

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**SERAMİK TAKVİYELİ AL2024 VE AL7075 MATRİSLİ  
HİBRİT KOMPOZİTLERİN VAKUM İNFİLTRASYON  
METODU İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nurcihan KİSAOĞLU**

**DENİZLİ, ARALIK - 2022**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM**  
**DALI**



**SERAMİK TAKVİYELİ AL2024 VE AL7075 MATRİSLİ**  
**HİBRİT KOMPOZİTLERİN VAKUM İNFİLTRASYON**  
**METODU İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NURCİHAN KISAOĞLU**

**DENİZLİ, ARALIK - 2022**

**Bu tez çalışması PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL  
ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ tarafından  
2021FEBE058 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**Nurcihan KISAOĞLU**

## ÖZET

**SERAMİK TAKVİYELİ AL2024 VE AL7075 MATRİSLİ HİBRİT  
KOMPOZİTLERİN VAKUM İNFİLTASYON METODU İLE  
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
NURCİHAN KİSAOĞLU  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI:Doç.Dr. Sinan AKSÖZ)**

**DENİZLİ, ARALIK - 2022**

Bu çalışmada, 10-20µm aralığında tozlar gaz atomisasyon yöntemi ile üretilmiş T/M Al2024 ve Al7075 matrisli, B<sub>4</sub>C+SiC / TiC+SiC / TiC+ B<sub>4</sub>C hibrit takviyeli (%1,%3,%5 ve %10 takviye oranlarında) kompozitler vakum infiltrasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretimler, 850°C sıcaklıkta, 400 mmHg vakum basıncı altında 10 mm iç çapa sahip, paslanmaz çelik haznelere gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelere 490°C'de 3 saat çözündürme işlemi sonrasında, 3'er saat aralıklarla Al2024 matris için toplamda 12 saat, Al7075 matrisli hibrit kompozitler için toplamda 18 saat 130°C'de yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Herbir ısıl işlem süreci sonrasında, ana fazdan mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizleri için; Optik Mikroskop, FESEM, EDS ve XRD analizleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde; yaşlandırma ısıl işlem süresine bağlı olarak sertlikte artış olduğu ve ilave edilen takviye oranlarına bağlı olarak %5 takviye oranına kadar sertlikte artışın olduğu gözlemlenmiştir. Takviye oranı %10 olduğunda sertlikte düşüş meydana gelmiştir. Uygulanan vakum infiltrasyon ve ısıl işlemler sayesinde ilave edilen seramik takviyelerde istenilen ıslatılabilirlik gözlemlenmiştir. FESEM incelemelerinde ilave edilen hibrit takviyelerin yapı içerisinde homojen dağılımı sağlandığı görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELELER: İnfiltasyon, Hibrit Kompozit, Al2024, Al7075, Yaşlandırma**

## **ABSTRACT**

### **THE PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CERAMIC REINFORCED AL2024 AND AL7075 MATRIX HYBRID COMPOSITES BY VACUUM INFILTRATION METHOD**

**MSC THESIS**

**NURCİHAN KISAOĞLU**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**METALLURGY AND MATERIALS ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:Doç.Dr. Sinan AKSÖZ)**

**DENİZLİ, DECEMBER 2022**

In this study, powders in the range of 10-20 $\mu$ m were produced by gas atomization method, P/M Al2024 and Al7075 matrix, B<sub>4</sub>C+SiC / TiC+SiC / TiC+ B<sub>4</sub>C hybrid reinforced (1%, 3%, 5% and 10% reinforced ratios) composites were produced using vacuum infiltration method. Production was carried out at 850°C, under 400 mmHg vacuum pressure, in stainless steel chambers with 10 mm inner diameter. The thawing process at 490°C for 3 hours was carried out at 3-hour intervals. The aging heat treatment at 130°C was applied for a total of 12 hours for the Al2024 matrix and a total of 18 hours for the Al7075 matrix. After each heat treatment, the microhardness was taken. For microstructure analysis; Optical Microscope, FESEM, EDS and XRD analyzes have been applied. When the data obtained are examined; The hardness increased with the aging heat treatment time. It has been observed that there is an increase in hardness up to 5% reinforcement rate depending on the added reinforcement ratios. When the reinforcement ratio was 10%, a decrease in hardness occurred. The desired wettability was observed with vacuum infiltration and heat treatments. Homogeneous distribution of hybrid reinforcements was observed in FESEM investigations.

**KEYWORDS: Infiltration, Hybrid Composite, Al2024, Al7075, Ageing**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ŞEKİL TABLOSU</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KOMPOZİT MALZEMELER</b> .....	<b>4</b>
2.1.Kompozit Malzemelerin Tanımı .....	4
2.2.Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları .....	4
2.3.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	5
2.3.1.Parçacıklı Kompozitler.....	6
2.3.2.Elyafı (Fiber) Kompozitler .....	6
2.3.3.Tabakalı Kompozitler.....	7
2.3.4.Karma (Hibrit) Kompozitler .....	7
2.4.Metal Matrisli Kompozitler (MMK) .....	8
2.5.Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları .....	8
2.6.Metal Matrisli Kompozitlerin Matris Malzemeleri .....	9
2.6.1.Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....	9
2.7.Metal Matrisli Kompozitlerin Takviye Elemanları .....	11
2.7.1.Bor Karbür (B <sub>4</sub> C).....	12
2.7.2.Silisyum Karbür (SiC).....	13
2.7.3.Titanyum Karbür (TiC) .....	13
<b>3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>15</b>
3.1.Katı Hal Yöntemi .....	15
3.1.1.Difüzyon ile Birleştirme .....	16
3.1.2.Sıcak Haddelme .....	16
3.1.3.Toz Metalurjisi (T/M) .....	16
3.1.3.1.Toz Metalurjisi Avantaj ve Dezavantajları .....	18
3.1.3.2.Toz Üretim Yöntemleri.....	19
3.2.Sıvı Hal Yöntemleri.....	26
3.2.1.Püskürtme Yöntemi.....	26

3.2.2.Karıştırırmalı Döküm Yöntemi .....	26
3.2.3.Sıkıştırırmalı Döküm Yöntemi.....	27
3.2.4.Basınçlı Döküm Yöntemi .....	27
3.2.5.Yarı Katı Döküm Yöntemi .....	28
3.2.6.İnfiltrasyon Yöntemi .....	28
3.2.6.1.Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi .....	29
3.2.6.2.Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemi .....	30
3.2.6.3.Vakum İnfiltrasyon Yöntemi .....	31
3.2.6.4.İnfiltrasyonu Etkileyen Faktörler .....	32
3.3.İn- situ Üretim Yöntemi.....	35
<b>4. MATERYEL VE METOT .....</b>	<b>36</b>
4.1.Kullanılan matris ve takviye malzemeleri .....	36
4.2.Tozların Paslanmaz Çelik Boru İçerisine Hazırlanması .....	40
4.3.Al Matrislerin Ergitilmesi .....	42
4.4.Vakum İnfiltrasyon Düzeneği .....	44
4.5.Üretilen Hibrit Kompozitlere Uygulanan Çözündürme ve Yaşlandırma İşlemleri .....	46
4.5.1.Çözündürme İşlemi .....	47
4.5.2.Su Verme İşlemi .....	48
4.5.3.Yaşlandırma Isıl İşlemi .....	48
4.6.Sertlik Ölçümleri .....	49
4.7.Üretilen Hibrit Kompozitlerin Metalografik İşlemleri .....	50
4.8.Üretilen Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyon Analizleri .....	51
<b>5. BULGULAR .....</b>	<b>55</b>
5.2.Hibrit Kompozitlerin EDS Analizler .....	64
5.3.Hibrit Kompozitlerin XRD Analizleri .....	67
5.4.Hibrit Kompozitlerin Sertlik Analizleri .....	70
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>90</b>



## ŞEKİL TABLOSU

### Sayfa

<b>Şekil 2.1.</b> Takviye malzemelerinin yapısına göre sınıflandırılması; (a) Parçacıklı kompozit, (b) Elyafli kompozit, (c) Tabakalı kompozitler, (d) Karma kompozitler(Ünal 2010).....	6
<b>Şekil 3.1.</b> Toz şekilleri (Kevenlik 2013).....	17
<b>Şekil 3.2.</b> T/M üretim basamakları (Öztürk ve İcin 2015).....	18
<b>Şekil 3.3.</b> Mekanik Üretim Yöntemleri (a) Bilyeli öğütme sistemi, (b) Mekanik alaşımlama da kullanılan atritör (Becerik 2020) (Milli 2017) .....	21
<b>Şekil 3.4.</b> Elektroliz yöntemi (Öztürk ve İcin 2015) .....	21
<b>Şekil 3.5.</b> Kimyasal üretim yöntemi (Danninger ve diğ. 2017) .....	22
<b>Şekil 3.6.</b> Gaz atomizasyon ünitesi (German 2007) .....	24
<b>Şekil 3.7.</b> Su atomizasyon ünitesi (Akpınar 2011) .....	25
<b>Şekil 3.8.</b> Sıvı matrisin takviye malzemesine infiltre işleminin şematik gösterimi (Demir ve Altınkok 2004).....	29
<b>Şekil 3.9.</b> Basıncılı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Kopeliovich 2007) ...	29
<b>Şekil 3.10.</b> Basıncısız infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Demir ve Altınkok 2004) .....	30
<b>Şekil 3.11.</b> Vakum infiltrasyon yöntem şematiği (Aksöz ve diğ. 2014).....	31
<b>Şekil 3.12.</b> Takviye-hacim oranı (Çalm 2006).....	32
<b>Şekil 3.13.</b> Sıvı damlasının kaku yüzeyde oluşan yüzey gerilmesi ve temas açısı .....	34
<b>Şekil 4.1.</b> (a) Al2024, (b) Al7075 tozlarına ait FESEM görüntüleri .....	37
<b>Şekil 4.2.</b> (a) TiC, (b) B <sub>4</sub> C, (c) SiC seramik takviye tozlarına ait FESEM görüntüleri .....	38
<b>Şekil 4.3.</b> Vakum infiltrasyon işlemi sonrası üretilen numuneler (a) İslatmanın tam sağlanamadığı numuneler, (b) İnfiltasyon işleminin tamamen başarısız olduğu numuneler.....	40
<b>Şekil 4.4.</b> Paşlanmaz çelik boru içerisindeki düzenek.....	41
<b>Şekil 4.5.</b> (a) Hassas terazi, (b) Tozların konulduğu kaplar.....	42
<b>Şekil 4.6.</b> (a) Sıvı matris metalini eritmek için kullanılan 1200°C'ye çıkabilen mini eritme fırını, (b) İnfiltasyon işlemi için eritilmiş sıvı matris metali .....	43
<b>Şekil 4.7.</b> Vakum infiltrasyon ünitesi .....	44
<b>Şekil 4.8.</b> (a) Al2024 matrisli hibrit kompozitler, (b) Al7075 hibrit kompozitlerin kesme sonrası görüntüleri, (c) Hassas kesme cihazı.....	46
<b>Şekil 4.9.</b> Çözündürme ve yaşlandırma ısıl işlemine ait reçete, (a)Al2024, (b)Al7075 .....	47
<b>Şekil 4.10.</b> Çözündürme ısıl işlem fırını .....	48
<b>Şekil 4.11.</b> (a)Yaşlandırma işlemi için kullanılan etüv fırını, (b) Üretilen hibrit kompozitlerin fırın içerisine yerleşimi.....	49
<b>Şekil 4.12.</b> Vickers sertlik ölçüm cihazı .....	50
<b>Şekil 4.13.</b> (a) Otomatik zımparalama ve parlatma cihazı, (b) Dağlayıcının hazırlandığı çeker ocak .....	51
<b>Şekil 4.14.</b> Optik Mikroskop.....	52

