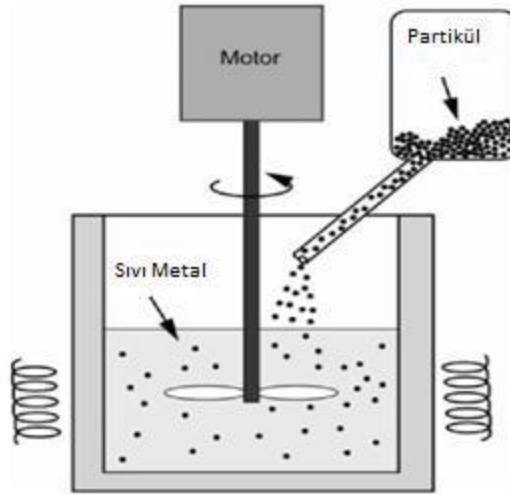
Savurma döküm yönteminde sıvı metal merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak basınç yardımıyla döner kalıp içerisine gönderilir. Döküm parçaların basınç altında yönlü katılaşması gerçekleştirilir. Çoğunlukla simetrik ve silindirik parçaların dökümü yatay eksenli olarak yapılırken, simetrik olmayan parçalar bir dikey yolluk etrafında dizilerek dökülebilirler. Gaz boşlukları ve inklüzyonlar merkezkaç kuvvetinin etkisinden dolayı iç yüzeyde toplanırlar. Segregasyon hatası genellikle yoğunluk farklılığının fazla olduğu metallerin dökümünde yaygın olarak görülmektedir [1,3].

### 2.3.3.1.7. Yarı katı döküm

Yarı katı döküm yönteminde, parçacıklar veya kısa fiberlerin ergiye katılarak karıştırılarak daha sonra yarı katı hale getirilmesiyle veya daha önceden yarı katı hale getirilmiş ergiyin içerisine takviye elemanlarının ilave edilerek dökülmesi işlemidir. Bu yöntemle parçacıkların yüzme ve çökme gibi problemlerinin en aza indirilmesine olanak sağlanmaktadır [1].

### 2.3.3.1.8. Karıştırmalı döküm

Karıştırmalı döküm yönteminde eriyik metal içerisine kontrollü olarak ilave edilen takviye elemanlarının bir karıştırıcı vasıtasıyla matris içerisinde homojen olarak dağıtılması ve kalıba dökülerek katılaştırılması esasına dayanan bir kompozit malzeme üretim tekniğidir. Yöntemin başlıca problemleri gözenek ve boşlukların meydana gelmesi olmakla birlikte homojen bir yapı elde edilebilmektedir [4].



Şekil 2.14. Karıştırmalı döküm yöntemi [4]

### 2.3.3.1.9. Püskürtme çökmesi

Püskürtme çökmesi yönteminde toz metalurjisi yöntemlerinden olan atomizasyon yöntemi ile nozulundan akan sıvı metal içerisine, takviye elemanı tozlarının katılarak atomize yapılan yarı ergiyik katı damlacıkların bir kalıp üzerinde toplanmasıyla matris ve takviye elemanları karıştırılır. Atomizasyon sırasında tozların hızlı soğumasından dolayı ince tane yapıları elde edilir. Bu yöntem genellikle alüminyum gibi ergime derecesi

nispeten düşük olan metallere uygulanmaktadır. Son ürünün şekli atomize etme şartlarına, toplayıcı kalıp şekline ve hareketine bağlıdır [1,3].

### **2.3.3.2. Katı faz üretim yöntemleri**

Katı hal üretim yöntemleri, matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtılıp farklı işlemler uygulanarak gerçekleştirilmesi esasına dayanan kompozit malzeme üretilmesi teknikleridir [3].

Katı hal üretim yöntemleri en iyi mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için özellikle de süreksiz takviyeli metal matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanılır. Bunun nedeni özellikle sıvı hal işlemleri ile karşılaştırıldığında segregasyon ve kırılğan ürün oluşumunun en az olmasıdır [3].

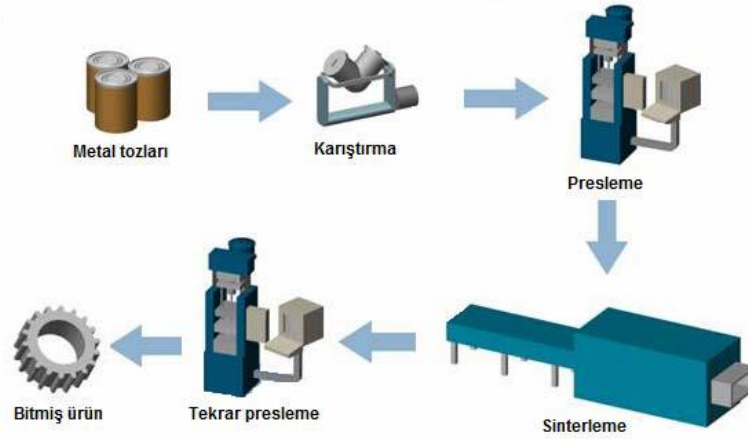
Katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları;

1. Toz metalurjisi
2. Difüzyonla birleştirme
3. Sıcak haddeleme

#### ***2.3.3.2.1. Toz metalurjisi***

Toz metalurjisi yöntemi en çok tercih edilen kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemle toz halindeki matris ve takviye tozları homojen bir dağılıma sahip olacak şekilde karıştırılarak mekanik olarak alaşımlanır ve nihai şekli oluşturmak için kalıba konularak presleme işlemine tabii tutulur. Toz metalurjisi yöntemi parçacık ve whisker takviyeli kompozit üretiminde soğuk presleme veya izostatik soğuk presleme ardından sinterleme işlemi veyahut direkt olarak sinterleme işleminin de gerçekleşebileceği sıcak presleme veya izostatik sıcak presleme işlemlerini içerir. Genellikle soğuk presleme işleminde elde edilen yoğunluk değerleri çok iyi değildir. Bu sebepten dolayı tozlar karıştırıldıktan sonra önce soğuk preste basılarak ön şekil verilir daha sonra sıcak presleme işlemi uygulanarak yoğunluk artırılırken, takviye – matris ara yüzey bağları da kuvvetlendirilir. Sonrasında gerekli son işlemler uygulanarak kompozit üretimi tamamlanır. Sinterleme sonrasında püskürtme veya haddeleme gibi ikincil işlemler son şekil verme için gerekli olabilir [3].

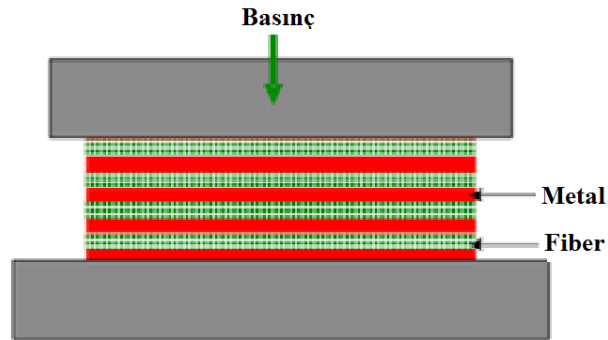




Şekil 2.15. Toz metalujisi yöntemi [9]

### 2.3.3.2.2. Difüzyonla birleştirme

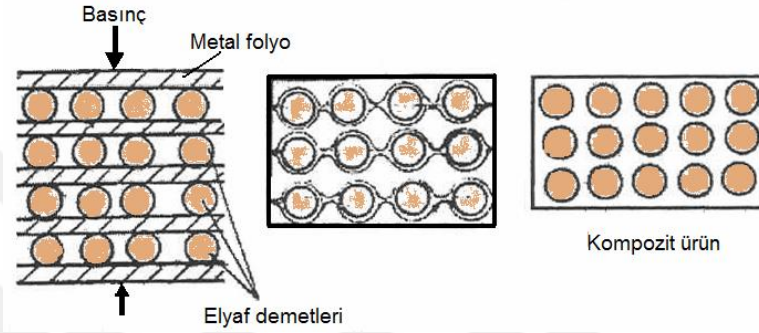
Difüzyonla birleştirme yöntemi aynı veya farklı metalleri birleştirmek için yaygın olarak kullanılan katı hal yöntemlerinden biridir. Difüzyonla birleştirme yönteminde levha veya yaprak şeklinde olan matris malzemeleri ve levha veya uzun fiber şeklinde olan takviye elemanları üst üste konularak ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta preslenerek difüzyonla birleşmeleri sağlanır. Bu teknikle fiberin yönlendirilebilmesi ve hacim fraksiyonlarının kontrol edilebilmesi ile çok geniş matris metalleri kullanılarak üretilebilmeleri en büyük avantajlarıdır. Fakat uzun işlem süreleri, işlemi pahalı hale getiren yüksek işlem sıcaklığı ve basıncı ile karmaşık şekilli parçaların üretiminde limitlerinin bulunması bu yöntemin dezavantajlarıdır. Matris ve takviye elemanlarının birleşecek yüzeylerinin oksitsiz, temiz ve düzgün olması difüzyonla birleşmeyi etkileyen ön önemli faktörlerdir [1,3].



Şekil 2.16. Difüzyon bağlanma [4]

### 2.3.3.2.3. Sıcak haddeleme

Sıcak haddeleme işlemleri difüzyonla birleştirme işlemine benzer bir yöntemdir. Bu yöntemde levha halindeki matrislerle bunların arasına konulan fiberler yüksek sıcaklıklarda haddeleme işlemi yapılır daha sonra basınç uygulama işlemi sonlanır ve termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, komple parça yavaş soğumaya bırakılır. Yöntemin geliştirilmesiyle takviye fazının hacimsel oranı %40'a kadar çıkarılmıştır [1].



Şekil 2.17. Sıcak haddeleme yöntemi [9]

### 2.3.3.3. İn-situ üretim yöntemleri

İn-situ üretim yöntemlerinde malzeme içerisinde farklı fazların oluşturulmasıyla bu fazlardan birinin veya bazılarının matris, diğerlerinin de takviye elemanı olarak davranmasıyla kompozit malzeme üretimi sağlanmış olur. İn-situ üretim yöntemlerinin başlıcaları şunlardır [1,4];

1. Ötektiklerin yönlü katılaştırılması
2. Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
3. Ekzotermik reaksiyon işlemi

### 2.3.3.4. Çöktürme yöntemleri

Kimyasal buhar biriktirme, fiziksel buhar biriktirme, elektro kaplama, daldırmalı kaplama, sprey biriktirme ve sprey şekillendirme gibi birçok biriktirme yöntemi mevcuttur. Çöktürme yöntemlerinin en önemli dezavantajı uzun süreli olmalarıdır [4].

### **2.3.3.5.Çift-faz üretim yöntemleri**

Yarı-katı döküm ve o-sprey biriktirme gibi çift fazlı üretim yöntemleri seramik ve faz diyagramında katı ve sıvı fazın bir arada bulunduğu bölgede yer alan matris elemanın karıştırılmasını içerir [4].

## **2.4. Literatür Araştırması**

Ahlatcı H., ve arkadaşları 2002 yılında yapmış oldukları çalışmada, saf Al (%99,8) matrisli ve %60 oranında SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin tane boyutunun darbe davranışı üzerine etkisini araştırmışlar elde ettikleri verilere göre SiC partiküllünün tane boyutu arttıkça kompozit malzemenin darbe dayanımının düştüğünü belirtmişlerdir. Partikül tane boyutunun artışı ile partiküllerdeki kırılma hasarının artması sonucuna varmışlardır [12].

Yang J., ve Chung D.D.L., 1989 yılında yaptıkları çalışmalarında; iki farklı bileşik döküm yöntemlerinden biri olan “rheocasting” metoduyla, Al-12Si-1,4Cu-1,3Mg alaşımına, ağırlıkça %1 ile %20 arasında değişen oranlarda yüksek sıcaklıkta kararlı, düşük ısıl genleşme katsayısına sahip, oldukça sert bir kimyasal madde olan boksiti takviye malzemesi olarak, ilave ederek kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzemedeki ağırlıkça takviye miktarı arttıkça abrasiv aşınma direncinin arttığını belirlemişlerdir. Çalışmada üretilen %20 boksit katkılı kompozit malzemenin abrasiv aşınma direnci karbon çeliği ile kıyaslandığında düşük ve orta yükler altında benzer değerler elde etmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde, çalışmada kullanılan boksitin tane boyutunun küçük olmasından dolayı numunelerin agglomerasyon gözlemlemişler lakin söz konusu topaklanmaların, kompozit malzemenin çekme gerilmesi ve aşınma direncine etkisinin düşük miktarda olduğunu belirlemişlerdir [13].

Kaçar H., ve arkadaşları 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada, AA2024 matrisli kompozit malzemelere yaşlandırma işlemi uygulayarak aşınma davranışlarını araştırmışlardır. 495°C’de solüsyona daldırıldıktan sonra su verme işlemiyle oda sıcaklığında ani soğutma işlemine tabii tutulan numuneler bir hafta boyunca oda sıcaklığında sırayla; 24 saat 120°C’de, 18 saat 150°C’de, 16 saat 160°C’de doğal yaşlandırma işlemlerine ve 2 saat 200°C’de yapay yaşlandırma işlemine tabii tutmuşlardır.

Metalografik incelemeler sonucunda  $\text{CuAl}_2$  faz çökeltilerinin ve intermetaliklerin yaşlandırma sıcaklığıyla birlikte büyümeye başladığını gözlemlemişlerdir [25].