<b>Şekil 4.15.</b> FESEM, EDS cihazı.....	53
<b>Şekil 4.16.</b> XRD analiz cihazı .....	54
<b>Şekil 5.1.</b> Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %2,5 B <sub>4</sub> C- %2,5 SiC, (b) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %5 B <sub>4</sub> C- %5 SiC .....	57
<b>Şekil 5.2.</b> Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %2,5 TiC- %2,5 SiC, (b) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %5 TiC- %5 SiC .....	58
<b>Şekil 5.3.</b> Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %2,5 TiC- %2,5 B <sub>4</sub> C, (b) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %5 TiC- %5 B <sub>4</sub> C.....	59
<b>Şekil 5.4.</b> Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al <sub>7075</sub> + %2,5 B <sub>4</sub> C- %2,5 SiC, (b) Al <sub>7075</sub> + %5 B <sub>4</sub> C- %5 SiC.....	61
<b>Şekil 5.5.</b> Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al <sub>7075</sub> + %2,5 TiC- %2,5 SiC, (b) Al <sub>7075</sub> + %5 TiC- %5 SiC .....	62
<b>Şekil 5.6.</b> Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al <sub>7075</sub> + %2,5 TiC- %2,5 B <sub>4</sub> C, (b) Al <sub>7075</sub> + %5 TiC- %5 B <sub>4</sub> C.....	63
<b>Şekil 5.7.</b> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> EDS analizleri; (a) %5 B <sub>4</sub> C-SiC, (b) %5 TiC-SiC, (c) %5 TiC- B <sub>4</sub> C .....	65
<b>Şekil 5.8.</b> Al <sub>7075</sub> EDS analizleri; (a) %5 B <sub>4</sub> C-SiC, (b) %5 TiC-SiC, (c) %5 TiC- B <sub>4</sub> C .....	66
<b>Şekil 5.9.</b> Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %5 B <sub>4</sub> C-SiC, %5 TiC-SiC, %5 TiC- B <sub>4</sub> C hibrit kompozitlerin XRD analizi .....	68
<b>Şekil 5.10.</b> Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %10 B <sub>4</sub> C-SiC, %10 TiC-SiC, %10 TiC- B <sub>4</sub> C hibrit kompozitlerin XRD analizi .....	68
<b>Şekil 5.11.</b> Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al <sub>7075</sub> + %5 B <sub>4</sub> C-SiC, %5 TiC-SiC, %5 TiC- B <sub>4</sub> C hibrit kompozitlerin XRD analizi .....	69
<b>Şekil 5.12.</b> Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al <sub>7075</sub> + %10 B <sub>4</sub> C-SiC, %10 TiC-SiC, %10 TiC- B <sub>4</sub> C hibrit kompozitlerin XRD analizi .....	70

# TABLO LİSTESİ

## Sayfa

<b>Tablo 1.</b> Al alaşımları temel gösterim .....	10
<b>Tablo 2.</b> Al2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Kalay ve diğ. 2004) .....	11
<b>Tablo 3.</b> Al7075 kimyasal özellikleri (Yılmaz ve diğ. 2012) .....	11
<b>Tablo 4.</b> Bazı seramik takviyelerin özellikleri (Yılmaz ve diğ. 1995) .....	12
<b>Tablo 5.</b> Al matrisli, B <sub>4</sub> C ve SiC takviyeli hibrit kompozit %ağ. oranına göre gram hesaplaması .....	39
<b>Tablo 6.</b> Matris alaşımlarına ilave edilen seramik takviyeler ve takviye oranları .....	55
<b>Tablo 7.</b> Al2024 Sertlik Analizleri (HV0,1);B <sub>4</sub> C-SiC,TiC-SiC,TiC- B <sub>4</sub> C.....	71
<b>Tablo 8.</b> Al7075 Sertlik Analizleri (HV0,1);B <sub>4</sub> C-SiC,TiC-SiC,TiC- B <sub>4</sub> C.....	72

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

- MMK:** Metal Matrisli Kompozit  
**SMK:** Seramik Matrisli Kompozitler  
**PMK:** Polimer Matrisli Kompozitler  
**K-K:** Karbon-Karbon Kompozitler  
**İMK:** İntermetalik Matrisli Kompozitler  
**CMK:** Cam Matrisli Kompozitler  
**Al:** Alüminyum  
**Mg:** Magnezyum  
**Si:** Silisyum  
**Ti:** Titanyum  
**Cu:** Bakır  
**Ni:** Nikel  
**Zn:** Çinko  
**Mn:** Mangan  
**C:** Karbon  
**B:** Bor  
**B<sub>4</sub>C:** Bor Karbür  
**SiC:** Silisyum Karbür  
**TiC:** Titanyum Karbür  
**T/M:** Toz Metalurji Yöntemi  
**VİM:** Vakum İnfiltrasyon Metodu  
**BAP:** Bilimsel Araştırma Projeleri  
**FESEM:** Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu  
**EDS:** Enerji Dağılım Spektroskopisi  
**XRD:** X-ışını Difraktometresi  
**W<sub>k</sub>:** Kompozit ağırlığı  
**W<sub>f</sub>:** Fiberin ağırlığı  
**V<sub>f</sub>:** Fiber hacmi  
**W<sub>m</sub>:** Matris ağırlığı  
**V<sub>m</sub>:** Matris hacmi

## ÖNSÖZ

Tez çalışmalarında kullanılan malzeme ve ekipman alımı için destek veren Pamukkale Üniversite Bilimsel Aratırmalar Projeler Koordinatörlüğü birimine teşekkür etmekteyiz.

Tez konusunu belirleme ve hazırlama süreçlerinde beni yönlendiren, görüş, tavsiye ve en önemlisi bilgilerini hiçbir zaman benden esirgemeyen kıymetli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Sinan AKSÖZ' e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez süreci boyunca yapılan deneylerde parça üretiminde büyük yardımı dokunan, bu süreçte her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Hasan DURAN'a ve her konuda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Rıdvan ARSLAN ve Ahmet Semih KIŞLA'ya teşekkür ederim. Ayrıca deneysel çalışmalarımda ihtiyacım olması durumunda firma kapılarını sonuna kadar açan AKSÖZ ARGE MÜHENDİSLİK SANAYİ ve TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, her türlü maddi ve manevi desteği sonuna kadar sağlayan, her zaman bana umut veren, yardımlarını esirgemeyen ve en önemlisi karşılaştığım olumsuzluklara karşı beni motive eden sevgili aileme ve nişanlım Sercan DURU'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

# 1. GİRİŞ

Tarihsel süreç boyunca, yapılan çalışma ve araştırma konularında genel olarak insanların hayatlarını kolaylaştırmak ve ihtiyaçlarını karşılamak adına birçok malzeme geliştirildi. Her geçen yüzyılda değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte kullanılan geleneksel malzemelerin ihtiyaç ve gereksinimleri karşılayamadığı için yeni malzeme ve alaşım grupları üzerinden çalışmalar yürütülmüştür. Bu anlamda geliştirilen malzeme türleri arasında önemli bir yere sahip olan üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler keşfedilmiş ve üretilmeye başlanmıştır. (Carnie ve diğ. 1986) Kompozit malzemelerin ilk örneklerine binlerce yıl önce kerpiç tuğlalara kadar dayanmaktadır. Kerpiç tuğlalar saman ve balçık karışımı olarak bilinen kompozit yapı örnekleri olup, kompozit yapılar günümüzde yeni versiyonları ile halihazırda farklı alanlarda kullanıma sahiptir. (Kaya 2016)

Kompozit malzemeler sayesinde tek bir malzemedan çok daha üstün özellikler sağlanabilmektedir. Bu sayede tek bir malzeme özelliği gösteren ancak kimyasal olarak birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir (Jeevi ve diğ. 2019). Kompozit malzemeler yapılarına göre; metal, seramik ve organik olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır. Düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve iyi darbe dayanımları gibi üstün özelliklerinde dolayı Metal Matrisli Kompozitler (MMK) yeni nesil malzeme gruplarında tercih edilmektedir. MMK ana yapıyı metalin oluşturduğu genel olarak seramik ( $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $TiC$ ,  $TiB_2$  vb.) takviye elemanın kullanıldığı kompozitlerdir. (Alizadeh ve Taheri-Nassaj 2012) MMK'lerin üretiminde genel olarak kullanılan matris elemanları, hafif ve sünek yapıda olmalarından dolayı genel olarak alüminyum (Al), silisyum (Si), magnezyum (Mg) ve alaşımlar tercih edilmektedir (Şahin 2000). Bunların içerisinde en yaygın kullanılan matris elemanı Al ve alaşımlarıdır. Al alaşımları gösterdikleri yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek aşınma dayanımı, yüksek sıcaklıklara dayanma, hafiflik, geri dönüştürülebilir gibi özelliklere sahip olmalarından dolayı matris elemanı olarak kullanılmaktadır. (Bedir ve Ögel 2004) Al alaşımları ısıl işlem süreçleri ile mekanik özellikleri değiştirilebilmekte ve iyileştirilebilmektedir. Isıl işlem görebilen Al alaşımları

arasında 2xxx, 6xxx ve 7xxx serileri yaygın olarak araştırılmış ve birçok alanda kullanıma sahiptir.

2xxx serisi Al alaşımlarının sahip olduğu bakır oranı ile işlenebilirlik özelliğine sahiptirler. Bunun yanı sıra yüksek mukavemet/özgül ağırlık ile de hafiflik ve yüksek mukavemet istenilen yerlerde tercih edilmektedir. Al alaşımlarında dayanım özelliklerini arttırmak için yaşlandırma işlemi en temel yöntemdir. (Niu ve diğ. 2017) 7xxx serisi Al alaşımlarının birincil elementi çinkodur. Mg ve Cu ilavesi mukavemeti arttırmaktadır. Gösterdikleri yüksek dayanım özelliği ile havacılık, otomotiv, savunma vb. yüksek dayanıma ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılmaktadır. (Veeresh Kumar ve diğ. 2010)

Kullanılan matris elemanlarında hibrit kompozit yapı elde edebilmek için ilave edilen seramik takviye elemanları; TiC, yüksek dayanım, rijitlik, aşınma direnci ile çok yüksek sertliğe ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinden dolayı kaplamalarda yaygın olarak kullanılır. SiC, en çok kullanılan yapısal seramiklerden bir tanesidir. Düşük yoğunluk, aşınma karşı dirençli, yüksek ısıya dayanıklı ve yüksek sertlik gösteren seramik malzemedir. B<sub>4</sub>C, elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert seramik malzemedir. (Mahendra ve Radhakrishna 2010) Yüksek elastiklik modülü, yüksek termal kararlılık, mükemmel kimyasal kararlılık, çok iyi korozyon direnci, yüksek darbe dayanımı gibi özelliklere sahiptir (Uygur ve Saruhan 2004).

MMK'lerin üretimi farklı matris ve takviye elemanlarının kullanımına göre değişmektedir. Bu üretim yöntemleri genel olarak katı ve sıvı hal işlemleridir. Katı hal üretimi; toz metalurjisi (T/M), difüzyonla bağlama, sıcak hadde vb., sıvı hal üretimi; infiltrasyon, karıştırmalı döküm, basınçlı döküm gibi yöntemler ile üretilmektedir (Şahin 2000). Katı hal yöntemlerinden biri olan T/M yöntemi kompozitler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Partikül takviyeli malzemelerin üretiminde kullanılmasının nedeni; takviye malzemesine yüksek mukavemet ve malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmesidir (Ma ve diğ. 2005). Kompozit üretiminde en önemli sorun matris ve takviye malzemesi arasındaki ıslatılabilirliktir. Bu sorunun çözümü için hem ekonomik hem de pratik bir yöntem olan infiltrasyon yöntemi tercih edilmektedir. İnfiltrasyon

yönteminde sıvı metal emdirme işlemi ile sıvı seramik elde etmek için kullanılmaktadır (Aksöz ve diğ. 2013). İnfiltrasyon yöntemi; basınçlı, basınçsız ve vakumlu olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Sıcaklık, basınç ve süre infiltrasyon yöntemi en çok dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. (Yılmaz ve Altıntaş 1993)

Bu çalışmada; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matris, B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC takviye hacim oranlarının vakum infiltrasyon metodu (VIM) ile hibrit kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen hibrit kompozitlere çözündürme ve yaşlandırma işlemi uygulandıktan sonra mekanik özelliklerin incelenmesi için mikro sertlik ve yüzey incelemelerinde FESEM, EDS ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sayesinde oluşturulması muhtemel hibrit yapılarda kullanılan hibrit kompozitlerin ıslatabilirliği incelenmiş ve sertlik değerleri üzerinde etkileri değerlendirilerek, literatürde bu kısımlarda yer alan açıklar giderilmeye çalışılmıştır.



## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

### 2.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı

Kompozit malzemeler; iki veya ikiden fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile malzemenin en iyi özelliklerini bir araya toplanarak tek bir malzeme özelliği gösteren malzemelerdir (Das ve diğ. 2014). Kompozit malzemeler bir araya getirilen malzemelerin özelliklerinden farklı özellik göstermektedir. Kompozit yapılar ana fazı matristen oluşan ve bunun içerisinde dağıtılan takviye elemanından oluşmaktadır. Yüksek dayanım, yüksek yorulma direnci, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme, yüksek korozyon ve aşınma dayanımının yanı sıra hafif olmalarından dolayı havacılık, demiryolu, otomotiv, uzay ve tıp endüstrilerinin de yaygın olarak kullanılmaktadır. (Chan ve diğ. 1993) (Uthayakumar ve diğ, 2013) Matris fazı, takviye fazına göre daha kolay şekil verilebilen, daha sünek ve kendine özgül özelliklere sahiptir. Takviye fazı ise matris fazından daha sert bir yapıya sahiptir. (Haghshenas 2016) Mühendislik malzemelerin hemen hemen hepsi kompozit malzeme üretiminde kullanılmakta ve takviye elemanlarında ise farklı malzemeler denenmektedir. Bu nedenle kompozit malzemeler sahip olduğu farklı matris ve takviye elemanlarına göre sınıflandırılmaktadırlar. (Yılmaz ve Evcı 2015)

### 2.2. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler yapısı gereği iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Diğer mühendislik malzemelerine göre daha farklı ve üstün özellikler göstermektedir. Özgül ağırlıklarının düşük olması ile birlikte ağırlığın istenmediği yerlerde ilk akla gelen malzeme grupları içerisinde yer almaktadır. (Saraç 2012) Kompozit malzemelerin avantajları:

- **Hafiflik:** Kompozit malzemeler sahip olduğu birim alan ağırlığında daha yüksek mukavemet gösterdikleri için metal malzemelere göre oldukça hafiftirler. Hafiflik kompozit malzemeler de en önemli özelliklerden biridir.
- **Yüksek Mukavemet:** Çekme, basma ve eğme dayanımları metal malzemelerden daha yüksektir. Kompozit malzemeler istenilen bölge ve yöne doğru mukavemet gösterebilmektedir.
- **Elektriksel İletkenlik:** Kompozit malzemelerin uygun yer ve uygun malzeme seçimi ile hem iyi bir yalıtkan hem de iyi bir iletken olması sağlanabilmektedir.

- **Titreşim Sönümlenme:** Kompozit malzemelerin süneklik özelliği sayesinde doğal bir titreşim sönümlenme özelliğine sahiptir. Bu sayede yüzeydeki çatlakların ilerlemesini en düşük seviyeye indirebilmektedir.
- **Isı ve Ateşe Dayanıklılık:** Kompozit malzemelerin ısıya dayanıklılık özelliğinden dolayı, yüksek ısılara dayanabilmektedir.
- **Kimyasal Etkilere ve Korozyona Karşı Mukavemet:** Kompozit malzemeler kimyasal maddelerden ve değişen hava şartlarından zarar görmemektedir. Bu nedenle, tekne, diğer deniz araçları, kimyasal madde taşıyan tank ve borularda en çok tercih edilen malzemedir. (Kılıç 2008) (Bulut 2014) (Yıldızhan 2008)

Tüm bu olumlu yönleri dışında her malzemede olduğu gibi kompozit malzemelerinde dezavantajları vardır. Kompozit malzemelerin dezavantajları;

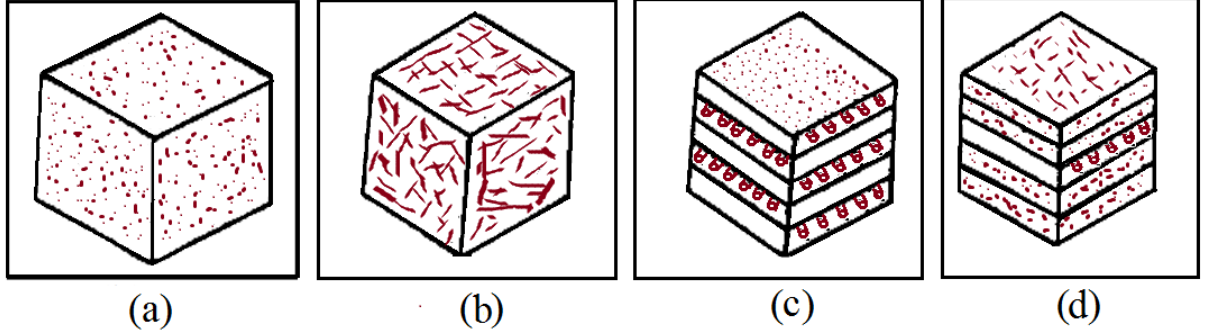
- Kompozit malzemeler hassas imalata uygun değildir.
- Aynı kompozit malzemeler için eğme, çekme, basma ve kesme mukavemetleri her zaman aynı özellik göstermemektedir.
- Kompozit malzemelerin üretiminde standart bir kalite olmadığı için üretim yöntemleri malzemenin kalitesini belirlemektedir.
- Kompozit malzeme üretiminde oluşabilecek hava boşlukları kompozitin kalitesini düşürmektedir. (Campell 2010) (Yıldızhan 2008)

### 2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler malzemeler matris malzemesinin türüne ve takviye malzemesinin yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesinin türüne bağlı olarak;

- Metal Matrisli Kompozitler (MMK)
- Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)
- Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)
- Karbon-Karbon Kompozitler (K-K)
- İntermetalik Matrisli Kompozitler (İMK)
- Cam Matrisli Kompozitler (CMK) olarak 6 gruba ayrılmaktadır (Nishida 2013). Matris malzemesi kompozit malzemenin birçok özelliğini taşımaktadır ve bu yüzden kompozit malzemenin en önemli elemanıdır. Matris malzemesinin görevlerinden biri yapı içerisinde takviye elemanını bir arada tutmaktır. Bu sayede içyapıda homojen bir dağılım sağlanabilmektedir.

Takviye malzemeleri matris malzemesinde olduğu gibi farklı yapılara sahiptir ve sınıflandırması Şekil 2.1’de verilmektedir. Takviye malzemeleri en önemli görevleri matris içerisinde homojen dağılımı sağlayıp, yapılarının sert olmasından dolayı gerilmelere karşı kompozit malzemenin mukavemetini artırmaktır (Akın 2007).



**Şekil 2.1.** Takviye malzemelerinin yapısına göre sınıflandırılması; (a) Parçacıklı kompozit, (b) Elyafli kompozit, (c) Tabakalı kompozitler, (d) Karma kompozitler (Ünal 2010)

Takviye malzemesinin yapısına göre;

- Parçacıklı Kompozitler
- Elyafli Kompozitler
- Tabakalı Kompozitler
- Karma (hibrit) Kompozitler olarak 4 gruba ayrılmaktadır (Ünal 2010).

### 2.3.1. Parçacıklı Kompozitler

Parçacık takviyeli kompozitler, mikroskobik boyutta matris içerisinde parçacıklar şeklinde dağılmasıyla elde edilir. 1  $\mu\text{m}$ 'den büyük ise parçacık, küçük ise partikül olarak adlandırılırlar. Kompozitin mekanik olarak dayanımının homojen olması parçacıkların homojen olarak dağılmasından kaynaklanmaktadır. Yapının mukavemeti de eklenen parçacığın sertliği ve temel özelliklerine bağlıdır. MMK'ler içerisine seramik parçacıkların takviyesi, yüksek sıcaklık dayanımı ve sertlik sağlamaktadır. Böylelikle uçak parçalarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Ünal 2006) (Kurt 2010) (Bayar 2009)

### 2.3.2. Elyafli (Fiber) Kompozitler

Elyafli kompozitler, ince elyafların matris içerisinde dağılımı ile meydana gelmektedir. Matris içerisinde fiberlerin yönü ve dağılımı, kompozitin mukavemetini

önemli derecede etkilemektedir. Sürekli ve süreksiz olarak fiber takviye malzemeleri olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Fiberlerin matris içerisinde dik halde yönlenmesi düşük mukavemete neden olurken doğrusal olarak yönlenmesi yüksek mukavemet sağlamaktadır. Ayrıca fiberlerin iki yönlü dağılımı yapıdaki dayanımı eşit olarak dağıtmaktadır. Fiberlerin mekanik özellikleri matris malzemesi arasındaki bağlanma ile değişim göstermektedir. Matris malzemenin gözenekli yapıda olması ve bağlanma ortamındaki nem miktarı kompozit oluşumunu olumsuz yönde etkilemektedir. Fiberler, kuvvet karşında şeklini koruma, yüksek mukavemet ve hafif olmaları nedeni ile uzay ve havacılık alanlarında en çok tercih edilen malzeme olmalarını sağlamaktadır. (Bulut 2014) (Akbulut 2006) (Ünal 2006)

### **2.3.3.Tabakalı Kompozitler**

Tabakalı kompozitler, geçmişten günümüze kullanımı en yaygın olan kompozit türüdür. Fiberlerin farklı yönlenmesiyle üst üste gelecek şekilde dizilmiş kompozitlerdir. Bu yönlenme yapıya yüksek mukavemet kazandırmaktadır. Fiberlerin aksine nem ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bir yapıya sahiptir. Tabaka sayısının fazla olması dayanıklılığı arttırmakta aynı zamanda üretim maliyetini düşük olması da avantaj sağlamaktadır. Hafif ve yüksek mukavemetli olmaları uçakların kanat ve gövde parçalarında, ayrıca uçakların yüzey kaplamalarında kullanım alanı sağlamaktadır. (Bulut 2014) (Ünal 2006) (Kaya 2016)