Singh, M., ve arkadaşları 2002 yılında yaptıkları çalışmalarında; alüminyum alaşımına sillimanite partiküllerini %10 ağırlıkça ekleyerek döküm yöntemiyle ürettikleri kompozit malzemelerin abrasiv aşınma miktarını; uygulanan yük, abrasiv boyutunun değişimi ve kayma mesafesine göre incelemişlerdir. Kayma mesafesindeki artışın, kompozit malzemenin aşınma miktarını belli bir değere kadar azalttığını ve belirli bir değerden sonra kayma mesafesinin artmasının abrasiv aşınma miktarını değiştirmediğini gözlemlemişlerdir. Buna karşın uygulanan yük değerindeki artış miktarının kompozit malzemenin abrasiv aşınma miktarını arttırdığını belirlemişlerdir. Abrasiv boyutu 25  $\mu\text{m}$  için gerçekleştirilen abrasiv aşınma testinde üretilen tüm kompozitlerin aşınma miktarı alaşımın aşınma miktarından daha az olduğunu bildirmişlerdir. Abrasiv boyutuna bağlı olarak gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda, uygulanan yük miktarının düşük ve orta derecede olduğu deneylerde üretilen kompozit malzemeler yüksek değerlerde aşınma direnci göstermiş fakat uygulanan yük miktarının yüksek değerlerinde kompozit malzemenin alaşım kadar aşınma direnci göstermediğini belirlemişlerdir [14].

İpek, R., 2005 yılında yayınladığı çalışmada; A4147 alaşımlı matris malzemesine, %20 oranında SiC takviye elemanı ile %10, %15 ve %20 oranında  $\text{B}_4\text{C}$  takviye elemanı takviye etmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde sıvı hal metal matrisli kompozit üretim yöntemlerinden birini kullanmış ve kuru sürtünmeli aşınma miktarı değişimini incelemiştir. Aynı deney koşullarında A4147 alaşımında yüksek miktarda abrasiv ve adhesiv aşınma gözlemlenirken buna karşın  $\text{B}_4\text{C}$  takviyeli kompozit malzemelerde daha az miktarda adhesiv aşınma meydana geldiğini gözlemlemiştir. Matris tarafından SiC takviye elemanının ıslatılabilirliğinin artmasının kompozit malzemenin aşınma direncini arttırdığını ve yüksek ıslatılabilirlikle matris takviye arasında iyi bir yapışma meydana geldiğinden sürtünme esnasında matristen partiküllerin kopmasının zorlaşmasıyla aşınma mekanizmasının da değiştiğini belirlemiştir. Benzer koşullar altında üretilen %20 SiC ve  $\text{B}_4\text{C}$  içeren kompozitlerin aşınma miktarları karşılaştırıldığında %20  $\text{B}_4\text{C}$  içeren kompozit malzemenin, %20 SiC içeren kompozit malzemedan daha fazla aşındığını belirlemiştir [15].

Patır A., 2014 yılında yapmış olduğu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli metal matrisli kompozit malzemeleri üretmiştir. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Takviye malzemesi olarak %7, %14 ve %21 oranlarında B<sub>4</sub>C parçacıkları kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemelere takviye oranı ile yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin, sertlik ve çekme mukavemeti özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sertlik oranının %45, çekme mukavemetinin ise %105 oranında arttığı gözlemlenmiştir [26].

Zhiqiang, S., ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada; Al-Cu-Mg matrisli, Si takviyeli toz metalurjisi yöntemi ile kompozit malzeme üretmişlerdir. Sarsıntı aşınma üzerinde ring aşınma mekanizmasında, farklı çalışma şartları altında aşındırıcı olarak Cr15 çelik bilezik kullanarak kompozit malzemelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Optik mikroskop ve SEM analizleri ile aşınma yüzeylerini incelemiş, aşınma mekanizmalarını belirlemişlerdir. Aşınma deneylerin analizlerinden, matristeki kütle kaybının takviye elemanı olan silisyuma oranla çok daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir [16].

Akbulut, H., ve arkadaşları 1995 yılında yaptıkları çalışmalarında; Al-Si esaslı LM13 alaşımına 36 µm, 63 µm ve 75 µm ortalama toz boyutuna sahip α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerini %5 ve %20 arasında değişen 4 takviye hacim oranlarında ilave ederek karıştırılmalı döküm yöntemi kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzemelerin bir kısmı deneylerden önce ısıl işleme tabi tutulmuş diğer kısmına ise hiçbir işleme tabi tutulmamış şekliyle deneylere tabi tutulmuştur. Ürettikleri kompozit malzemelerin porozitelerini yoğunluklarını ölçerek hesapladıklarında, porozite miktarlarının oldukça düşük olduğunu belirlemişlerdir. Isıl işlem uygulanan ve uygulanmayan her iki gruptaki kompozit malzemelerde de, takviye elemanının toz boyutunun düşmesine karşın takviye hacim oranının artmasının, kompozit malzemenin sertlik değerinin yanı sıra maksimum çekme gerilmesini de arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Fakat ısıl işlem uygulanmış olan kompozit malzemelerin, ısıl işlem uygulanmamış kompozit malzemelere kıyasla her iki mekanik özellikteki artış hızının daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Daha hızlı artış miktarının olması nedeniyle, matris alaşımının hızını arttırmada α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksitinin etkili olmasına bağlamışlardır [17].

Şahin, Y., 1998 yılında yaptığı çalışmalarında; ortogonal deney tasarımıyla takviyenin toz boyutunun, uygulanan yükün, kayma hızının ve kayma mesafesinin, aşınma üzerine etkisini incelemiştir. Ürettiği SiC takviyeli metal matrisli kompozit malzemeye, pin-on disk yöntemini kullanarak aşınma miktarını belirleyerek varyans analizi yapmıştır. Abrasiv aşınma üzerine faktörlerin etkisini gözlemlediğinde, aşınmaya etkileri bakımından faktörleri SiC toz boyutu, uygulanan yük ve kayma hızı olarak sıralama yapmıştır. Hatta metal matrisli kompozit malzemelerin abrasiv aşınması üzerine faktörlerin ikili etkileşimlerinin orta düzeyde bir etkiye sahip olduklarını belirlemiştir [18].

Lim, C., ve arkadaşları 2003 yılında yaptıkları çalışmada; magnezyum matrisine, SiC partiküllerini takviye elemanı kullanarak ürettikleri metal matrisli kompozitlerin aşınma direncini incelemiştir. Aşınma deneylerini, aşındırıcı olarak sertleştirilmiş takım çeliği kullanarak, 10N ve 30N yükler altında 0,2 m/s ve 5 m/s kayma hızlarını uygulayarak pin-on disk cihazıyla gerçekleştirmişlerdir. Mikro yapı incelemelerinde aşınma bölgelerinde oksitlenme, tabakalaşma, abrasiv, adhesiv ve erime mekanizmaları ile aşınmanın meydana geldiğini gözlemlemiştir. Ürettikleri SiC takviyeli kompozit malzemelerinin uygulanan düşük yükler altında iyi bir aşınma direnci gösterdikleri fakat uygulanan yük miktarının artmasıyla SiC takviyeli kompozit malzemelerde aşınma miktarının arttığını belirlemiştir [19].

Akbulut, H., ve arkadaşları 1993 yılında yaptıkları çalışmalarında, LM13 alaşımına 36 µm, 63 µm ve 75 µm ortalama toz boyutuna sahip SiC partiküllerini %5 ve %20 arasında değişen takviye hacim oranlarında ilave ederek karıştırmalı döküm yöntemi kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzemelerin bir kısmına deneylerden önce ısıl işleme tabi tutularak diğer kısmına ise hiçbir işleme tabi tutulmamış şekliyle deneyler uygulamışlardır. Isıl işleme tabi tutulan ve tutulmayan numunelerin SiC tozlarının boyutlarının azalması ve takviye edilen SiC miktarı artması ile kompozit malzemelerin sertliğinin lineer olarak arttığını tespit etmişlerdir. Isıl işleme tabi tutulmamış malzemelerin diğerlerine göre artış hızının daha hızlı olduğunu belirlemiştir. Mikroyapı incelemelerinde SiC partikül boyutunun azaltılmasının homojen dağılımını azalttığını, agglomerasyonu ve poroziteyi arttırdığını belirlemiştir [20].

Özdin, K., 2006 yılında yaptığı çalışmasında; Alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozit malzemeleri basınçlı volteks metodu kullanarak elde ederek ve SiC'ün partikül

büyüklüğü ve % takviye miktarının kompozit malzemenin gözeneklilik ve aşınma dayanımına etkisini araştırmıştır. Ürettiği kompozit malzemelerin porozite miktarını değerlendirdiğinde, porozitenin çok az olduğunu, partikül oranının artması ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığını sonucuna ulaşmıştır. Hem kuru hem de sulu kayma şartlarında aşındırıcı olarak rulman çeliği kullanarak pin-on disk yöntemiyle aşınma davranışını araştırmış ve sonuç olarak, her iki aşınma deneyinde de kompozit malzemenin aşınma direncinin alüminyum alaşımına kıyasla daha yüksek olduğunu, bunun partikül yüzdesi ve partikül boyutu ile arttığını belirtmiştir [21].

Hiçyılmaz, N., 1999 yılındaki çalışmasında; 30 µm toz boyutuna sahip SiC ve 40 µm boyutuna sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerini takviye elemanı olarak kullanmış, matris malzemesi için ise saf alüminyumu 150 µm tane büyüklüğüne getirerek. Toz metalurjisi yöntemi ile değişik bileşim oranları kullanarak kompozitleri üretmiştir. Takviye hacim oranının artması mekanik mukavemetinin düşmesine neden olurken, sertlikte artış sağlamıştır. Aşınma testlerini yağ ortamında gerçekleştirdiğinde neredeyse hiç aşınma olmadığını belirtmiştir [22].

Şahin, Y., 2003 yılında yaptığı çalışmasında; inert gaz altında sıkıştırılmalı döküm metodu ile ağırlıkça %10 ve %20 ile farklı tane büyüklüklerinde SiC'le takviyelendirilmiş alüminyum alaşımlı kompozit malzemeleri üretmiştir. SiC ilave edilirken karıştırma işlemi grafit çubukla yapılmıştır. Karıştırma işleminden sonra karışım kalıba dökülerek basınç uygulamış ve kompozit malzemeyi elde etmiştir. Mikroskobik inceleme, sertlik, yoğunluk ve porozite ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kompozit malzemeyi farklı hızlarda ve derinliklerde farklı kesme takımları kullanarak kesme işlemine tabi tutmuştur. Mikroyapı incelemesinde homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Yoğunluğun azalan partikül ebadı ile düştüğü buna karşın porozite miktarının artan partikül ebadı ile azaldığını belirlemiştir. Bunlara ek olarak, bütün testlerde takım ömrünün, artan kesme hızı ile önemli derecede azaldığı tespit etmiştir. Kesme takımları arasında SiC takviyeli kompozit malzemenin işleminde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı takımın aşınma direnci performansının kırıcı çentiği olmayan diğer takımlarından daha iyi olduğunu belirlemiştir [23].

Mondal, D.P., Das, S., 2005 yılında yaptıkları çalışmada; Al alaşımlı matris malzemesi ile 25-50 ve 50-80 µm tane boyutuna sahip SiC'ü takviye malzemesi olarak kullanıp kompozit malzemeler üretmişlerdir. Yük, takviye elemanın tane boyutu ve takviye

hacim oranının değişimiyle yüksek basınçtaki abrasiv aşınma miktarının değişimi incelemişlerdir. %5-12 arasında değişen oranları takviye hacim oranı olarak kullanmişlar ve SiC'ün takviye hacim oranının artması ile abrasiv aşınma miktarının önemli miktarda düştüğünü belirlemişlerdir. Yüke bağlı olarak hem alaşımın hem de kompozit malzemenin abrasiv aşınma miktarının lineer olarak arttığını tespit etmişlerdir. Abrasiv ebadına göreyle aşınmanın sabit olduğunu fakat kritik abrasiv ebadından sonra geçiş olduğunu ve elde edilen denklemlerle, elde edilen sonuçlar ve aşınma yüzeyinin incelenmesiyle benzer olduğunu belirlemişlerdir [24].

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde bir çok çalışmada kullanılan AA2024 ve AA6061 alüminyum alaşımlarına farklı kompozit malzeme üretim yöntemleriyle takviye edilen B<sub>4</sub>C ve SiC takviye elemanlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri incelendiği görülmüştür. İncelemeler sonucunda ise B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin sabit sıcaklıkta değişken basınçlar altında üretilmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda genel olarak sadece tek takviye elemanı ile üretilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiş ve literatür araştırması ile farklı takviye elemanlarının etkileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada aynı üretim yöntemi ve üretim şartları içerisinde farklı takviye elemanlarının kompozit malzemenin mekanik ve içyapı özelliklerine etkisi net olarak incelenmiştir. Literatürdeki bu açığın giderilmesi için bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.



### 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen AA2024 ve AA6061 alüminyum alaşımları matris elemanı olarak kullanılmıştır. 8 mm çapındaki paslanmaz tüp içerisinde hazırlanan %50 oranında B<sub>4</sub>C ve SiC takviye elemanları olarak çelik preforma, matris alaşımları 7 bar ve 8 bar basınç değerleri ile infiltrasyon prosesi kullanılarak infiltre edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin öncelikle mikroyapı karakterizasyonu yani SEM, EDS ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikleri ise sertlik ve basma deneyleri incelenmiştir.