### **2.3.4.Karma (Hibrit) Kompozitler**

Karma kompozitler, matris içerisinde birden fazla takviye malzemesinin bulunmasıyla elde edilmektedir. Bu yapılara hibrit adı da verilmektedir ve yeni malzemelerin gelişmesine imkân sağlamaktadır. Kullanılan farklı takviyelerin özelliklerinin bir arada toplanması ile daha üstün özelliklerin malzemeye kazandırılması mümkündür. Örnek olarak; grafit düşük tokluğa sahip, iyi basma mukavemeti gösteren fakat yüksek maliyetli malzemelerdir. Kevlar ise tok, ucuz ve basma mukavemeti düşüktür. Bu iki malzemenin hibrit yapı oluşturması sonucu grafitten daha tok ve ucuz, kevlar malzemedan daha yüksek basma mukavemetine sahip kompozit yapı üretimi gerçekleşmiş olur. (Ünal 2006) (Kaya 2006) (Sur 2008)

## 2.4. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

1960'lı yılların başında mevcut malzemelerden daha yüksek spesifik özelliklere sahip ve daha yüksek sıcaklıklara çıkabilen malzemelere duyulan ihtiyaç nedeniyle MMK geliştirilmiştir (Mazumdar 2002). MMK, matris malzemesi olarak metal ve metal alaşımları, takviye malzemesi olarak da seramik veya refrakter malzemelerin tercih edildiği kompozitlerdir. Metallerin plastik şekil değiştirme ve seramiklerinde yüksek elastiklik modülünün bir araya gelmesiyle yüksek dayanım ve yüksek mukavemet elde edilmektedir. (Ma ve diğ. 2005)

MMK yapıda metal alaşımları ve seramik takviyelere sahip olmasından dolayı üstün özelliklere sahiptirler. Sahip oldukları üstün özellikler:

- Düşük yoğunluk
- Yüksek mukavemet
- Yüksek tokluk ve darbe dayanımı
- Tekrar üretilebilir içyapı
- Yüksek esneklik modülü
- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği
- Yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet
- Yüksek sıcaklıklarda çalışabilme özelliklerine sahiptirler. (Akbulut 1995) (Akbulut ve diğ. 2009) (Evans ve diğ. 2003)

## 2.5. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları

MMK sahip oldukları özellikler sayesinde birçok alanda kullanılmaktadır. Uzay parçalarında otomobil parçalarına, tekstil malzemelerinden evlerde kullandığımız malzemelere kadar uzanmaktadır. Bunları detaylandırarak olursak;

- Tekstilde; mekik makinelerinde
- Tıp alanında; tekerlekli sandalyelerde, diş protezlerinde
- Havacılık sektöründe; uçakların gövde ve iç donanımlarında, türbin kanatlarında, helikopter parçalarında
- Elektrik alanında; kablolar, ev aletlerinde, akü plakalarında,
- Uzay sanayisinde; antenlerde ve uzay parçalarında

- Otomotiv sanayisinde; motor bloklarda, pistonlarda, bazı otomobil parçalarında
- Spor alanında; bisiklet çerçevelerinde, tenis raketlerinde, kayak ekipmanlarında, golf sopalarında ve oltalarda
- Kesici uçlarda
- Kimyasal ekipmanlarında, tank ve borularda
- Korozyon dayanımı istenen her yerde MMK yoğun olarak kullanılmaktadır. (Bulut 2014) (Hassan ve Aigbodion 2015)

## **2.6. Metal Matrisli Kompozitlerin Matris Malzemeleri**

MMK' de matris malzemesi olarak metal ve metal alaşımları kullanılmaktadır. Kompozitler eklenen matris malzemesinin en belirgin özelliklerini hatta takviye malzemesiyle birlikte daha üstün özellikler göstermektedir. Matris malzemeleri ilave edilen takviye malzemesinin yapı içerisindeki gereken boyut ve geometrik dağılımını sağlamaktadır. Düşük yoğunluk, yüksek tokluk, özgül ağırlık oranları, atmosfere karşı yüksek korozyon dayanımı ve en önemlisi hafifliğin ön planda olan metal malzemeler tercih edilmektedir. (Clyne ve Hull 2019)

Genellikle MMK matris malzemesi olarak Al, titanyum (Ti), Cu, silisyum (Si), nikel (Ni) ve çinko (Zn) metal ve metal alaşımları kullanılmaktadır (Taya ve Arsenault 2016).

### **2.6.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları**

Al ve alaşımları çelikten sonra en çok kullanılan mühendislik malzemesidir. Doğada yaygın olarak bulunabilmekle birlikte ilk üretim maliyeti oldukça düşüktür (Altenpohl 1980). Yüksek korozyon dayanımı, düşük yoğunluk, yanıcı ve parlayıcı olmaması, tekrar geri dönüştürülebilir olması, yüksek ısı iletkenliği, yüksek elektriksel iletkenliği, kaynaklanabilir olması ve diğer mühendislik malzemelerine göre sergilediği yüksek spesifik dayanım ile üstün özelliklere sahiptirler. Ayrıca hafifliğinin ön planda olması havacılık, uzay ve otomotiv sanayisinde oldukça geniş kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır. Alüminyumun sahip olduğu ergime sıcaklığı kompozit üretimi için yeterli sıcaklıkta ve diğer metal alaşımlarına göre daha ucuz olması büyük avantaj sağlamaktadır. (Newkirk 2003)

Al alaşımları üretim yöntemine göre; dövme ve döküm yöntemi olarak 2 gruba ayrılmaktadır. Dövme Al alaşımları; kütük veya külçe halinde üretilmektedir. Haddeme, dövme, çekme ve ekstrüzyon gibi prosesler ile yarı mamül ürünlerinin üretimini sağlamaktadır. Dökme Al alaşımları ise; genel olarak yarı ve nihai formlara dökülen külçe veya kütük malzemelerdir. Daha sonrasında haddeme, dövme gibi işlemler kullanılmamaktadır. (Askeland ve diğ. 2010) Al alaşımlarında matris malzemesi olarak en yaygın havacılık, otomotiv ve pek çok alanda avantaj sağladıklarından dolayı 2xxx ve 7xxxx seri alaşımları tercih edilmektedir. 2xxx ve 7xxx serilerine yapılan yaşlandırma ısıl işlemi ile de mukavemet ve sertleşebilirlik artmaktadır. Al ve alaşımlarının temel gösterimi Tablo1’ de verilmektedir.

**Tablo 1.** Al alaşımları temel gösterim

<b>SİMGE</b>	<b>TEMEL ALAŞIM ELEMENTLERİ</b>
1XXX	(%99.9) Saf Alüminyum
2XXX	Bakır (Cu)
3XXX	Mangan (Mn)
4XXX	Silisyum (Si)
5XXX	Magnezyum (Mg)
6XXX	Magnezyum (Mg)- Silisyum (Si)
7XXX	Çinko (Zn)
8XXX	Kalay (Sn)
9XXX	Kullanılmaya seri

2xxx serinin ana alaşım elementi bakırdır. Cu oranının yüksek olması ısıl genleşme katsayısı, akışkanlığı, elektrik iletkenliğini ve en önemlisi korozyon dayanımını düşürmektedir. Bunun yanı sıra sertliği ve mukavemeti önemli ölçüde artırmaktadır (Tariq ve diğ. 2012).

Al2024 alaşımı: Al alaşımları arasında yüksek sertlik ve dayanım değerleri ile elastisite modülü en yüksek olan alaşımdır. Al2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 2’de yer almaktadır. (Dilmeç ve diğ. 2015) Sahip olduğu yüksek

mukavemet / özgül ağırlık oranından dolayı uçak ve uzay sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; uçak gövde ve kanatlarında, dişli ve bağlantı ekipmanlarında, uçak motoru silindir başlarında ve uçak iskeletlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca jet motor pervanelerinde, dizel motor pistonlarında, askeri cihazlarının da üretimi mümkündür. (Kalay ve diğ. 2004)

**Tablo 2.** Al2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Kalay ve diğ. 2004)

ELEMENT	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Al
%AĞIRLIK	4,5	1,5	0,6	0,23	0,08	0,05	Kalanı

Yaşlandırılabilir Al alaşımlarından bir tanesi de 7xxx serisi alaşımlarıdır. 7xxx serisinin en önemli elementi çinkodur. Bu sayede yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Mekanik dayanımlarının artırılması Zn ve Mg katı çözünebilirliğe sahip olmasıyla birlikte çözündürme işlemi ile sağlanmaktadır. (Oğuz 1990) (Deschams ve diğ. 2001)

Al7075 alaşımı; Al alaşımları içerisinde ısıl işlem yapılabilme özelliği ile en yüksek dayanıma sahip alaşımdır. Yapıdaki Mg elementi çok yüksek mukavemet ve ısıya dayanıklı malzemelerin üretimini sağlamaktadır. Korozyon direnci diğer alaşımlara göre düşüktür. (Özcan 2014) (Torun ve diğ. 2017) Al7075 alaşımının kimyasal özellikleri Tablo 3’de yer almaktadır. Al7075 alaşımı birçok kullanım alanına sahiptir. Göstermiş oldukları yüksek dayanım sayesinde otomotiv sanayi, makine parçaları, nükleer uygulamalar, uçak gövde ve kanatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Karakoç 2020) (Kim ve diğ. 2001)

**Tablo 3.** Al7075 kimyasal özellikleri (Yılmaz ve diğ. 2012)

ELEMENT	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Al
%AĞIRLIK	5,4-6	2-2,5	1,5	0,5	0,4	0,014	0,01	Kalan

## 2.7. Metal Matrisli Kompozitlerin Takviye Elemanları

MMK üretiminde takviye elemanları da matris malzemesi kadar önemli bir yere sahiptir. Takviye elemanlarının en önemli görevi, matris içerisinde homojen



dağılım sağlamak ve matrisin maruz kaldığı yükü destekleyerek matris dayanımını artırmaktır (Nishida 2001) (Biner 2002).

MMK kullanılan başlıca takviye elemanları;  $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $TiC$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiB_2$ ,  $W$  ve  $C$  dur. Tablo 4’de bazı seramik takviyelerin özellikleri verilmiştir. Takviye elemanı olarak seramik takviyelerin kullanılmasının nedenleri:

- Yüksek sertlik
- Düşük yoğunluk
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Aşınmaya karşı dayanıklılık
- Yüksek kimyasal kararlılık
- Yüksek çekme ve basma dayanımı
- Metallere göre daha az maliyete sahip olmalarıdır. (Eryılmaz ve Özgen 200) (Çanakçı 2006)

Tez çalışmasında, Tablo 4’de yer alan içerikler hibrit kompozit üretiminde kullanılmıştır.

**Tablo 4.** Bazı seramik takviyelerin özellikleri (Yılmaz ve diğ. 1995)

Takviye Elemanı	Yoğunluk $gr/cm^3$	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
$B_4C$	2,5	6,5	480
$SiC$	3,2	3	480
$TiC$	4,9	-	320

### 2.7.1. Bor Karbür ( $B_4C$ )

Doğada bulunan  $B_4C$ , elmas ve bor nitrürden sonra bilinen en sert malzeme olarak bilinmektedir. Yüksek elastiklik modülü, yüksek termal kararlılık, mükemmel kimyasal kararlılık, çok iyi korozyon direnci, yüksek darbe dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca  $B_4C$  takviye elemanı gevrek kırılmaya karşı duyarlı olması üretimini zorlaştırmakta ve kullanım alanını kısıtlamaktadır. Al’un ilavesi ile  $B_4C$  takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin sınırlandırılması ve üretimde karşılaşılan problemler büyük oranda azalmaktadır. Seramik malzemeler arasında en hafif

malzemelerdir. Ayrıca hafif olması nedeni ile malzemeye kütlece değiştirmeden mekanik özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için kullanılmaktadır. B<sub>4</sub>C sertliğinin yüksek olması kompozit malzemenin ekstrüzyon üretim yapmasını sınırlandırmaktadır. İyi bir iç yüzey bağlanması için Al ve B<sub>4</sub>C arasındaki ıslatılabilirliğin sağlanması gerekmektedir. (Lee ve Kang 2001) (Çanakçı 2006) (Uygur ve Saruhan 2004)

### **2.7.2. Silisyum Karbür (SiC)**

Si, doğada çok bulunan elementlerdendir. MMK malzemelere en çok takviye edilen seramik malzemedir. Yüksek çalışma sıcaklıkları ile birlikte göstermiş olduğu mekanik özellikler sayesinde en önemli seramik takviyeler arasında yer almaktadır. SiC, elmas ve B<sub>4</sub>C'den daha düşük sertliğe sahip olmalarının yanında çok iyi aşındırıcı özelliği göstermektedir. Aynı zamanda sert malzemelerin son işlem basamaklarında, metal dışı malzemelerin öğütülmesinde ve maliyetin önemli olduğu yerlerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Yüksek aşınma direnci, iyi ısıl genleşme, düşük sürtünme katsayısı ile gaz türbinleri, otomobil ana ve yedek parçalarında, parlatma işlerinde ve aşındırıcı takım malzemelerinde tercih edilmektedir. Oksitlenme dayanımı, termal direnç ve yüksek sıcaklıklara dayanımından dolayı pişirme ocaklarında refrakter malzeme, dökümün yapılacağı filtrelerde, döküm potalarında ve askeri zırhların yapımında kullanılmaktadır. SiC göstermiş olduğu üstün özellikler sayesinde MMK üretiminde yaygın olarak kullanılan seramik takviye elemanı olmaktadır. (Ahlatçı ve diğ. 2002) (Zhu ve diğ. 2001) (Doğan ve Mutlu 2022)

### **2.7.3. Titanyum Karbür (TiC)**

Titanyum (Ti), yer kabuğında çok bulunan elementler arasındadır. Çok bulunmasına rağmen ender olarak yüksek konsantrasyonlar da bulunur ve saf haline çok rastlanmamaktadır. Pahalı bir malzeme olduğu için üretimi zordur. (Leyens ve Peter 2003) Ti düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci ile ileri teknoloji çalışmalarında kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Tanrıöver ve Taşçı 1997).

TiC, yüksek sıcaklıklarda özelliğini koruyabilen ve yüksek kimyasal kararlılığa sahip malzemelerdir. Yüksek kararlılığı ile tungsten karbüre (WC) benzer özellikler

göstermekte ve MMK imalatında takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda refrakter malzeme olarak da kullanılmaktadır. (Mishra ve diğ. 2011)

TiC sahip olduğu üstün özellikler sayesinde birçok kullanım alanına sahiptir. En çok kullanıldığı alanları; kesme takımları, aşındırıcı, kesici uç, ısıtma elemanı, besleme vidaları, bilyeli yataklar, ekstrüzyon nozülleri ve yüksek voltaj pilleri gibi yerlerdir (Pierson 1996).

### 3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemelerin günümüz teknolojisinde üstün mekanik özellikler sergilemesi, son yıllarda bu malzemelerin üretim yöntemleri üzerine daha yoğun çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur. MMK'lerin üretiminde göz önünde bulundurulması gereken hususlar; matris ve takviye malzemesi, matris ve takviye elemanın şekil ve türü, üretilecek malzemenin fiziksel ve mekanik özelliği, çalışma sıcaklığı, üretilecek parçanın boyutları, matris içerisindeki homojen dağılımı, takviye malzemesinin ıslatma durumu ve üretim maliyetidir. (William ve Harrigan 1998) (Clyne ve Hull 2019)

MMK'lerde metal matris ve seramik takviye malzemesinin arasında oluşturdukları bağ mekanik özellikler açısından çok önemlidir. Oluşturdukları bu bağın kalitesi üretim yöntemiyle doğrudan ilişkilidir. MMK üretim yöntemleri üç ana grupta toplanmakta ve alt gruplara da ayrılmaktadır. MMK üretim yöntemleri;

#### 1. Katı Hal Yöntemleri

- Difüzyon ile Birleşme
- Sıcak Haddeleme
- Toz Metalurjisi

#### 2. Sıvı Hal Yöntemleri

- Püskürtme
- Karıştırmalı Döküm
- Sıkıştırırmalı Döküm
- Basınçlı Döküm
- Yarı Katı Döküm
- İnfiltrasyon

#### 3. In-situ (Reaktif) Yöntemi olarak gruplara ayrılmaktadır. (Şahin 2000)

#### 3.1. Katı Hal Yöntemi

Katı hal yöntemi MMK'lerin üretiminde en yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu üretim yönteminde matris malzemesine ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanması sonunda kompozit malzeme üretimi

gerçekleşmektedir. Katı hal üretim yönteminde, sıvı hal yöntemine göre daha üstün mekanik özellikler elde edilmekte fakat üretim maliyeti daha yüksek olmaktadır. (Şenel ve diğ. 2018)

### **3.1.1. Difüzyon ile Birleştirme**

Difüzyon ile birleştirme, levha veya yaprak şeklindeki matris malzemesi ile levha ve fiber şeklindeki takviye malzemesinin üst üste dizilerek, her ikisinin de ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta basınç ile birlikte difüzyonla birleşmelerini sağlayan üretim yöntemidir. Bu yöntemle, MMK'ler levha ve istenilen biçimlerde üretilebilmektedir. Difüzyon ile birleştirme yönteminde matris ve takviye malzemelerinin yüzeyleri temiz, düzgün ve oksitsiz olmaktadır. Ayrıca üretim, vakum altında, koruyucu gaz altında ve atmosfer basıncında gerçekleştirilmektedir. Matris malzemesi olarak Al ve Ti takviye malzemesi olarak B<sub>4</sub>C, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmaktadır. (Sur 2002) (Akınay ve diğ. 2009) (Mollaoğlu 2011)

### **3.1.2. Sıcak Haddeme**

Sıcak haddeme, difüzyon ile birleşme yönteminde olduğu gibi levha veya yaprak şeklinde matris ve takviye malzemesi kullanılmaktadır. Levha şeklindeki matris malzemesinin arasına konulan takviye malzemeleri yüksek sıcaklıklarda ve basınç altında haddelenmektedir. Haddeme işleminden sonra kalıcı gerilmeleri azaltmak için parça yavaş soğumaya bırakılmaktadır. Bu yöntemde plaka şeklindeki kompozit malzemelerin üretimi sağlanmaktadır. Diğer üretim yöntemlerine göre daha ekonomiktir. Üretilen kompozit malzemeler yüksek sıcaklık ve yüksek dayanım istenilen kullanım alanlarında mekanik özelliklerini korumaktadır. (Kumar ve diğ. 2018) (Park ve diğ. 2020)

### **3.1.3. Toz Metalurjisi (T/M)**

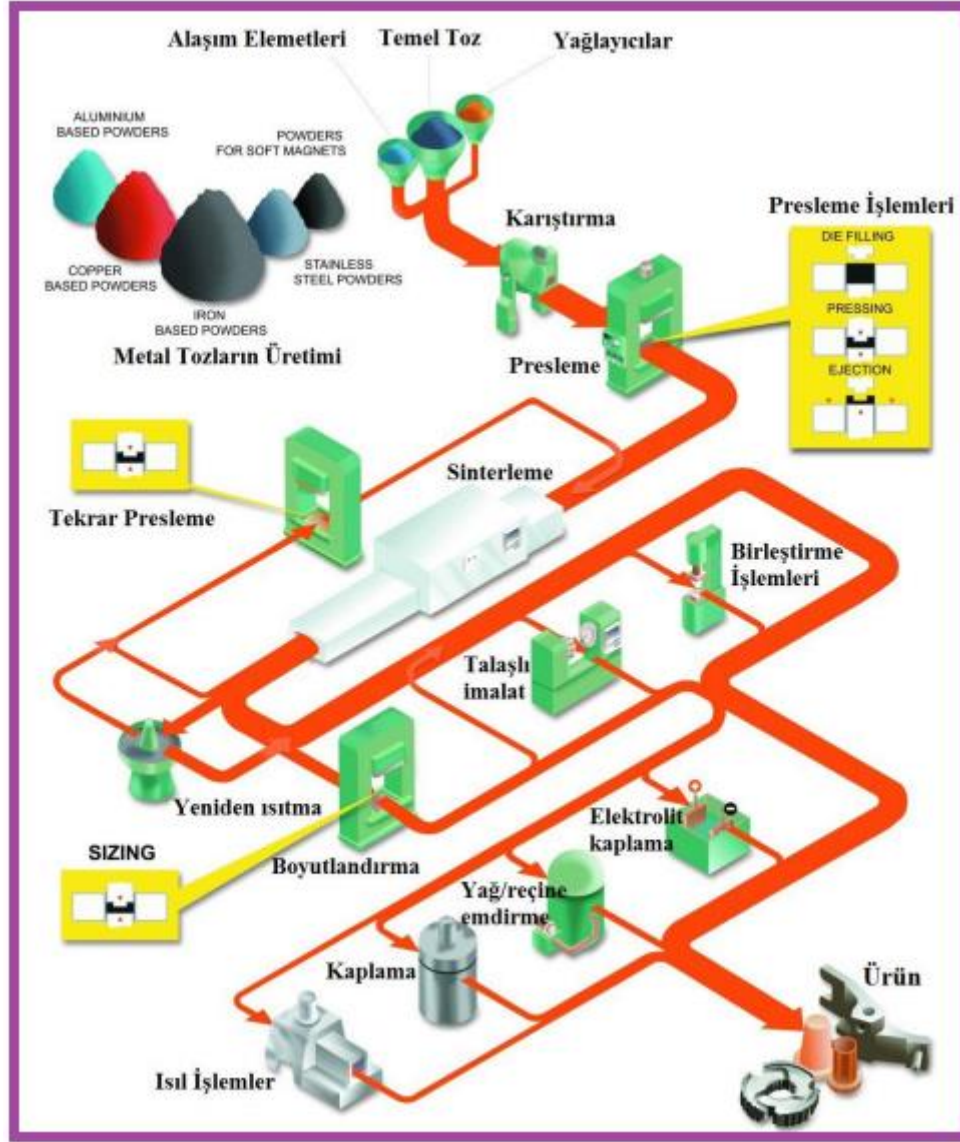
Toz metalurjisi (T/M), metal ve alaşım tozların üretilmesi, üretilen bu tozların homojen olarak birbiri içerisinde harmanlanması, tozların istenen şekle ve geometriye göre kalıplanarak preslenmesi son olarak ergime sıcaklığının altında uygun bir sıcaklıkta sinterleme işlemi uygulanarak imal edilme yöntemidir. (Buytoz ve diğ. 2014) (Angelo ve Subramanian 2008)