#### 3.1. Deneysel Malzemeler

AA2024 ve AA6061 alüminyum alaşımları ticari olarak Seykoç Alüminyum firmasından temin edilmiştir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de kullanılan matris elemanı olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri verilmiştir. Takviye elemanı olarak ortalama 48 µm tane boyutuna sahip B<sub>4</sub>C partikülleri ile ortalama 37 µm tane boyutuna sahip SiC partikülleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kullanılan matris elemanlarının kimyasal bileşimleri

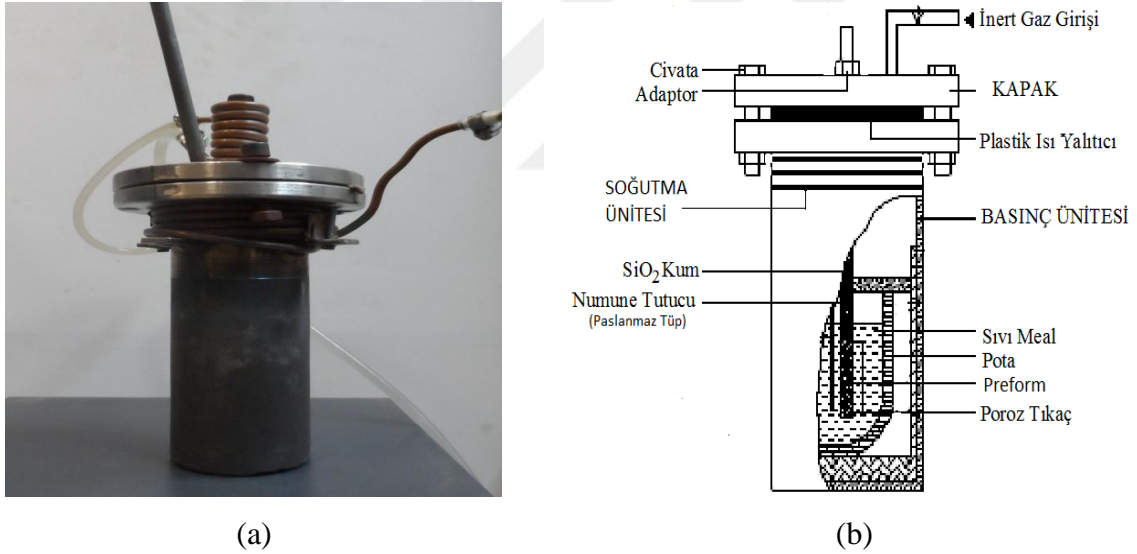
Alaşım	Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Zi+Ti	Diğer	Al
AA2024	0,5	0,5	0,1	0,3- 0,9	1,2- 1,8	0,25	3,8- 4,9	-	0,15	0,15	Kalan
AA6061	0,5	0,6- 1,0	0,1	0,2- 0,8	0,8- 1,2	0,25	0,6- 1,1	0,1	-	0,15	Kalan

Çizelge 3.2. Kullanılan matris elemanlarının mekanik özellikleri

Alaşım	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik (Brinel) min-max
AA2024	75	185	20	55
AA6061	103-228	55-124	26	30

### 3.2. Deneysel Malzemelerin Üretim Yöntemleri

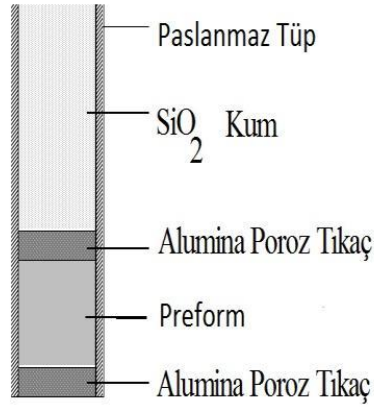
Kompozit malzemelerin üretimini gerçekleştirdiğimiz Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi olan Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK tarafından geliştirilen basınçlı infiltrasyon ünitesine ait makro şematik görünümü Şekil 3.1.'de yer almaktadır. İnfiltrasyon ünitesi 230 mm uzunluğuna, 70 mm çapına sahiptir. Şekil 3.1'de şematik görüntüsü yer alan 10 mm dış çapında, 8 mm iç çapında ve 350 mm uzunluğunda 316L kalite paslanmaz tüpler preform tutucu olarak kullanılmıştır. Paslanmaz tüpün ucu %85 poroziteye sahip alümina filtre ile kapatılmıştır. Paslanmaz tüp içerisinde takviye hacim oranı %50 olacak şekilde Ø8x50 mm uzunluğunda preformlar elle vibrasyona tabii tutulmak hazırlanmıştır. İnfiltrasyon sırasında partiküllerin homojen dağılımının bozulmaması amacıyla hazırlanan preformun üstü alümina filtreyle kapatılmış ve tüpün kalan kısmı silika döküm kum ile doldurulmuştur.



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan infiltrasyon ünitesine ait a) makro ve b) şematik görünüm

İnfiltrasyon düzeneği elektrik rezistanslı fırın içerisine yerleştirilerek, 600 gr kapasiteli bir pota içerisine parti parti olarak AA2024 ve AA6061 alaşımlar düzenek içerisine yerleştirilmiş ve düzeneğin kapağı civata yardımıyla iyice sıkılarak kapatılmıştır. Ünite ile kapak arasında plastik conta kullanılarak infiltrasyon esnasında hava kaçaklarının önlenmesi sağlanmıştır. Düzenek her şeyi ile tam olarak hazır hale getirilerek infiltrasyon

sıcaklığı olarak belirlediğimiz 800°C sıcaklığa 1 saatte çıkartılmış ve tam olarak ergimenin sağlanması amacıyla 1 saat daha bekletilerek toplamda 2 saatlik süre bekletilmiştir. Düzenek içerisinde argon gazı geçirilerek fırının ilk çalışmaya başladığı andan üretimin tamamlanmasına kadar geçen tüm süreçlerde inert bir gaz ortamının sağlanması amaçlanmıştır. Paslanmaz tüp içerisinde hazırladığımız preform, ergiyük içerisine daldırılarak sıvı metalin sıcaklığına ulaşması için 2 dakika içeride tutulmuştur. Sonra 3 dakika boyunca 7 bar ve 8 bar infiltrasyon basıncıları uygulanmış ardından argon gazı üniteden serbest bırakılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemeler infiltrasyon ünitesinden çıkarıldıktan sonra doğal soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan kompozit malzemeler torna ile paslanmaz tüpler yüzeyden temizlenmiş ve kompozit malzemeler elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Numune tutucu paslanmaz çelik tüpün şematik görünümü



Şekil 3.3. Üretilen metal matrisli kompozit malzeme

### 3.3. Mikroyapı Karakterizasyonu

Mikroyapı karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve SEM cihazına entegre enerji dağılımı spektrometresi (EDS) ve X ışınları difraksiyonu (XRD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.4. Metalografik İncelemeler

Mikroyapı incelemeleri için numuneler öncelikle uygun boyutlara gelebilmesi için hassas kesme cihazında elmas diskle kesilmiştir. Struers marka cihazla sıcak bakalite alınmıştır ve daha sonra standart metalografik prosedür uygulanarak Struers marka otomatik zımparalama-parlatma cihazında numuneler metalografik inceleme için hazır hale getirilmiştir. Mikroyapısal incelemeler enerji dağılımı spektrometresi (EDS) donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.4. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı EDS donanımlı taramalı elektron mikroskobu (SEM) deney cihazı görüntüsü

### 3.4.1. XRD İncelemeleri

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



Şekil 3.5. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı X-Işını Difraktometresi XRD deney cihazı görüntüsü

### 3.5. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri sertlik deneyi ve basma deneyi oda sıcaklığında yapılarak tayin edilmiştir.

#### 3.5.1. Sertlik Deneyi

Metalografik prosedürler uygulanarak hazırlanan numunelere, makrosertlik cihazında Brinell batıcı uç ile sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sertlik deneyi 62,5 kg yük altında 15 saniye süreyle, her bir numuneden 7 adet ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri hesaplanarak sertlik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı Brinell sertlik deney cihazı görüntüsü

### 3.5.2. Basma Deneyi

Zwick/Roell Z600 marka test cihazı ile cihazın çene hızı 30 mm/saat olarak seçilerek basma deneyi 8 mm çapında ve 14 mm yüksekliğinde numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



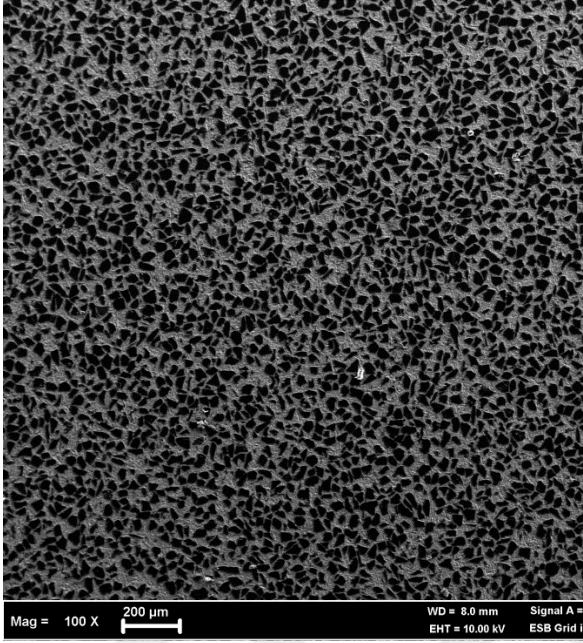
Şekil 3.7. Kompozit malzemelerin analizlerinin yapıldığı basma dayanımı deney cihazı görüntüsü

### 3.6. Metalografik İnceleme Sonuçları

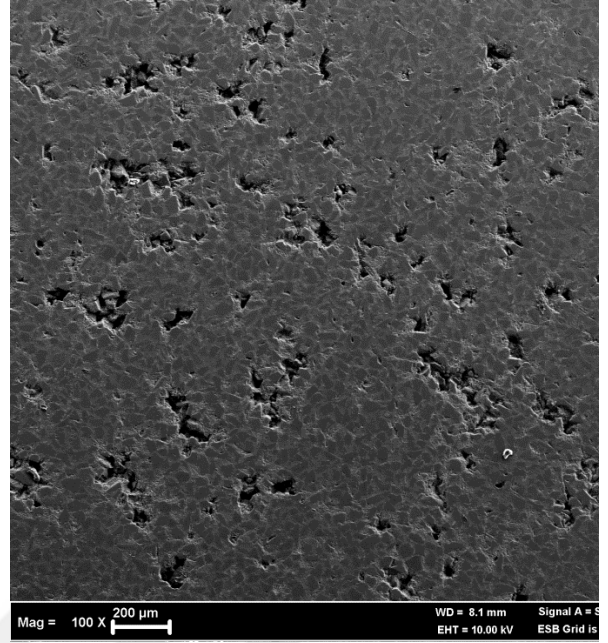
Ortalama 48 µm tane boyutu ile %50 hacim oranına sahip B<sub>4</sub>C partikül takviyeli ve ortalama 37 µm tane boyutu ile %50 hacim oranına sahip SiC partikül takviyeli sırayla 7 bar ve 8 bar basınç altında infiltrasyon işlemi gerçekleştirilerek üretilen AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri aşağıda verilmiştir.

#### 3.6.1. AA2024 Metal Matrisli Kompozitler

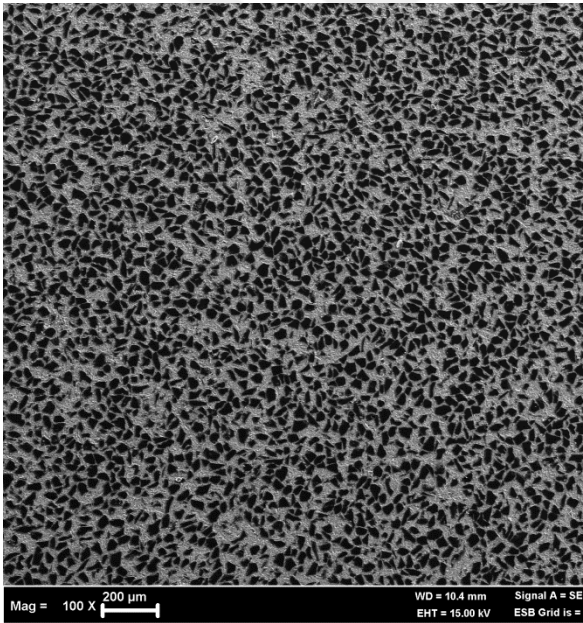
Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da, sırayla 7 bar ve 8 bar basınçlarla, ortalama 48 µm boyutlarında B<sub>4</sub>C partikülleri ve ortalama 37 µm tane boyutunda SiC partikülleri ile takviye edilmiş AA2024 matrisli kompozit malzemelerin düşük ve yüksek büyütmelelerdeki mikroyapı görüntülerini göstermektedir. Mikroyapısal incelemelerden, genel olarak partikül dağılımının uniform olduğu, matris içerisinde topaklanma sorunun gözlemlenmediği anlaşılmaktadır. Ancak porozitelerin genellikle partiküller etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. 8 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitler malzemelerde ve 7 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerde sadece takviye elemanı etrafında çok az miktarlarda küçük boyutlarda porozitelerin oluştuğu görülmektedir. Aynı şekilde 8 bar basınç altında infiltrasyon yöntemiyle üretilen AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise takviye elemanı etrafında olmak üzere az miktarda ve küçük boyutlarda poroziteler görülmektedir. 7 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise çoğunlukla takviye elemanı etrafında olmak üzere biraz daha fazla miktarda ve daha büyük boyutlarda porozitelerin meydana geldiği görülmektedir. Çizelge 3.3'de AA2024 matrisiyle üretilen kompozit malzemelere ait takviye, matris ve porozite hacim oranları verilmiştir. B<sub>4</sub>C takviye partiküllü kompozit malzemelerde takviye hacim oranı yaklaşık %50 olup, 7 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %1,69 olan porozite değeri 8 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %0,01'e düşüş göstermiştir. Aynı şekilde SiC takviye partiküllü kompozit malzemelerde takviye hacim oranı da yaklaşık %50 olup, 7 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %2,27 olan porozite değeri 8 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %1,00'e düşüş göstermiştir.



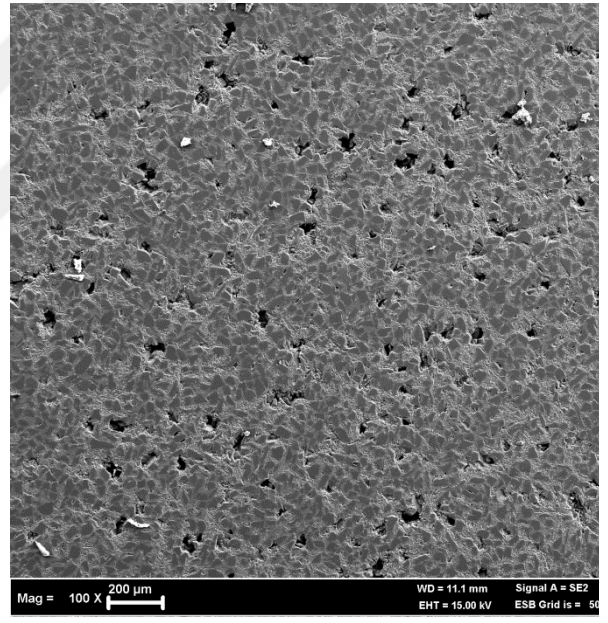
(a)



(b)



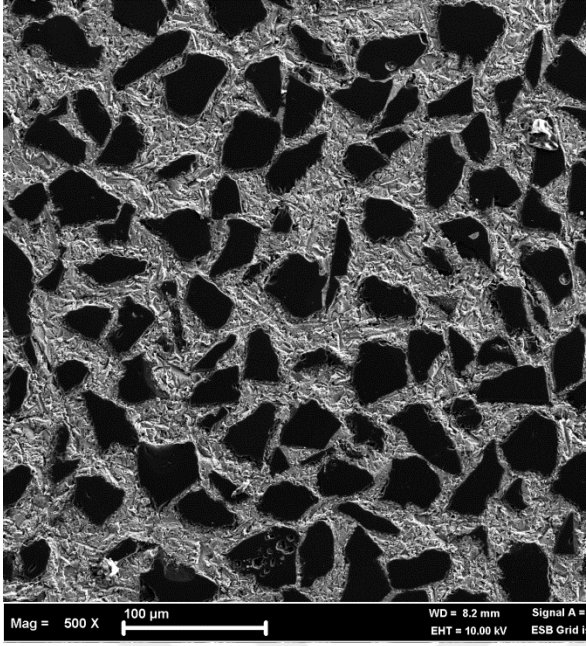
(c)



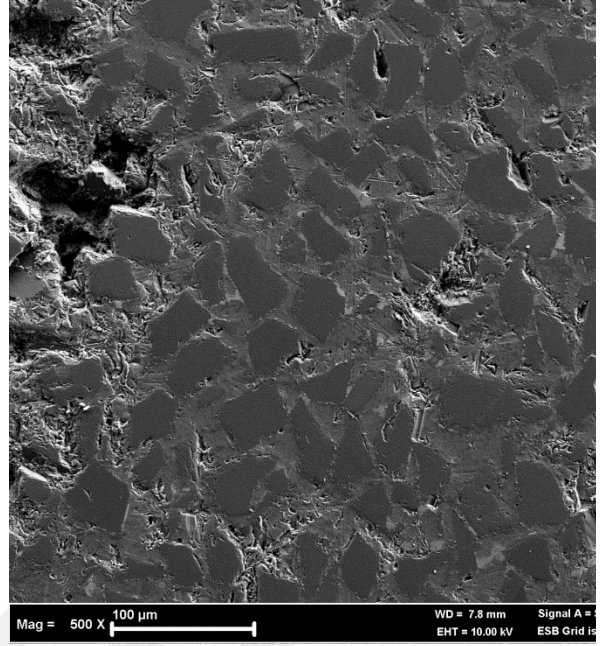
(d)

Şekil 3.8. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 100X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA2024-B<sub>4</sub>C 7 bar basınç, b) AA2024-SiC 7 bar basınç, c) AA2024-B<sub>4</sub>C 8 bar basınç ve d) AA2024-SiC 8 bar basınç

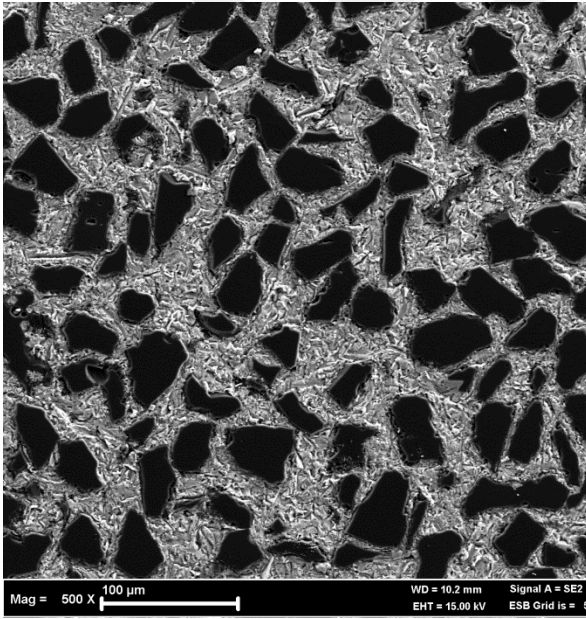




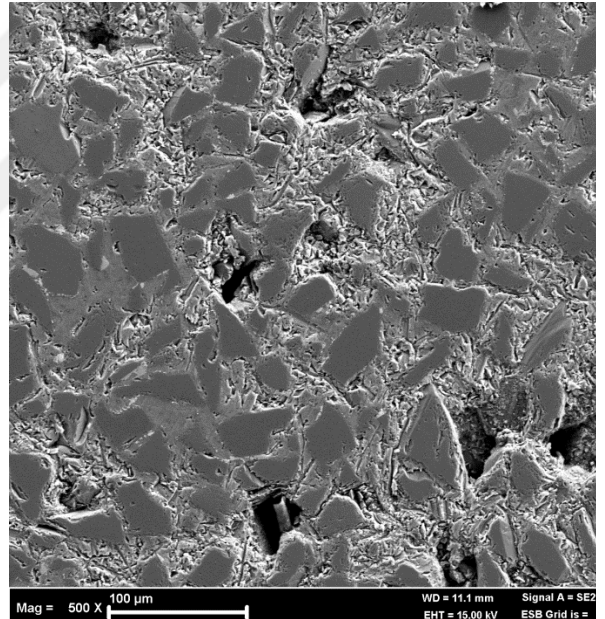
(a)



(b)



(c)

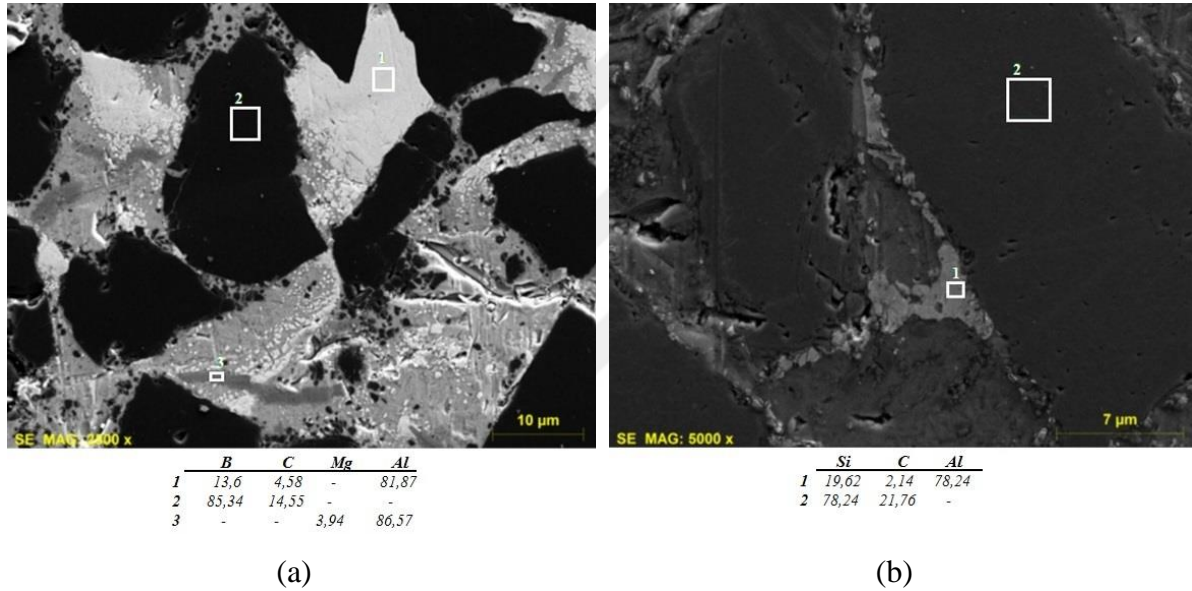


(d)

Şekil 3.9. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 500X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA2024-B<sub>4</sub>C 7 bar basınç, b) AA2024-SiC 7 bar basınç, c) AA2024-B<sub>4</sub>C 8 bar basınç ve d) AA2024-SiC 8 bar basınç

Çizelge 3.3. Farklı basınç oranlarında infiltrasyonla elde edilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite ve matris hacim oranları

Matris	Basınç Miktarı	Hacim Oranı %			
		B <sub>4</sub> C	SiC	Matris	Porozite
AA2024	7	50	-	50	1,69
AA2024	7	-	50	50	2,27
AA2024	8	50	-	50	0,01
AA2024	8	-	50	50	1,00



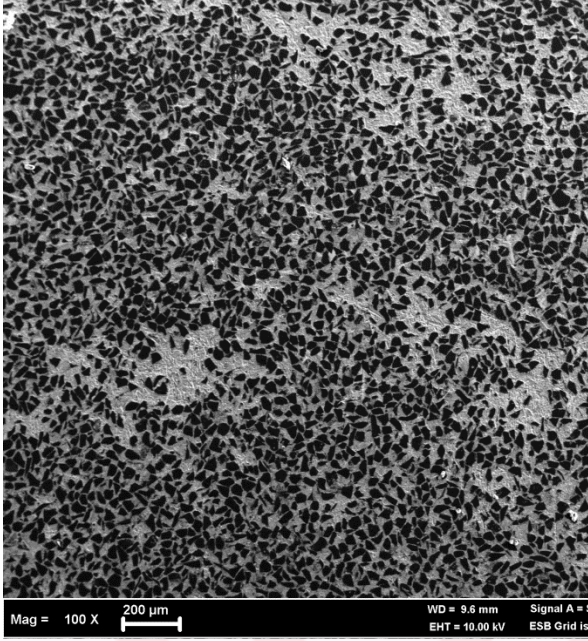
Şekil 3.10. Farklı basınç değerlerinde basılan kompozit malzemelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri a) AA2024-B<sub>4</sub>C EDS analizi, b) AA2024-SiC EDS analizi

Şekil 3.10'da B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli AA2024 matrisli kompozitlere ait SEM fotoğrafları ve belirli bölgelerden alınan EDS analizleri görülmektedir. Şekil 3.10.a'da verilen B<sub>4</sub>C takviyesi ile üretilen kompozit malzemenin SEM fotoğraflarından, takviye matris arayüzeyinde gri renkli keskin uçlara sahip intermetaliklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu intermetalikler üzerinden alınan EDS sonuçlarına göre (1) nolu bölgede %81,87 Al, %13,6 B ve %4,58 C içeriği tespit edilmiştir. (2) nolu bölgenin ise %85,34 B ve %14,55 C içerdiği görülmüştür. (3) nolu bölgede ise %86,57 Al ve %3,94 Mg içeriği sonucuna varılmıştır. Şekil 3.10.b'de ise verilen SiC takviyesi ile üretilen kompozit malzemenin SEM fotoğraflarından, takviye matris arayüzeyinde intermetaliklerin oluştuğu

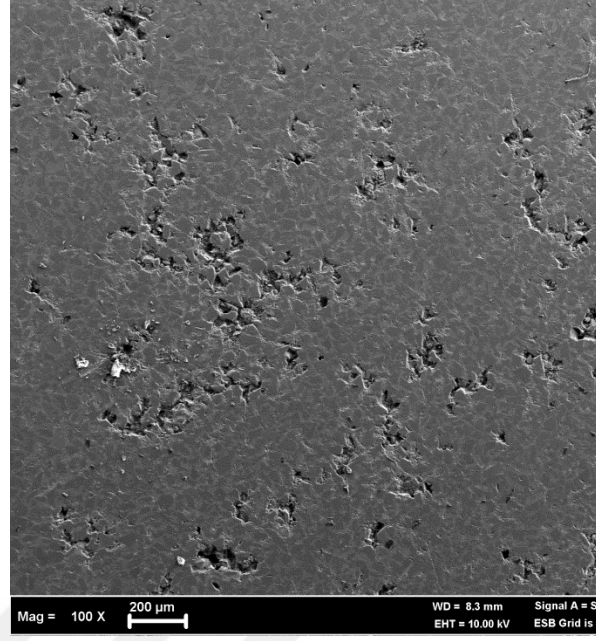
gözlemlenmiştir. Bu intermetalikler üzerinden alınan EDS sonuçlarına göre (1) nolu bölgede %78,24 Al, %19,62 Si ve %2,14 C içeriği tespit edilmiştir. (2) nolu bölgenin ise %70,80 Si ve %30,20 C içerdiği görülmüştür.