T/M'de kullanılan tozlar  $1\mu\text{m}$ 'den daha küçük ve  $1000\mu\text{m}$  ye kadar geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebilir. Değişen parçacık boyutları hemen hemen her şekle sahip malzeme üretimi için uygundur. Böylelikle karmaşık şekilli parçaların imalatı oldukça kolay ve ekonomiktir. Toz metalurjisi ile üretilen toz şekilleri Şekil 3.1 'de verilmiştir. (Karagöz ve diğ. 2009) Kompozit parçaların üretimi için en yaygın kullanılan yöntemdir. Seramik takviye malzemelerini sıvı metal içerisinde ıslatılabilirliğin güç olmasından dolayı geliştirilmiş bir yöntemdir. T/M yöntemi ile toz halindeki matris malzemesine genellikle whisker veya partikül şeklindeki toz takviye malzemeleri eklenerek MMK üretimi sağlanmaktadır. (Nazik 2013)



Şekil 3.1.Toz şekilleri (Kevenlik 2013)

Toz üretim aşamasında ilk olarak tozlar yağlayıcılarla birlikte kalıba alınmaktadır. Buradaki yağlayıcıların önemi kalıbın ömrünü uzatmak ve parçanın kalıptan rahatça çıkmasını sağlamaktır. Homojen olarak karıştırılan tozlar istenilen şekle göre preslenerek sinterleme işlemine tabi tutulur. Şekil verilen tozlar ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda sinterlenerek tozların birbiri ile bağlanmasını kolaylaştırmaktadır. Nihai ürünü çıkarmak için taşlama, kaplama, yüzey sertleştirme, yüzey parlatma gibi ikincil işlemler uygulanmaktadır. Şekil 3.2 'de T/M üretim basamakları şematik olarak yer almaktadır. (Güven 2011) (Höganäs 2004)



Şekil 3.2.T/M üretim basamakları (Öztürk ve İcin 2015)

T/M yöntemi birçok alan ve parça üretiminde kullanılmaktadır. Bunlar; dişliler, yakıt pompa elemanları, metalik filtreler, kendinden yağlamalı yataklar, gözenekli malzemeler, takım çelikleri, elmas uçları, elektrik kontakları, balatalar ve daha pek çok kullanım alanına sahiptir. (German 2007) (Mediha 2007) (Öksüz 2011)

### 3.1.3.1. Toz Metalurjisi Avantaj ve Dezavantajları

T/M yönteminde parça üretimi için şekil boyutları, şekil karmaşıklığı, fiziksel ve mekanik özellikler ve maliyet gibi parametreler oldukça önem taşımaktadır. Bu parametrelerin kavranabilmesi için avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. T/M yönteminin avantajları;

- Dar boyut toleransı ve iyi yüzey kalitesi elde edilebilir.
- Karmaşık parçaların üretimi mümkündür.
- Parça üretiminde ham malzemenin %99 kullanılarak malzeme kaybı ortadan kaldırılmış olur.
- Seri üretim için uygundur.
- Dövme ve döküm yöntemlerine göre daha ekonomik ve daha kaliteli parçalar üretilmektedir.
- Kompozit malzemelerin üretimi için en çok tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir.
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip olan ve sert metallerin üretiminde kullanılan tek ekonomik yöntemdir.
- Gözenekli yapıdaki malzemelerin istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere göre üretimini sağlamaktadır. (Ayata 2014) (Öztürk ve İcin 2015)

T/M yönteminin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. T/M yönteminin dezavantajları;

- Seri üretim gerçekleşmediği takdirde presleme ve sinterleme ünitelerinin ilk yatırımları oldukça pahalıdır.
- Preslenen ürünlerin deforme olması tozların homojen olarak dağılmaması halinde yüksektir.
- Metal tozlarının maliyeti ingot halinden daha pahalı ve bazıları yanıcı olabilmektedir.
- Çok büyük boyutlardaki parçaların imalatı mümkün değildir.
- Talaşlı imalata göre tolerans değerleri daha fazladır. (Çelebi 2013) (Ayata 2014) (Öztürk ve İcin 2015)

### **3.1.3.2. Toz Üretim Yöntemleri**

T/M yönteminde elde edilecek malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri başlangıç malzemesine bağlıdır. Başlangıçtaki tozların saflık oranları, boyutları, kimyasal bileşim, toz yapıları, parçacık boyut dağılımları ve sergiledikleri yüzey özellikleri parça üretimi için dikkat edilmesi gereken parametrelerdendir. Ergime sıcaklığı, tozun boyutu, mikro yapı özellikleri, tozun şekli ve maliyeti toz üretim

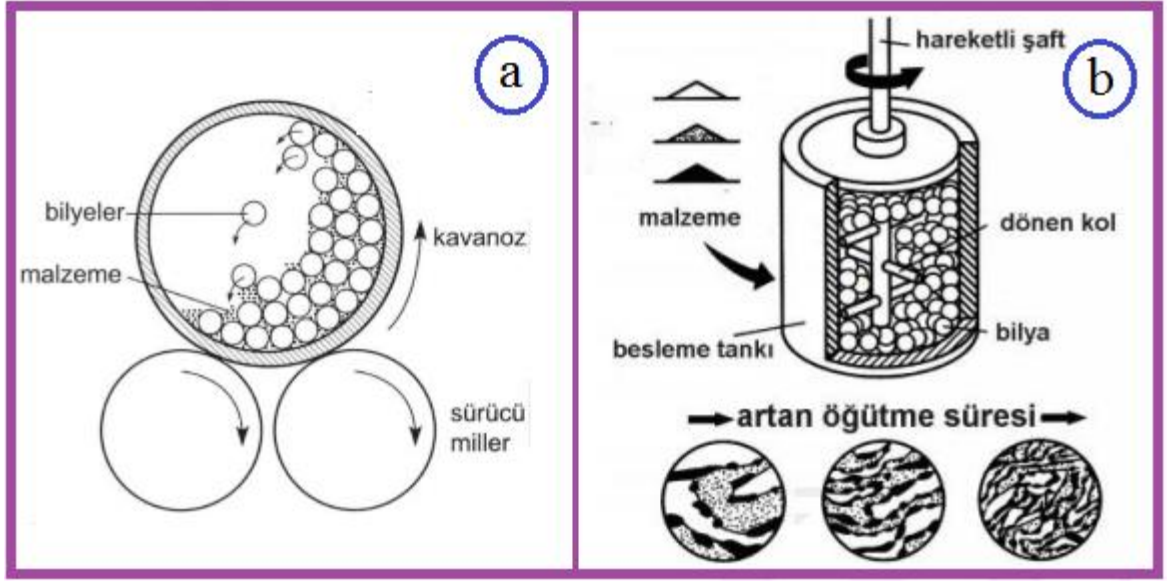


yönteminin seçimi için çok önemlidir. Toz üretim yöntemleri; mekanik üretim yöntemi, elektroliz üretim yöntemi, kimyasal üretim yöntemi ve atomizasyon yöntemi olarak 4 gruba ayrılmaktadır. (Akçin ve diğ. 2013)

### **Mekanik Üretim Yöntemi**

Mekanik yöntem, toz üretimi için kullanılan en geleneksel yöntemdir. Bir bilyalı değirmende metal parçacıkların yüksek enerji ile ısı girdisi ve kimyasal reaksiyona ihtiyaç duymadan, parçacıkların birbiri ile çarpışması sonucu darbe kuvveti ile küçülerek toz haline gelmesi işlemidir (Şenel 2018). Mekanik yöntemde darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma olmak üzere 4 ana yöntemle toz üretilmektedir. Aşındırarak öğütme, aşındırıcıların birbiri arasındaki sürtünme kuvveti sayesinde parçacıkların küçülme işlemidir. Kesme, parçacıkları keserek yapılan işlemidir. Basma ise parçacığa basma kuvveti uygulayarak deformasyon işlemidir. (Becerik 2020)

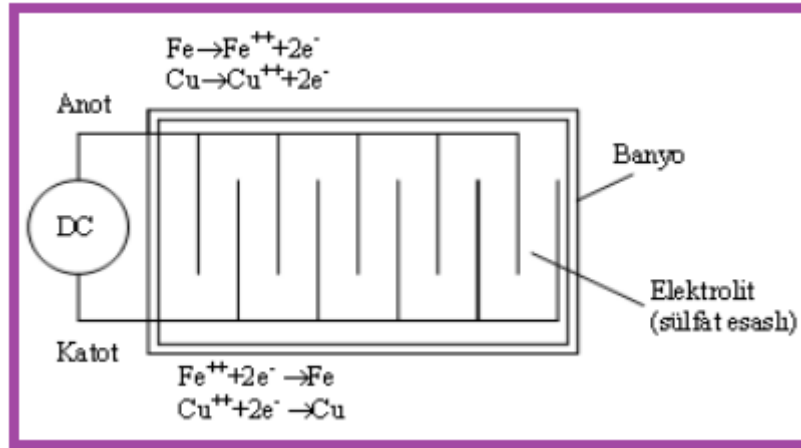
Mekanik yöntemdeki bilyeli öğütme işlemi Şekil 3.3.a 'da ve mekanik alaşımlama da kullanılan atritör Şekil 3.3.b'de şematik olarak verilmiştir. Şekil 3.3.a bakıldığında silindirik kap dönme hareketi gerçekleştirdikçe içerisindeki bilyeler toz malzemeye çarpar ve gevrek tozlar daha küçük parçalara ayrılır. Sünek malzemeler için öğütme işlemi uygun değildir. Öğütme süresinin artması toz kalitesini de arttırmaktadır. Aynı zamanda dönme hızı da öğütme için önemli bir faktördür. Çok yavaş dönmesi tozların silindirik kap çeperinde geri yuvarlanmasını, çok hızlı dönmesi ile aşağıya düşmeden silindirik kapın çeperinde dönmesine neden olur. (Suryanarayana 2001) Şekil 3.3.b'de düşey silindirik kap, düşey mil ve içerisine uzanan kollar görülmektedir. Bu yöntemde tozların birbirine birleşmesi ve kırılma dayanımı görülmektedir. Bu sayede daha ince ve homojen bir yapıya sahip toz karışımları elde edilmesi mümkündür. (Demir 2014)



Şekil 3.3. Mekanik Üretim Yöntemleri (a) Bilyeli öğütme sistemi, (b) Mekanik alaşımlama da kullanılan atritör (Becerik 2020) (Milli 2017)

### Elektroliz Yöntemi

Elektroliz yöntemi, anot ve katot tepkimelerinin gerçekleşmesiyle oluşmaktadır. Genellikle yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarının üretimi için uygundur. Elektroliz yönteminin şematığıne Şekil 3.4’ de yer verilmiştir.