### 3.6.2. AA6061 Alaşım Matrisli Kompozitler

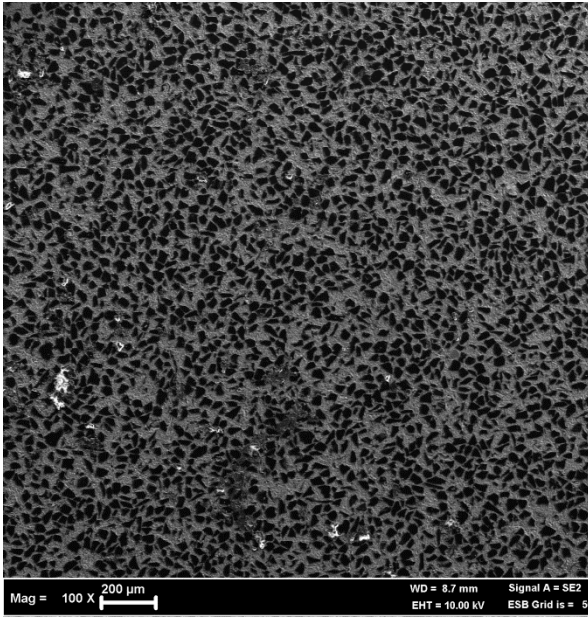
Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de, sırayla 7 bar ve 8 bar basınçlarla, ortalama 48 µm boyutlarında B<sub>4</sub>C partikülleri ve ortalama 37 µm tane boyutunda SiC partikülleri ile takviye edilmiş AA6061 matrisli kompozit malzemelerin düşük ve yüksek büyütmelelerdeki mikroyapı görüntülerini göstermektedir. Mikroyapısal incelemelerden, genel olarak partikül dağılımının uniform olduğu, matris içerisinde topaklanma sorunun gözlemlenmediği anlaşılmaktadır. Ancak porozitelerin genellikle partiküller etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. 8 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerde ve 7 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerde sadece takviye elemanı etrafında çok az miktarda ufak porozitelerin oluştuğu görülmektedir. Aynı şekilde 8 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise takviye elemanı etrafında olmak üzere daha az miktarda ve küçük boyutlarda poroziteler görülmektedir. 7 bar basınç altında infiltrasyon yapılmış AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise yine çoğunlukla takviye elemanı etrafında olmak üzere biraz daha fazla miktarda ve daha büyük boyutlarda porozitelerin meydana geldiği görülmektedir. Çizelge 3.4’de AA6061 matrisiyle üretilen kompozit malzemelere ait takviye, matris ve porozite hacim oranları verilmiştir. B<sub>4</sub>C takviye partiküllü kompozit malzemelerde hacim oranı yaklaşık %50 olup, 7 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %1,29 olan porozite değeri 8 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %0,01’e düşüş göstermiştir. Aynı şekilde SiC takviye partiküllü kompozit malzemelerde hacim oranı da yaklaşık %50 olup, 7 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %2,26 olan porozite değeri 8 bar basınç değerinde infiltrasyon yapılarak üretilen kompozit malzemede %0,63’e düşüş göstermiştir.



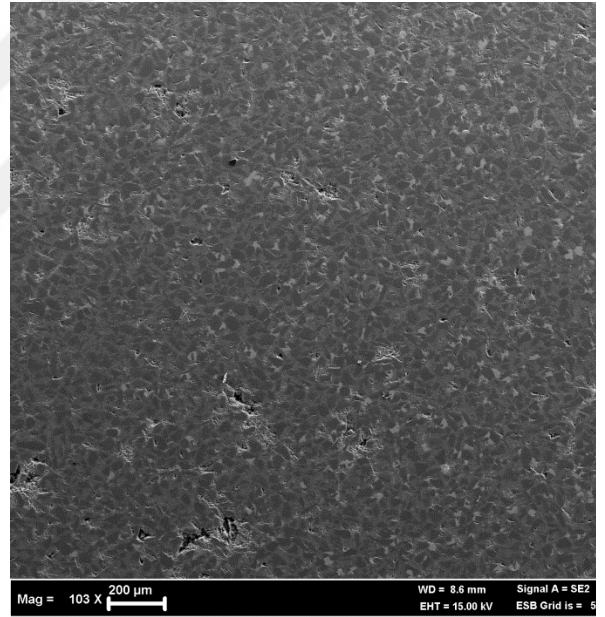
(a)



(b)

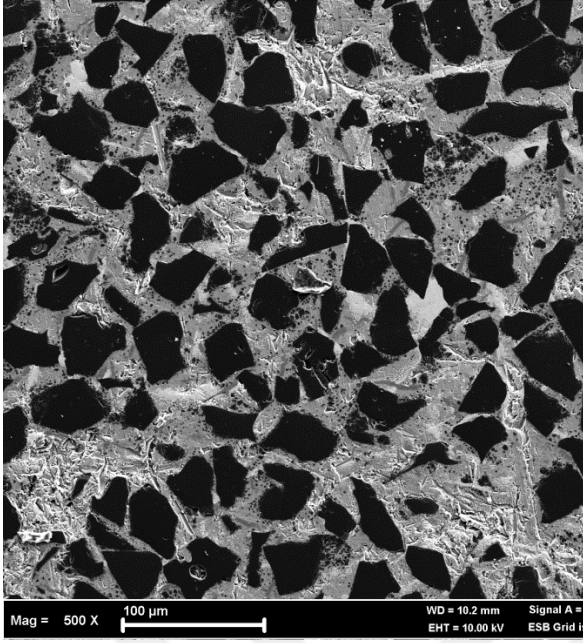


(c)

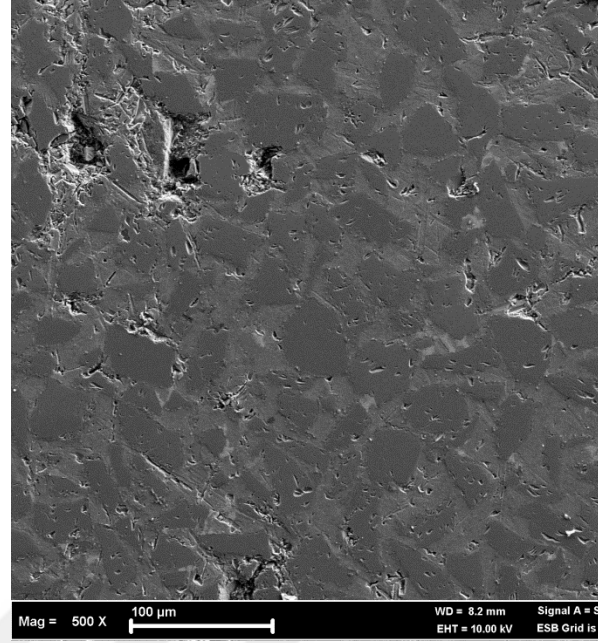


(d)

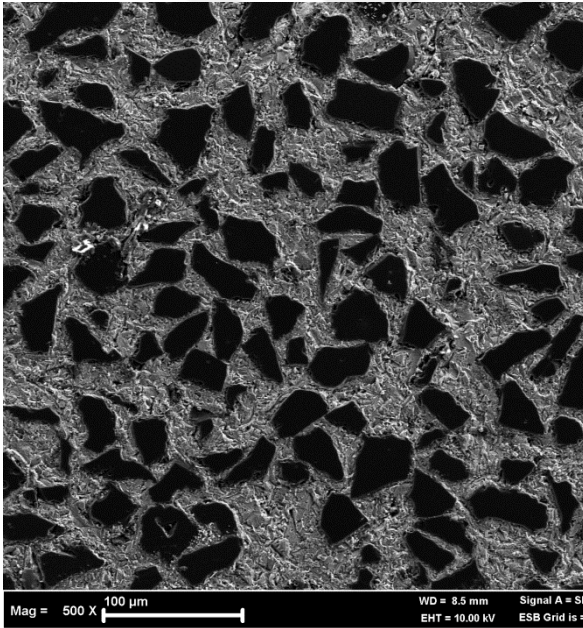
Şekil 3.11. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 100X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA6061-B<sub>4</sub>C 7 bar basınç, b) AA6061-SiC 7 bar basınç, c) AA6061-B<sub>4</sub>C 8 bar basınç ve d) AA6061-SiC 8 bar basınç



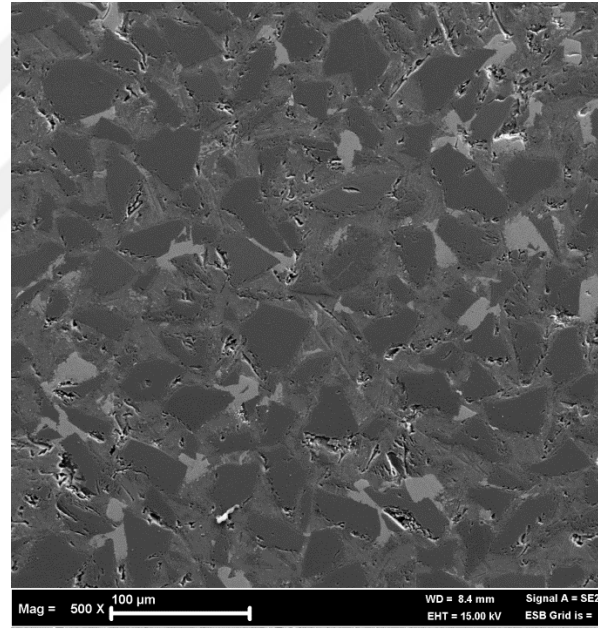
(a)



(b)



(c)

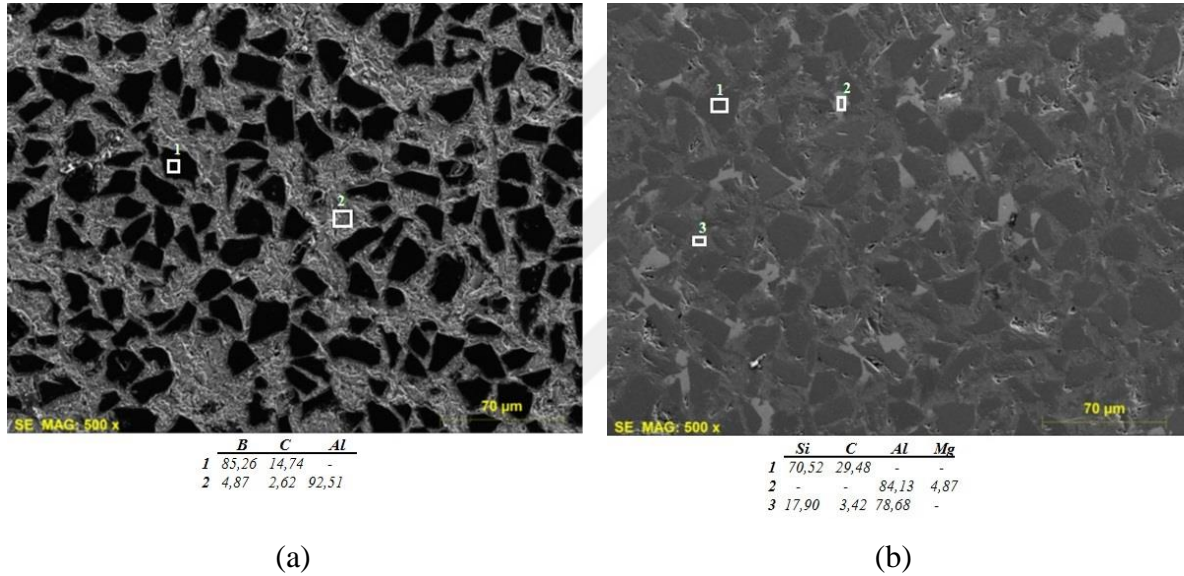


(d)

Şekil 3.12. Farklı basınç oranlarında infiltrasyon yapılan kompozit malzemelerin 500X büyütmede SEM görüntü analizleri a) AA6061-B<sub>4</sub>C 7 bar basınç, b) AA6061-SiC 7 bar basınç, c) AA6061-B<sub>4</sub>C 8 bar basınç ve d) AA6061-SiC 8 bar basınç

Çizelge 3.4. Farklı basınç oranlarında infiltrasyonla elde edilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite ve matris hacim oranları

Matris	Basınç Miktarı	Hacim Oranı %			
		B <sub>4</sub> C	SiC	Matris	Porozite
AA6061	7	50	-	50	1,29
AA6061	7	-	50	50	2,26
AA6061	8	50	-	50	0,01
AA6061	8	-	50	50	0,63



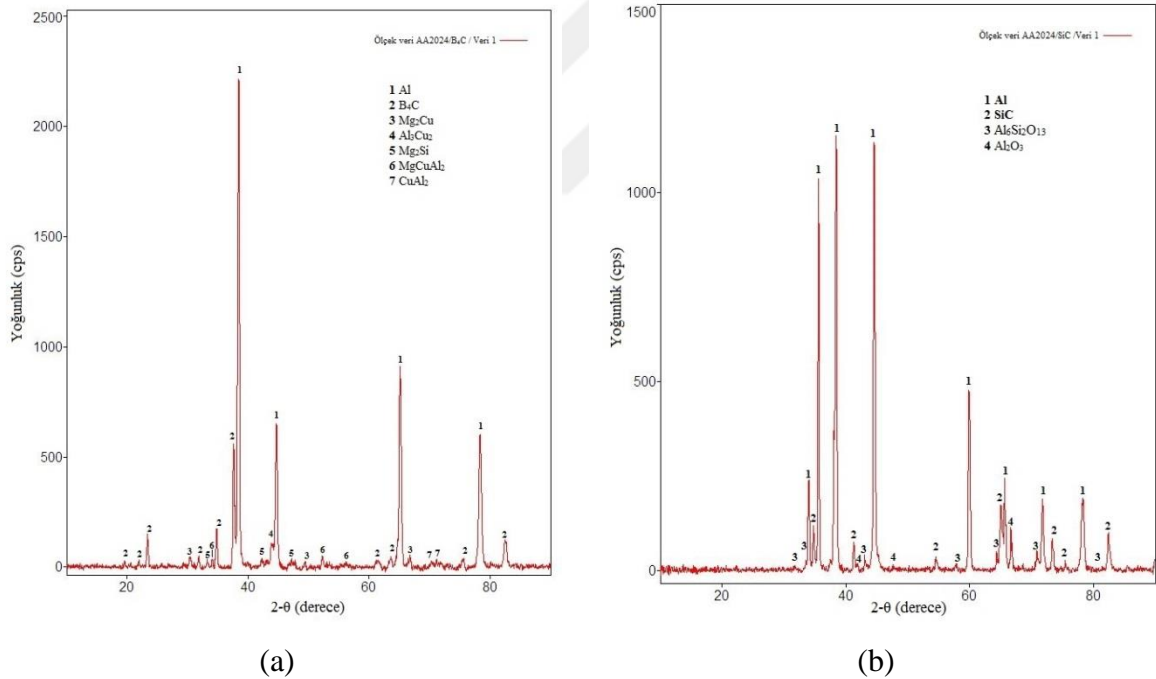
Şekil 3.13. Farklı basınç değerlerinde basılan kompozit malzemelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri a) AA6061-B<sub>4</sub>C EDS analizi, b) AA6061-SiC EDS analizi