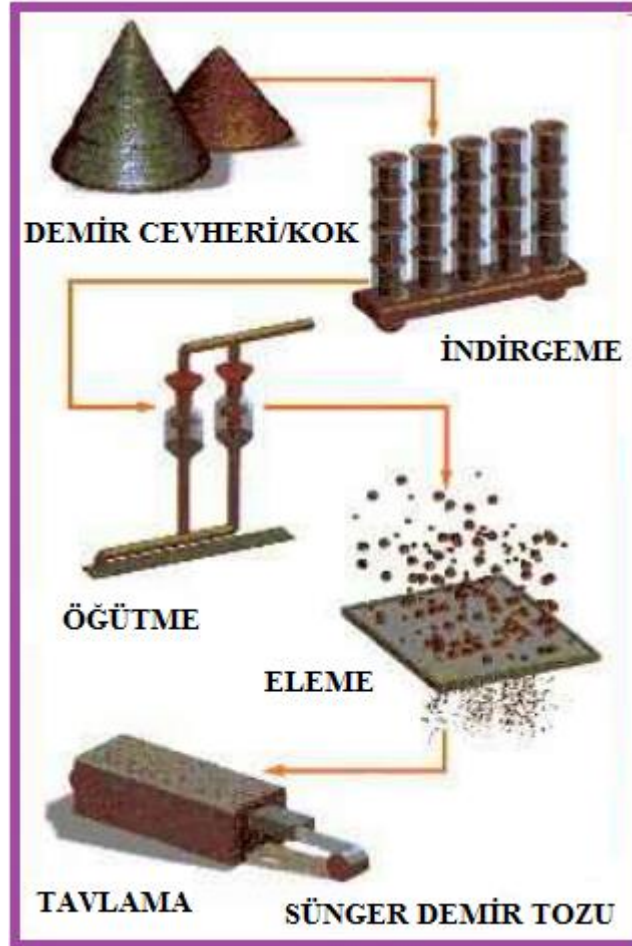
Şekil 3.4. Elektroliz yöntemi (Öztürk ve İcin 2015)

Yöntemde işlem metal tozlarının katot üzerinde birikmesiyle gerçekleşmektedir. Daha sonrasında biriken yüksek iletkenliğe sahip metal tozları katot üzerinden sıyrılır, yıkanır, kurutulur ve öğütülerek toz haline getirilmektedir.

Daha çok bakır tozlarının üretimi gerçekleştirilmektedir. Elektroliz yönteminde üretilen tozların avantajı yüksek saflıkta olması ve iyi sıkıştırabilme özelliğine sahip olmalarıdır. (Uslan 2010)

### Kimyasal Üretim Yöntemi

Kimyasal üretim yöntemi, metal oksitlerin (demir, nikel, bakır, tungsten, kobalt ve molibden)  $H_2$  (hidrojen) veya CO (karbonmonoksit) gibi indirgeyici gazlar ile oksitlerden kimyasal olarak indirgenmesidir. Oksitlerin indirgenmesi hem kinetik hem de termodinamiktir ve bu nedenle sıcaklık oldukça önemlidir. (Öztürk ve İcin 2015) Bu yöntem ile 5-500  $\mu m$  arasındaki tozların üretimi gerçekleştirilebilir. Sünger- demir tozu üretimi kimyasal üretim yönteminde uygulanan önemli bir örnektir. Uygulanan işlemler Şekil 3.5’ de şematik olarak gösterilmiştir. (Tsukerman 2013)



Şekil 3.5. Kimyasal üretim yöntemi (Danninger ve diğ. 2017)

## **Atomizasyon Üretim Yöntemi**

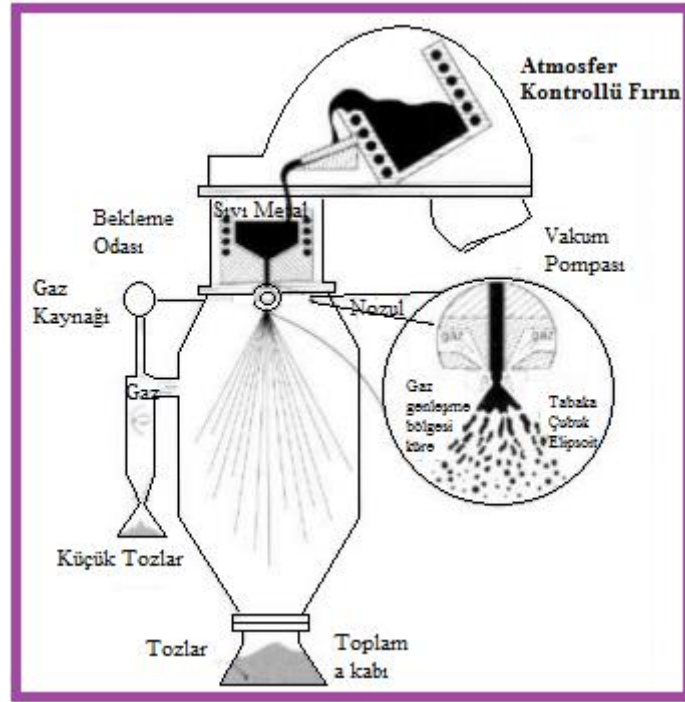
Atomizasyon üretim yöntemi, metal ve alaşım tozlarının üretiminde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde ergimiş metal damlacıklarını katı yüzey veya birbirleri ile temasa geçirilmeden hızla soğutulup küçük parçacıklara ayrılması sonucunda gerçekleşir. Atomizasyon yöntemi kendi içerisinde 5 gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Gaz atomizasyon yöntemi
- Su atomizasyon yöntemi
- Vakum atomizasyon yöntemi
- Döner disk yöntemi
- Döner elektrot yöntemi (Evcin 2007)

Atomizasyon yöntemleri arasında en çok tercih edilen gaz ve su atomizasyon yöntemleridir.

### **Gaz Atomizasyon Yöntemi**

Gaz atomizasyon yöntemi, hava, argon veya azot gazlarının sıvı demetine püskürtülmesi sonucu gerçekleşmektedir. Şekil 3.6'de gaz atomizasyon ünitesine yer verilmiştir.



**Şekil 3.6.** Gaz atomizasyon ünitesi (German 2007)

Atmosfer kontrollü fırında ergiyen metal ve alaşım damlacıkları belirli sıcaklığa ulaştıktan sonra nozul yardımı ile atomizasyon kulesine dökülür. Dökülen damlacıklara azot, argon veya hava püskürtülerek metal damlacıkların ayrışmasını ve hızlı soğuyarak toz tanelerinin oluşmasını sağlamaktadır. Tozlar aşağıda toplanır ve oluşan ince ve küçük tozlar siklon adı verilen haznede toplanırlar. Gaz atomizasyon yönteminde oluşan tozlar küresel ve düzenli yapıdaki tozlardır. Aynı zamanda bu yöntemin tercih edilmesinde seri üretime uygun olması, kimyasal kompozisyonu koruması ve hızlı katılma gibi özellikler etkin rol oynamaktadır.

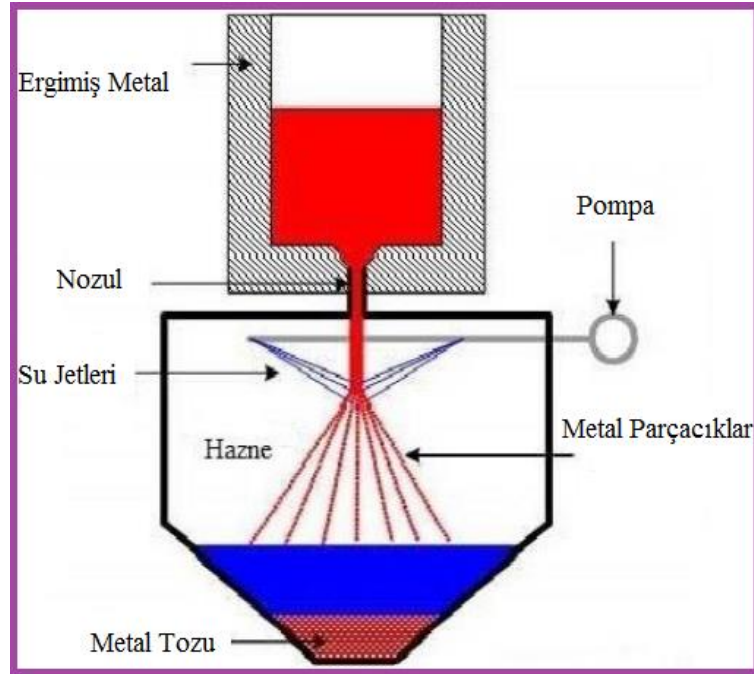
Gaz atomizasyon yönteminde tozların karakteristik özelliklerini belirleyen çok fazla faktör vardır. Bunlar;

- Ergimiş metalin sıcaklığı
- Viskozitesi
- Akış debisi
- Yüzey gerilimi
- Gazın cinsi
- Gazın basıncı
- Gazın debisi

- Gazın hızı
- Nozul geometrisidir. (Ünal ve Aydın 2007) (Abu-Lebdeh ve diğ. 2016) (Öztürk ve İcin 2015) (Evcin 2007) (Küçükarslan 2006)

### Su Atomizasyon Yöntemi

Su atomizasyon yönteminin çalışma prensibi gaz atomizasyon yönteminde olduğu gibidir. Buradaki tek fark hava ve diğer gazlar yerine su jetleri kullanılmaktadır. 1600 °C sıcaklığın altında eriyen ve daha ekonomik toz üretim yöntemidir. Sıvı faza geçirilmiş metal düşey yönde akıtılırken yüksek basınçtaki su jetlerinin yönlenmesi ile parçalanarak katılaşma sağlanır. Su atomizasyon ünitesinin şematığı Şekil 3.7' de verilmiştir. Gaz atomizasyon yöntemine göre daha hızlı soğuma gerçekleşmektedir. Bu nedenle oluşan tozlar düzensiz ve pürüzlüdür. Su atomizasyon yönteminde tozların tane boyutu ve dağılımı, suyun hızı, basıncı, yüzey gerilimi, viskozitesi ve yoğunluğu gibi parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir. (Akpınar 2011) (Evcin 2007) (Uslan 2010)



Şekil 3.7. Su atomizasyon ünitesi (Akpınar 2011)

### **3.2. Sıvı Hal Yöntemleri**

Sıvı hal yöntemi, matris malzemesinin ergitilip içerisine takviye elemanı eklenmesiyle gerçekleşmektedir. Matris ve takviye malzemesi arasındaki ıslatılabilirlik oranı çok önemlidir. Fakat bu bağlanmada takviye malzemesinin topaklanması, sıcaklık ve basınç parametreleri, karıştırma işleminin yapıldığı ortam şartları çok önemlidir. Katı hal yöntemine göre daha kolay ve düşük ergime sıcaklığındaki metallerin kullanılmasından dolayı ekonomik bir yöntemdir. Seri üretime uygun, maliyeti düşük ve karmaşık şekillerin üretimi mümkün olsa da takviye oranını kontrol etme ve düzgün bir matris mikro yapısı elde etmek zor olmaktadır.

Sıvı hal yöntemi; püskürtme, karıştırmalı döküm, sıkıştırımlı döküm, basınçlı döküm, yarı katı döküm, infiltrasyon olarak 6 gruba ayrılmaktadır (Ervina ve diğ. 2016) (Taha 2001).