Şekil 3.13'de B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli AA6061 matrisli kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri ve bazı bölgelerden alınan EDS analizleri görülmektedir. Şekil 3.13.a'da verilen B<sub>4</sub>C takviyesi ile üretilen kompozit malzemenin SEM fotoğraflarından, takviye matris arayüzeyinde keskin uçları olan gri renkli intermetaliklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu intermetalikler üzerinde yapılan EDS analizlerine göre (1)'nolu bölgede %85,26 B ve %14,74 C içeriği tespit edilmiştir. (2)'nolu bölgenin ise %92,51 Al, %4,87 B ve %2,62 C içerdiği görülmüştür. Şekil 3.13.b'de ise SiC takviyeli, AA6061 matrisli kompozit malzemenin SEM görüntülerinden, matris takviye arayüzeyinde intermetaliklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan intermetaliklerin üzerinde yapılan EDS

analiz sonuçlarına göre (1)'nolu bölgede %70,52 Si ve %29,48 C içeriği tespit edilmiştir. (2)'nolu bölgenin ise %84,13 Al ve %4,87 Mg içerdiği görülmüştür. (3)'nolu bölgede ise %78,68 Al, %17,90 Si ve %3,42 C içeriği sonucuna varılmıştır. Oklar yapıdaki poroziteleri göstermektedir.

### 3.7. XRD Sonuçları

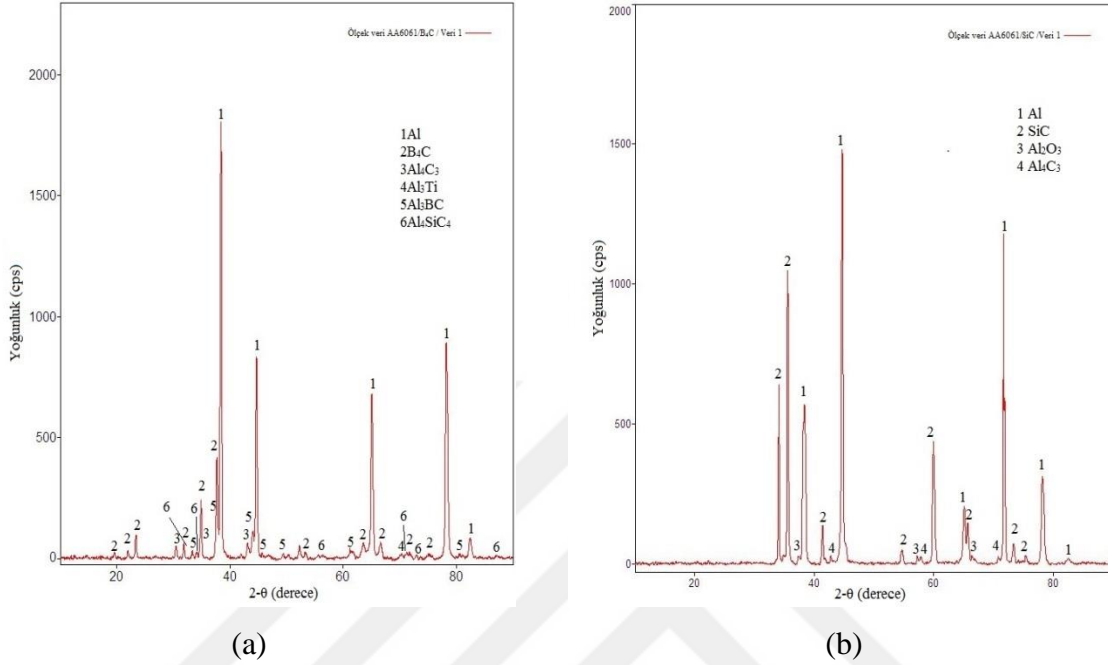
Şekil 3.14'de AA2024 alüminyum alaşımına B<sub>4</sub>C ve SiC takviyesi ile üretilmiş kompozit malzemelere ait XRD desenleri yer almaktadır. Şekil 3.14.a'da XRD desenleri analizlerinden görüldüğü üzere B<sub>4</sub>C takviyesi ile üretilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerde Mg<sub>2</sub>Cu, Al<sub>3</sub>Cu<sub>2</sub>, MgCuAl<sub>2</sub>, CuAl<sub>2</sub>, ve Mg<sub>2</sub>Si gibi ikincil fazlar oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.14.b'de XRD analizlerinden görüldüğü üzere SiC takviyesi ile üretilen AA2024 matrisli kompozit malzemelerde ise Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi ikincil fazlarının ve Mg<sub>2</sub>Si intermetalik fazının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.14. AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin XRD desenleri analizi a) AA2024-B<sub>4</sub>C, b) AA2024-SiC

Şekil 3.15'de AA6061 alüminyum alaşımına B<sub>4</sub>C ve SiC takviyesi ile üretilmiş kompozit malzemelere ait XRD desenleri yer almaktadır. Şekil 3.15.a'da XRD desenlerin analizlerinden görüldüğü gibi B<sub>4</sub>C takviyesi ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerde Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, Al<sub>3</sub>Ti, Al<sub>3</sub>BC ve Al<sub>4</sub>SiC<sub>4</sub> gibi ikincil fazlarının oluştuğu tespit

edilmiştir. Şekil 3.15.b’de XRD analizlerinden görüldüğü üzere SiC takviyesi ile üretilen AA6061 matrisli kompozit malzemelerde de  $Al_2O_3$  ve  $Al_4C_3$  gibi ikincil fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir.



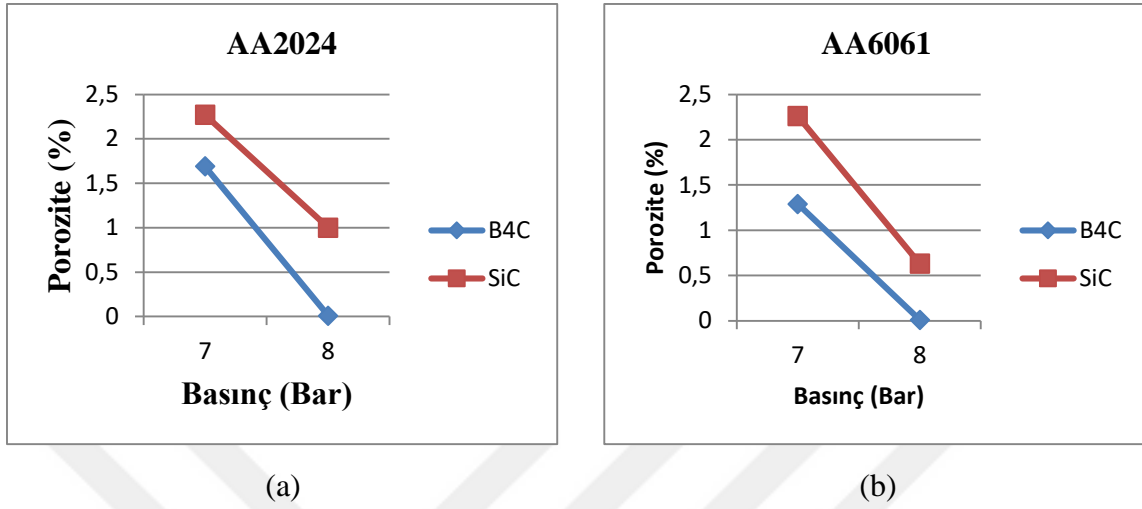
Şekil 3.15. AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin XRD desenleri analizi a) AA6061-B<sub>4</sub>C, b) AA6061-SiC

### 3.8. Mikroyapı Özellikleri

Bu çalışmada basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan B<sub>4</sub>C ve SiC partikül takviyeli AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı görüntülerinden de (Şekil 3.8 ve 3.10) görüldüğü üzere B<sub>4</sub>C ve SiC partikülleri homojen dağılmıştır. Porozitenin B<sub>4</sub>C ve SiC partiküllerinin etrafında yoğunlaştığı açıkça görülmektedir. Fakat SiC partiküllü kompozit malzemelerin B<sub>4</sub>C partiküllü kompozitlere göre daha çok poroziteye sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak da takviye elemanlarının toz tane boyutlarındaki farklılıktan kaynaklandığı görülmektedir. Üretimin çok hızlı gerçekleşmesi ve yüksek takviyeli kompozit malzemelerin üretimine imkan sağlamasıyla kompozit malzeme üretiminde tercih edilen basınçlı infiltrasyon yöntemiyle, yüksek partikül takviyeli kompozit malzemelerin en büyük üretim sorunlarından biri olan topaklanma problemi karşılaşılmamıştır. Mikroyapıda bulunan porozite miktarına matris bileşiminin etkisi Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’deki verilerden yararlanılarak AA2024 ve



AA6061 matrislerin basınca bağılı olarak porozite miktarındaki değişim Şekil 3.16'da çizilmiştir.



Şekil 3.16. Basınca bağılı porozite değişimi a) AA2024 matrisli kompozit malzeme b) AA6061 matrisli kompozit malzeme

Şekil 3.8 ve Şekil 3.10'de yer alan mikroyapı görüntüleri de görüntü analiz değerlendirmelerini destekler niteliktedir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesi porozitedir. Mikroyapı görüntülerin de görüldüğü üzere porozite genellikle partiküllerin etrafında yoğunlaşmakla beraber partiküller arasındaki bölgelerde de oluştuğu gözlemlenmektedir. Alüminyum matrisli seramik takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı alüminyum matris ile takviye elemanı arasında oksit tabakası olan  $Al_2O_3$  meydana gelmekte ve matrisin seramik partiküllerini ıslatmasını zorlaştırmaktadır.

AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemeleri kıyasladığımızda basınç miktarının artırılması poroziteyi %90 oranında azalttığı görülmektedir. Porozitedeki bu düşüşün basıncın artırılması ile çelik tüp içerisindeki takviye elemanının tüp içerisinde daha üniform olarak dağılmasını sağlaması ve matris elemanın akıcılığının artırmasını sağlamasıyla en küçük boşluklara dahi sıvı metalin nüfuz etmesini kolaylaştırmış olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

XRD analizlerine göre AA2024 matrisli  $B_4C$  takviyeli kompozitlerde (Şekil 3.14.a)  $Mg_2Cu$ ,  $Al_3Cu_2$ ,  $MgCuAl_2$ ,  $CuAl_2$ , ve  $Mg_2Si$  gibi ikincil fazlar oluştuğu görülmektedir. Aynı şekilde AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozitlerde de (Şekil 3.14.b)  $Al_6Si_2O_{13}$  ve

$Al_2O_3$  gibi ikincil fazlarının meydana geldiği görülmektedir. AA6061 matrisli  $B_4C$  takviyeli kompozitlerde (Şekil 3.15.a)  $Al_4C_3$ ,  $Al_3Ti$ ,  $Al_3BC$  ve  $Al_4SiC_4$  gibi ikincil fazlarının oluştuğu görülmektedir. AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozitlerde de (Şekil 3.15.b)  $Al_2O_3$  ve  $Al_4C_3$  gibi ikincil fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir

Matrisinde yeterli miktarda Mg ve Si bulunduran ( $\geq 1\%Mg$  ve  $\geq 1\%Si$ ) AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerde bulunan Si ve Mg arasında gerçekleşen reaksiyonla  $Mg_2Si$  intermetalik oluşmaktadır.  $Mg_2Si$  intermetalik fazının meydana gelişi XRD analizlerinde açıkça görülmektedir. Metal yüzeyinde bulunan alümina filmiyle reaktif elementlerin reaksiyonu sonucu intermetalik fazlar oluşmaktadır. Meydana gelen bu intermetalik fazların oksit filmini yırtarak temiz ve ıslatılabilir bir yüzey oluşmasına katkı sağladığı bilinmektedir [4]. Meydana gelen bu ikincil ve intermetalik fazların ıslatabilirliği pozitif yönde etkilediği kanısına varılmaktadır.

### 3.9. Sertlik Ölçüm Sonuçları

İncelenen kompozit malzemelerin sertlikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir. AA2024 matrisli kompozit malzemesine takviye edilen  $B_4C$  takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Aynı matris elemanına takviye edilen SiC takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla sertlik değerlerinde de bir artış gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli kompozit malzemesine takviye edilen  $B_4C$  takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Aynı matris elemanına takviye edilen SiC takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla sertlik değerlerinde de bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Yani AA2024 matrisli  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemesinde basınç değerinin artmasıyla sertlik değeri %0,92 artış göstermiştir. AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde basınç değerinin artmasıyla sertlik değeri %30,55 artış göstermiştir. AA6061 matrisli  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemesinde basınç değerinin artmasıyla sertlik değeri %9,30 artış göstermiştir. AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde basınç değerinin artmasıyla sertlik değeri %3,03 artış göstermiştir.

Aynı matris içerisine ilave edilen takviye elemanları kendi aralarında karşılaştırıldığında  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip oldukları kaydedilmiştir. Bunun

sebebi olarak B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha az porotizeye sahip olmasıdır. B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha az porotizeye sahip olmalarının sebebi, B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin toz tane boyutu ortalaması 45 µm iken, SiC takviyeli kompozit malzemelerin ise toz tane boyutu ortalama 37 µm olmasından dolayı SiC takviye malzemesinin B<sub>4</sub>C takviye malzemesine göre toz boyutu daha küçük olduğundan porozite miktarı daha çok olmuştur.

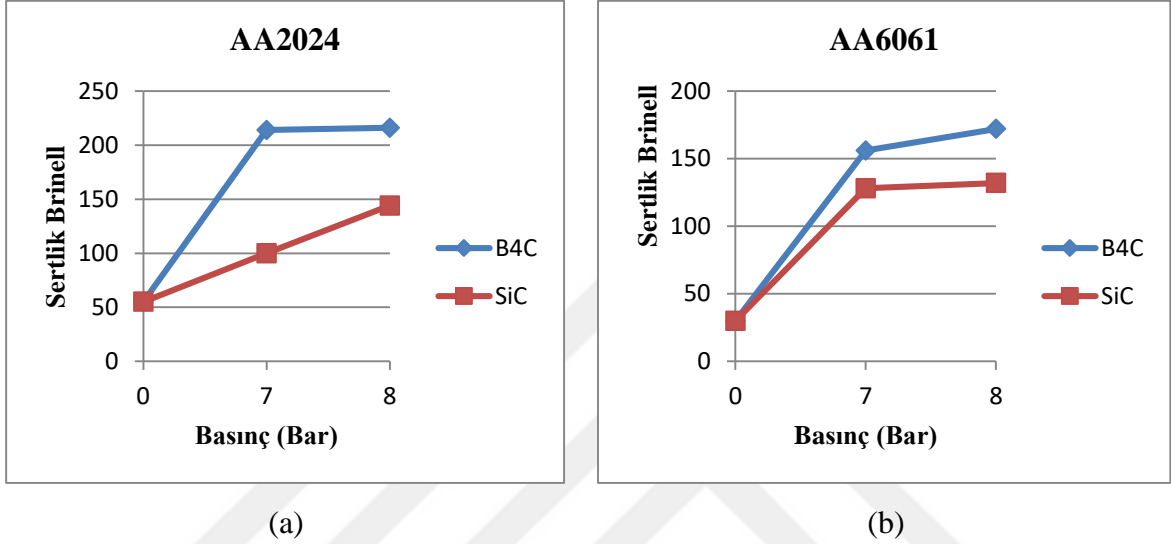
Bir başka kıyaslama ise AA2024 matrisli kompozit malzemelerin 7 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %53,27 oranında sertlik değerinde bir artış olmuştur. Aynı şekilde AA6061 matrisli kompozit malzemelerin 7 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %17,95 oranında sertlik değerinde bir artış olmuştur. AA2024 matrisli kompozit malzemelerin 8 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %33,33 oranında sertlik değerinde bir artış olmuştur. Aynı şekilde AA6061 matrisli kompozit malzemelerin 8 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %23,25 oranında sertlik değerinde bir artış olmuştur.

Çizelge 3.5. Kompozit malzemelerin sertlik değerleri

<i>Matris</i>	<i>Takviye Elemanı</i>	<i>Basınç Değeri</i>	<i>Kütlesel Sertlik (HBW)</i>
AA 2024	B <sub>4</sub> C	7	214
AA 2024	B <sub>4</sub> C	8	216
AA 2024	SiC	7	100
AA 2024	SiC	8	144
AA 6061	B <sub>4</sub> C	7	156
AA 6061	B <sub>4</sub> C	8	172
AA 6061	SiC	7	128
AA 6061	SiC	8	132

### 3.10. Matris Bileşiminin Sertliğe Etkisi

Çizelge 3.5'deki deney verilerine göre, AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemeler ve bu matrislere üretim aşamasında farklı oranlarda uygulanan basınç değerleri ile takviye edilen B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeleriyle oluşan kütlelesel sertliklerinin matris bileşimi ile meydana gelen değişimi Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Farklı basınç oranlarında basılan kompozit malzemelerin sertlik değerlerindeki değişim grafiği a) AA2024 Matrisli kompozit malzemelerin sertlik değişim grafiği b) AA6061 Matrisli kompozit malzemelerin sertlik değişim grafiği

AA2024 matrisli kompozit malzemeye uygulanan 7 bar basınçla, sertlik değerinde %50'lere varan bir artış sağlanmıştır. Bu artış basınç miktarının 8 bara çıkarılması ile daha da artmıştır ve 8 bar basınçla birlikte sertlik değeri %70 artış elde edilmiştir. AA2024 matrisli kompozit malzemenin basınca bağlı sertlikte yaşanan bu artış mikroyapı görüntüleri ile elde edilen porozitedeki azalış ve XRD analizleriyle ile belirlenen ikincil fazların çökmesinden ( $Mg_2Cu$ ,  $Al_3Cu_2$ ,  $MgCuAl_2$ ,  $CuAl_2$ ,  $Al_6Si_2O_{13}$  ve  $Al_2O_3$ ) kaynaklanmaktadır.

AA6061 matrisli kompozit malzemelere uygulanan basınç miktarı değişimi ile sertlik değerindeki artış AA2024 matrisli kompozit malzemelere nazaran daha fazla orandadır.

Matris elemanı olarak kıyaslama yapıldığında AA2024 alüminyum alaşımının sertlik değeri 55 HBW iken AA2024 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye

elemanı ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde %74,30, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %74,53 oranında artış gözlemlenmiştir. AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde %45, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %61,80 oranında artış gözlemlenmiştir. AA6061 alüminyum alaşımının sertlik değeri ise 30 HBW iken AA6061 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde %80,77, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %82,55 oranında artış gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde %76,56, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %77,27 oranında artış gözlemlenmiştir.

### **3.11. Basma Deneyi Sonuçları**

Kompozit malzemelerin basma dayanımlarında meydana gelen değişimler izelge 3.6'da yer almaktadır. AA2024 matrisli kompozit malzemesine takviye edilen B<sub>4</sub>C takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla basma dayanımında da bir artış gözlemlenmiştir. Aynı matris elemanına takviye edilen SiC takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla basma dayanımında da bir artış gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli kompozit malzemesine takviye edilen B<sub>4</sub>C takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla basma dayanımında da bir artış gözlemlenmiştir. Aynı matris elemanına takviye edilen SiC takviye elemanının basınç değeri artırılmasıyla basma dayanımında da bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Basınç değerleri açısından bir kıyaslama yapıldığında her iki matris elemanı ile bunlara takviye edilen takviye malzemelerinin basınç değerlerinin artırılması ile genellikle sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yani AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemesinde basınç değerinin artmasıyla basma dayanımı %4,72 artış göstermiştir. AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde basınç değerinin artmasıyla basma dayanımı %19,52 artış göstermiştir. AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit

malzemesinde basınç değeriyle artmasıyla basma dayanımı %7,39 artış göstermiştir. AA6061 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde basınç değeriyle artmasıyla basma dayanımı %14,46 artış göstermiştir.

Takviye elemanları olarak karşılaştırıldığında B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha iyi basma dayanımına sahip oldukları kaydedilmiştir. Bunun sebebi olarak B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha az porotizeye sahip olmasıdır. B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin SiC takviyeli kompozit malzemelere göre daha az porotizeye sahip olmalarının sebebi ise B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin toz tane boyutu ortalaması 45 µm iken SiC takviye malzemesinin toz tane boyutu ortalama 37 µm olmasından dolayı SiC takviye malzemesinin B<sub>4</sub>C takviye malzemesine göre toz boyutu küçük olduğundan porozite miktarı daha çok olmuştur.

AA2024 matrisli kompozit malzemelerin 7 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %44,67 oranında basma dayanımında bir artış olmuştur. Aynı şekilde AA6061 matrisli kompozit malzemelerin 7 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %21,67 oranında basma dayanımında bir artış olmuştur. AA2024 matrisli kompozit malzemelerin 8 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %34,49 oranında basma dayanımında bir artış olmuştur. Aynı şekilde AA6061 matrisli kompozit malzemelerin 8 bar basınç altında infiltre edilen takviye elemanlarının değiştirilmesi ele alındığında B<sub>4</sub>C takviye malzemesinin SiC takviye malzemesine göre %15,19 oranında basma dayanımında bir artış olmuştur. Basma dayanımındaki artışlar sertlik ölçümleriyle ve poroziteyle eşdeğer şekilde örtüşmektedir.

Çizelge 3.6. Kompozit malzemelerin basma dayanımları

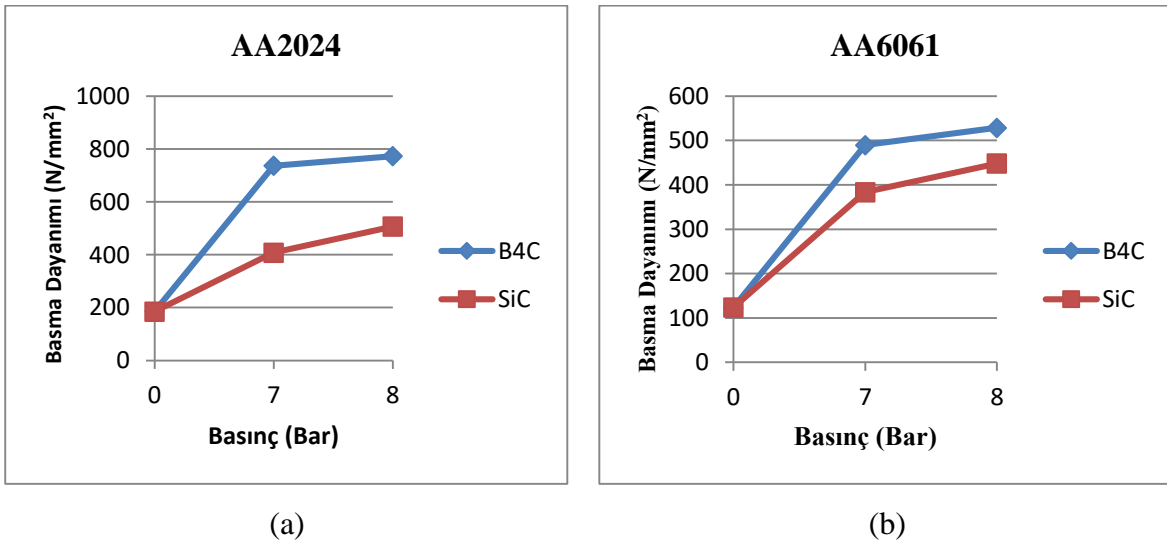
<i>Matris</i>	<i>Takviye Elemanı</i>	<i>Basınç Değeri</i>	<i>Basma Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</i>
AA 2024	B <sub>4</sub> C	7	736,84
AA 2024	B <sub>4</sub> C	8	773,33
AA 2024	SiC	7	407,66
AA 2024	SiC	8	506,57
AA 6061	B <sub>4</sub> C	7	489,58
AA 6061	B <sub>4</sub> C	8	528,65
AA 6061	SiC	7	383,46
AA 6061	SiC	8	448,33

### 3.12. Matris Bileşiminin Mukavemete Etkisi

Çizelge 3.6'da ki deney verilerinden faydalanılarak, AA2024 ve AA6061 matrisli kompozit malzemelerin maksimum kuvvete basıncın etkisi ile elde edilen basma deney sonuçlarına göre çizilen değişim grafiği Şekil 3.18'de verilmektedir. Şekil 3.18'den de görüldüğü üzere en iyi basma mukavemetini 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde olmuştur.

Matris elemanı olarak kıyaslama yapıldığında AA2024 alüminyum alaşımının basma mukavemeti 185 MPa iken AA2024 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile basma dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %74,86 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında ise %76,06 oranında artış gözlemlenmiştir. AA2024 matrisli SiC takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %54,54 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerinde ise %63,43 oranında artış gözlemlenmiştir. Bu durum sertlik sonuçlarıyla da paralellik göstermektedir. Basma mukavemetinde meydana gelen bu artış, çökelen ikincil fazların (Mg<sub>2</sub>Cu, Al<sub>3</sub>Cu<sub>2</sub>, MgCuAl<sub>2</sub>, CuAl<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>Si, Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yanı sıra basıncın etkisi ile ıslatabilirlikteki iyileşme matrisle takviye elemanı arayüzeyinde daha kuvvetli bir

bağlanma sağlamış ve düşük poroziteli kompozit malzemeler üretilmiştir. Matrisle takviye elemanı arasında oluşan daha güçlü bağlanma ile basma dayanımını pozitif yönde etkilemiştir.  $Mg_2Si$  intermetalikinin mukavemeti arttırdığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir. AA6061 alüminyum alaşımının basma mukavemeti ise 124 MPa iken AA6061 matrisli malzemeye takviye edilen her iki takviye elemanı ile basma dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %75,10 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında ise %76,51 oranında artış gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli  $SiC$  takviyeli kompozit malzemesinde 7 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında %67,62 oranında, 8 bar basınçta infiltre edilerek elde edilen kompozit malzemelerin basma dayanımlarında ise %72,32 oranında artış gözlemlenmiştir. Kompozit malzemelerin basma mukavemetlerindeki bu artışlar iki sebepten kaynaklanabilmektedir. Bu sebeplerin birincisi ve en etkili olanı olarak görülen porozitedeki %90 oranındaki düşüş, ikinci sebep ise yapıda oluşan  $Al_4C_3$ ,  $Al_3Ti$ ,  $Al_3BC$ ,  $Al_4SiC_4$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Al_4C_3$  gibi ikincil fazlarıdır. AA2024 ve AA6061 matrisli kompozitleri kıyasladığımızda basma mukavemetindeki artış %80'lere varmaktadır. Sonuçlardan da görüldüğü üzere basma dayanımındaki artışın sebebi basınç değerinin artması ile matrisin ıslatabilirliğinin artması sonucunda porozitenin azalmasıdır.



Şekil 3.18. Farklı basınç oranlarında basılan kompozit malzemelerin basma dayanımı değişim grafiği a) AA2024 Matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımı grafiği b) AA6061 Matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımı grafiği



#### 4. GENEL SONUÇLAR

AA2024 ve AA6061 matrislere %50 hacim oranında 48  $\mu\text{m}$   $\text{B}_4\text{C}$  ve 37  $\mu\text{m}$   $\text{SiC}$  partikülleri ile takviye edilmiş 7 ve 8 bar basınç değerleri uygulanarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri, mekanik deneyleri, SEM analizi, EDS analizi, XRD analizi, sertlik ve basma deneylerinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

- Mikroyapı incelemelerinde takviye malzemelerin homojen dağıldığı gözlemlenmiş olup matrisin takviye elamanlarını ıslatabildiği gözlemlenmiştir.
- Üretilen kompozit malzemelerde porozite genel olarak takviye matris arayüzeyinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Porozite hacim oranlarında basınç miktarı arttıkça büyük ölçüde azalış meydana gelmiştir. AA2024 matrise  $\text{B}_4\text{C}$  takviye ilavesi ile 7 bar basınçla üretilen kompozit malzemelerin porozite miktarı %1,69'dan basınç miktarı 8 bar olarak arttırılması sonucunda porozite miktarı %0,01'e kadar düşüş göstermiştir. AA2024 matrise  $\text{SiC}$  takviye ilavesi ile 7 bar basınçla üretilen kompozit malzemelerin porozite miktarı %2,27'den basınç miktarı 8 bar olarak arttırılması sonucunda porozite miktarı %1,00'e kadar gerilemiştir.
- AA6061 matrise  $\text{B}_4\text{C}$  takviye ilavesi ile 7 bar basınçla üretilen kompozit malzemelerin porozite miktarı %1,29'dan basınç miktarı 8 bar olarak arttırılması sonucunda porozite miktarı %0,01'e kadar gerilemiştir. AA6061 matrise  $\text{SiC}$  takviye ilavesi ile 7 bar basınçla üretilen kompozit malzemelerin porozite miktarı %2,26'dan basınç miktarı 8 bar olarak arttırılması sonucunda porozite miktarı %0,63'e kadar düşüş göstermiştir. Yapılan karşılaştırmalara göre porozitenin genellikle takviye malzemesi olan  $\text{B}_4\text{C}$  ve  $\text{SiC}$ 'ün etraflarında yoğunlaşmıştır. Basınç miktarı arttıkça porozite hacim oranları büyük ölçüde düşmüştür.
- Porozite miktarının  $\text{SiC}$  takviyeli kompozitlerde daha fazla olduğu gözlemlenmiş olup, bunun sebebinin takviye elemanlarının toz boyutlarındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- AA2024 matrisli  $\text{B}_4\text{C}$  ve  $\text{SiC}$  takviyeli kompozit malzemelerin matrisinde  $\text{Mg}_2\text{Cu}$ ,  $\text{Al}_3\text{Cu}_2$ ,  $\text{MgCuAl}_2$ ,  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gibi ikincil fazların oluştuğu

gözlemlenmiştir ve  $Mg_2Si$  intermetalik fazının oluşumu XRD analizleri ile belirlenmiştir.

- AA6061 matrisli  $B_4C$  ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin matrisinde  $Al_4C_3$ ,  $Al_3Ti$ ,  $Al_3BC$ ,  $Al_4SiC_4$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Al_4C_3$  gibi ikincil fazlar olduğu XRD analizleri ile gözlemlenmiştir.
- Yapılan karşılaştırmalara göre infiltrasyon basıncının artması ile mekanik özelliklerde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Basınç miktarının artması ile kompozit malzemelerin sertlik ve basma mukavemeti değerlerinde %80 oranlarına varan artış gözlemlenmiştir.
- Üretilen kompozit malzemelerin AA2024 alaşımının  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerleri %74,53 oranında, SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise %61,80 oranında artmıştır. AA6061 alaşımının  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerleri %76,51 oranında, SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise %72,32 oranında artığı gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli kompozit malzemelerdeki en yüksek mukavemet değeri AA2024 matrisli kompozit malzemelerde de olduğu gibi 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Bu durum SEM görüntü analiz sonuçlarıyla ve porozite değerleri ile birebir örtüşmektedir.
- Üretilen kompozit malzemelerin AA2024 alaşımının  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemeler basma mukavemetini %76,06 oranında, SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise %63,43 oranında artmıştır. AA6061 alaşımının  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemelerin basma mukavemetini %76,51 oranında, SiC takviyeli kompozit malzemelerde ise %72,32 oranında artığı gözlemlenmiştir. AA6061 matrisli kompozit malzemelerdeki en yüksek mukavemet değeri AA2024 matrisli kompozit malzemelerde de olduğu gibi 8 bar basınç altında üretilen kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Bu durum gerek sertlik sonuçları gerekse SEM görüntü analiz sonuçlarıyla birebir örtüştüğü gözlemlenmektedir.

## 5. KAYNAKÇA

1. Ateş, S., 2011, “SiC takviyeli etial 21 esaslı kompozit malzemelerin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine A.B.D.*, Kırıkkale, 1,43-51.
2. Taşcı, U., 2012, “AA2014-B<sub>4</sub>C metal matrisli kompozitinin toz metalurjisi ve infiltrasyon yöntemiyle üretilebilirliği, karakterizasyonu ve aşınma özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi*, Ankara, 1-2,6-7.
3. Karademir, İ., 2013 “SiO<sub>2</sub> takviyeli etial 21 esaslı kompozit malzemelerin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Bartın, 1,5-6-7,15-21.
4. Çevik, E., 2015, “B<sub>4</sub>C takviye elemanı ile üretilen farklı Mg içerikli Al ve Al-Si matrisli kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, Karabük, 1-3,5-6,8-9,12-29.
5. Ahlatçı, H., 2013, “Alüminyum-silisyum karbür kompozitlerin mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına takviye boyutunun ve matris bileşiminin etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, İstanbul, 1-2.
6. Kaburcuk, M., 2014, “Düşük hızlı darbe yükleri altında Al/SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Kayseri, 5-6.
7. Özkaya, S., 2014, “Alüminyum-B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli metal matrisli nanokompozitlerin üretimi , iç yapı, fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, Kayseri, 10-11,14-15.
8. Doğan, M.A., 2012, “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli 6061 alüminyum metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Hatay, 11-12.

9. Pul, M., 2010, “Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 47,50,52,58,68,75,77.
10. Bulut, M., 2014, “Türkiye’de kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi A.B.D.*, Ankara, 51,66-67.
11. Gökşahin, E., 2007, “Sert eloksal ile kaplanmış 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, İstanbul, 1.
12. Ahlatçı, H., Candan, E., Çimenoğlu, H., 2002, “Effect of particle size on the mechanical properties of 60 vol. % sicp reinforced al matrix composites.”, *Zeitschrift fur Metallkunde*, 93 (4): 330-333.
13. Yang, J., Chung, D.D.L., 1989, “Wear of bauxite-particle reinforced aluminium alloys”, *Wear*, 135: 53-65.
14. Singh, M., Mondal, D.P., Modi, O.P., and Jha, A.K., 2002, “Two-body abrasive wear behaviour of aluminium alloy-silimanite particle reinforced composite”, *Wear*, 253: 357-368.
15. İpek, R., 2005, “Adhesive wear behaviour of B<sub>4</sub>C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B<sub>4</sub>C-Al/SiC)”, *Metarials Proc. Tech.*, 162-163: 71-75.
16. Zhiqiang S., Di, Z., and Guobin, L., 2005, “Evaluation of dry sliding wear behaviour of silicon particles reinforced aluminium matrix composites”, *Metarial and Desing.*, 26: 454-458.
17. Akbulut, H., Duman, M. Ve Yılmaz, F., 1995, “Vorteks metadu ile üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin mekanik davranışları”, 8. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 1329-1334.
18. Şahin, Y., 1998, “Dry wear behativiouir of saffil fible-reinforced metal composites”, *8th International Machine Desing and Production Conference*, Ankara, 469-477.
19. Lim, C.Y.H., Lim, S.C. and Gupta, M., 2003, “Wear behaviour of SiCp-reinforced magnesium matrix composites”, *Wear*, 255:629-637.
20. Akbulut, H., Duman, M. Ve Yılmaz, F., 1993, “SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, *7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 1183-1194.

21. Özdin, K., 2006, “Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Ankara, 3-4.
22. Hiçyılmaz, N., 1999, “Toz metallurjisi yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Ankara, 143.
23. Şahin, Y., 2003, “Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloycomposites”, *Materials and Desing*, 24: 671-679.
24. Mondal, D.P. and Das, S., 2005, “High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experrimental parameters, particle size and volume fraction”, *Tribology International*, 1-9.
25. Kaçar, H., Atik, E. ve Meriç, C., 2003, “The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy,”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142,(3):,762-766.
26. Padır, A., 2014, “AA2024-B<sub>4</sub>C kompozitlerin özelliklerine yaşlandırma parametrelerinin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, Trabzon, 93.
27. Yılmaz, U. ve Evcı, C., “Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin geleceği” *Savunma Bilimleri Dergisi*, 14(2):77-109.
28. Kafalı, H. ve Ay, N., 2014, “Sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmiş havacılık ve uzay yapılarında kullanılan Al 6013-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 7 (2):85-101.
29. Uygur, İ. ve Saruhan, H., 2004, “Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri”, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1):176-174.
30. Gülüzade, R., 2011, “Alüminyum ve çelik testere talaşlarından sinterleme ile üretilen metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Konya, 93.
31. Altuner S., Kekeşoğlu E., 2012, “Pruduction of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced aluminium matrix composites and the coating of interface effects over wettability

- properties’’, *PhD Research Article, Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 30:252-258.
32. Özcömert, M., 2006, ‘‘Otomotiv endüstrisinde alüminyum’’, *İstanbul Ticaret Odası, İstanbul*, 10.
  33. Bağcı, M., 2011, ‘‘Cam elyaf takviyesi kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışlarının incelenmesi’’, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Konya, 55-56.
  34. Çolak, N.Y., 2011, ‘‘B<sub>4</sub>C takviyeli Al-Si alaşımlarının yarı katı-sıvı aralığında şekillendirilmesi ve özelliklerinin incelenmesi’’, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi A.B.D.*, Elazığ, 12-13.
  35. Yüksel, F., 2014, ‘‘Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C partikül takviyeli aşınma direnci yüksek kompozit malzemelerin aşınma özelliklerinin belirlenmesi’’, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, İstanbul, 8.
  36. Ergün, N., 2006, ‘‘Borkarbür-silisyumkarbür kompozitlerinin reaktif sıcak presleme ile üretilmesi’’, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.*, İstanbul, 15-16.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÖZSARI, Alperen Refik Bilal  
Uyruğu : T.C.  
Doğum Yeri : Uşak  
Medeni Hali : Bekâr  
e-mail : alperenrb@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği A.B.D.	2018
Lisans	Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2014
Lise	Uşak Lisesi(Anadolu Lisesi)	2009

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-2018	Uşak Uğurlu Dişçilik Ltd. Şti.	Ar-Ge Müdürü(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Uluslararası Yayınlar

1. Gündoğan, K., Köksal, D. and Özsarı, A.R.B., 2018, “A study on corrosion behaviour of different Al matrix composites”, *The Online Journal of Science and Technology*, April 2018, Volume 8, Issue 2, 9-14.

## Uluslararası Bildiriler

1. Kılınç, M., Özusta, B., Doğancık, G., Dursun, C., Ahtacı, H., Türen, Y., Sun, Y. and Özsarı, A.R.B., 2017, “Effect of heat treatment on corrosion behaviour of Co-Cr and Ni-Cr implant materials used for dental application”, *1st International Conference of Advanced Materials and Manufacturing Technologies (ICAMT'17)*, October 25-27, Safranbolu, Karabük, Turkey, 144.
2. Gündoğan, K., Köksal, D. and Özsarı, A.R.B., 2017, “A study on corrosion behaviour of different Al matrix composites”, *International Science and Technology Conference (ISTEC'17)*, July 17-19, Berlin, Germany, 22-28.
3. Gündoğan, K. ve Özsarı, A.R.B., 2017, “Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen TiN takviyeli Co-Cr matrisli kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin deneysel incelenmesi”, *1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, 7-10 Aralık, Antalya, Türkiye, 165.
4. Gündoğan, K., Gitmiş, M. ve Özsarı, A.R.B., 2018, “AISI 1040 çeliğine, çinko-fosfat ve magnezyum-fosfat ile yüzey kaplamada malzeme karakterizasyonuna etkisi”, *1. Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu (ISLAC'18)*, 22-24 Mart, Karabük, Türkiye, 310-311.
5. Gündoğan, K., Çevik, E., Özsarı, A.R.B. ve Polat S., 2018, “Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen AA2024 matrisli, B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesi”, *1. Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu (ISLAC'18)*, 22-24 Mart, Karabük, Türkiye, 404-405.
6. Gündoğan, K., Çevik, E., Özsarı, A.R.B. ve Polat S., 2018, “AA6061 matrisli, B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozitlerin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmesiyle mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesi”, *1. Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu (ISLAC'18)*, 22-24 Mart, Karabük, Türkiye, 406-407.

## Hobiler

Kitap Okuma, Otomobiller, Yüzme