#### **3.2.1. Püskürtme Yöntemi**

Püskürtme yöntemi, ergimiş veya kısmen sıvı faz durumunda olan matris malzeme damlacıklarının takviye malzemesinin yüzeyine püskürtülme işlemidir. Püskürtme işlemi matris malzemesinin hızlı katılaşması ile oluşan yapıda mukavemet artışı sağlamaktadır. Püskürtme yönteminde ince taneli yapıların elde edilmesi ve toz metalürjisinde yapılan harmanlama işlemlerine tabi tutulmaması açısından avantaj sağlamaktadır. Ancak maliyetin yüksek olması, basit şekilli parçaların üretimi püskürtme yönteminde dezavantaj sağlamaktadır. (Tekmen 2006) (Panwar ve Chauhan 2018)

#### **3.2.2. Karıştırmalı Döküm Yöntemi**

Karıştırmalı döküm yöntemi, matris malzemenin sıvı halde iken içerisine takviye malzemesini eklenmesi ile gerçekleşmektedir. Eklenen takviye malzemelerin heterojen dağılmaması, gözenekli yapı oluşumunu önlemek ve takviye malzemesinin matris malzemesine dağılımı sağlamak için karıştırma işlemi yapılmaktadır. (Sharma ve diğ. 2014)

Karıştırmalı dökümde takviye malzemesinin matris içerisinde iyi bir dağılım sergilemesi şarttır. Bu dağılımın sağlanması için girdap(vortex) işlemi uygulanmaktadır. Girdap işleminde, erimiş metalin yüzeyinde girdap oluşturmak için

kuvvetlice karıştırılır ve daha sonra takviye malzemesi girdabın içerisine ilave edilerek bir süre karıştırılmaya devam edilir. Bu sayede matris ve takviye arasındaki ıslatılabilirlik ve homojenlik sağlanmış olur. (Sarkar ve diğ. 2010) (Özben ve diğ. 2008)

Karıştırmalı döküm yöntemi diğer kompozit üretim yöntemlerine göre daha kolay ve daha düşük maliyetlidir (Kandpal ve diğ. 2018).

### **3.2.3. Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi**

Sıkıştırılmalı döküm yöntemi, takviye malzemesi önceden ısıtılmış metal kalıbın içerisine konular ardından ergimiş matrisin yüksek basınçla birlikte emdirilmesi ile katılma süreci tamamlanana kadar basınçla sabit tutularak yapılan kompozit üretim yöntemidir. Bu yöntemde uygulanan yüksek basınç sayesinde yapı içerisindeki gözeneklilik ve döküm hataları çok azdır. (Manu ve diğ. 2015)

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde başarılı sonuç elde etmek için ergimiş metalin sıcaklığına, metal kalıbın ön ısıtma sıcaklığına ve uygulanan yüksek basınç değerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Yüksek basınç uygulamasına bağlı olarak boyut sınırlaması ve yüksek basınçtan dolayı takviye malzemelerinin zarar görmesi yöntemin dezavantajlarındanır. (Mindivan 2007)

### **3.2.4. Basınçlı Döküm Yöntemi**

Basınçlı döküm yöntemi, sıkıştırılmalı döküm yöntemine benzer şekilde uygulanmaktadır. Aralarındaki fark, uygulanan yüksek basıncın daha az kuvvet de olması ile daha büyük boyuttaki parçaların imalatı mümkün olmaktadır. Ayrıca kullanılan matris malzemelerinin ergime sıcaklıkları düşüktür. (Gündoğan ve Özsarı 2019)

Basınçlı döküm yönteminde sıvı metal, bir metal kalıbın içerisine yüksek basınç ile fazla miktarda ve çok hızlı bir şekilde doldurularak işlem yapılmaktadır. Bu sayede karmaşık şekilli parçaların imalatına uygundur. Bu yöntemde matris malzemesi olarak; çinko, kalay, alüminyum, magnezyum ve kurşun kullanılmaktadır. (Singh ve diğ. 2021)



### **3.2.5.Yarı Katı Döküm Yöntemi**

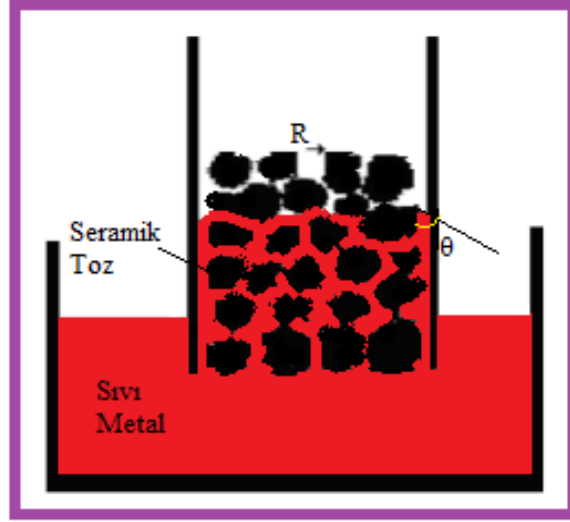
Yarı katı döküm yöntemi, yarı katı sıvı faz hale getirilen matris malzemesinin içerisine takviye malzemesi ilavesi veya parçacıklı ve kısa fiber takviyelerin sıvı matris malzemesine katılarak karıştırılmasının ardından yarı katı sıvı hale getirilme işlemidir. Bu yöntemde kullanılan alaşımın düşük viskoziteye sahip olması gerekmektedir.

Yarı katı döküm yöntemi, çok ince kesitli parçaların üretimi için uygun, sıcak yırtılma riski az, daha az gaz boşluğu ve kalıp ömrünün uzun olması avantajları arasında yer almaktadır. (Gündoğan ve Özsarı 2019) (Cheneke ve Benny 2019)

### **3.2.6. İnfiltrasyon Yöntemi**

İnfiltrasyon yöntemi, metal matrisli kompozitlerin üretiminde son zamanlarda en çok tercih edilen yöntemdir. Sıvı emdirme veya iç sızma olarak da adlandırılmaktadır. Alüminyum ve magnezyum matrisli kompozitler, bu yöntemle başarılı bir şekilde üretilmektedir. (Toptan 2011)

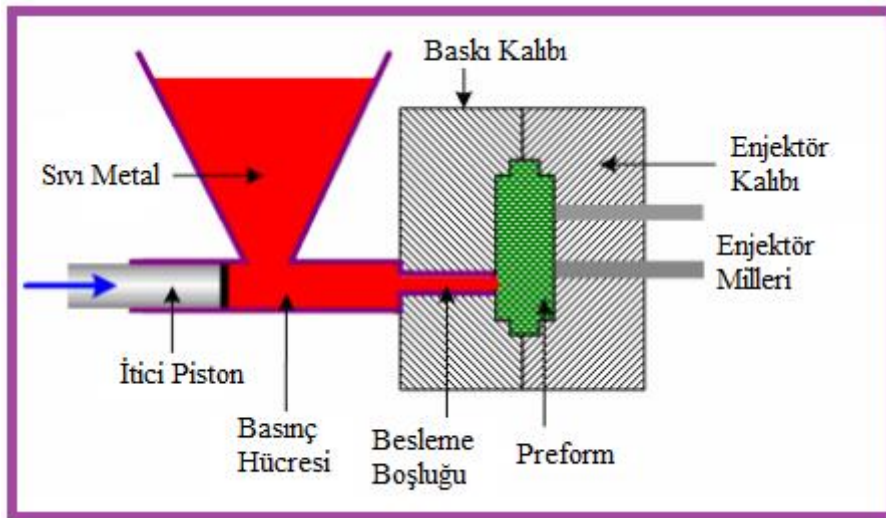
İnfiltrasyon yöntemi, basınçlı, basınçsız ve vakumlu olarak üç farklı şekilde yapılabilmektedir. İnfiltrasyon işlemi basınç, atmosfer basıncı ve vakum yardımıyla önceden şekil verilmiş takviye malzemesinin sıvı matris içerisine infiltre edilmesi ile gerçekleşmektedir. Şekil 3.8' de infiltrasyon yönteminin sıvı matrisin, gözenekli takviye malzemesine infiltre işlemi verilmiştir. Bu yöntemin avantajı yüksek yüzey kalitesine sahip parçalar, seri üretime uygun ve düşük maliyetli olmasıdır. Bunun yanı sıra takviye malzemesinin matris içerisine homojen dağılmaması ve matris metalinin küçük boşluklara nüfuz etmemesi dezavantajlarındandır. (Konopka ve Szafran 2006)



**Şekil 3.8.**Sıvı matrisin takviye malzemesine infiltre işleminin şematik gösterimi (Demir ve Altınkok 2004)

### 3.2.6.1.Basınçlı İnfiltasyon Yöntemi

Basınçlı infiltasyon yöntemi, sıvı matrisin ön şekillendirilmiş blok parça içerisine basınçlı gaz yardımıyla infiltre edilerek yapılan malzeme üretim yöntemidir. Bu yöntemin şematığı Şekil 3.9’ da yer almaktadır. Şekil 10’da görüldüğü gibi içerisinde takviye malzemesinin bulunduğu çelik bir boru potada ergiyen sıvı matrise daldırılır ve istenilen basınç değeri ayarlanarak infiltre işlemi başlamış olur. İnfiltasyon işleminin daha kolay olabilmesi için kalıbın alt kısmına atmosfer gaz çıkış kanalı bulunmaktadır. (Acılar ve Gül 2007) (Wannasin ve Flemings 2005)



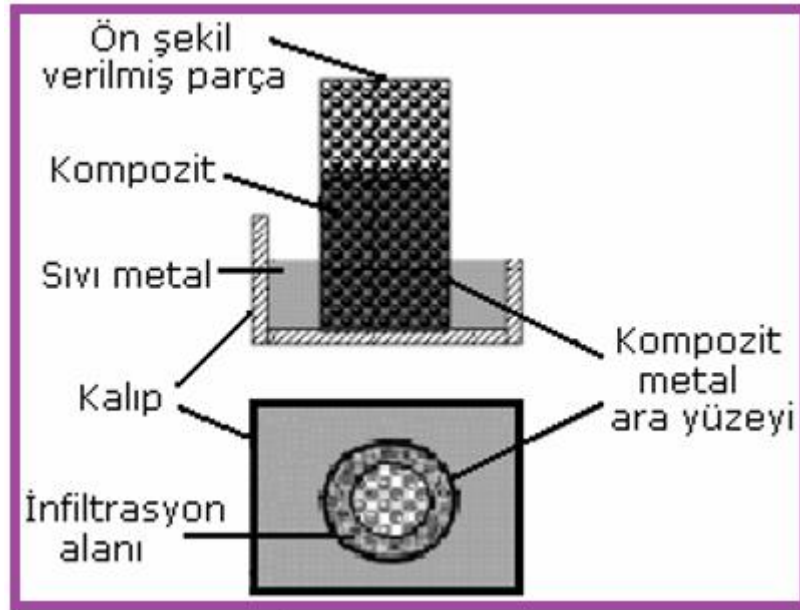
**Şekil 3.9.**Basınçlı infiltasyon yönteminin şematik gösterimi (Kopeliovich 2007)

Basınçlı infiltrasyon yöntemini etkileyen parametreler; infiltrasyon basıncı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, takviye parçacık boyutu, takviye hacim oranı, infiltrasyon süresi ve sıvı metal sıcaklığıdır (Tian ve diğ. 2005).

Basınçlı infiltrasyon yönteminde uygulanan yüksek basınç zaman zaman takviye malzemelerinin deformasyonuna sebep olmaktadır. Bu deformasyonu ortadan kaldırmak için orta basınçlı infiltrasyon yöntemi geliştirilmiştir. (Wannasin ve Flemings 2005)

### 3.2.6.2. Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemi

Basınçsız infiltrasyon yöntemi, atmosfer basıncı ile takviye malzemesinin sıvı metal içerisine infiltrasyonunun gerçekleştiği yöntemdir. Basınçsız yöntemde infiltrasyonu kolaylaştırmak, matris ve takviye arasındaki ıslatmayı sağlamak için sıvı metal içerisine Mg ilavesi yapılmaktadır. (Zulfia ve Hand 2002) (Lee ve diğ. 2009) Basınçsız infiltrasyon yönteminin gerçekleştiği düzenek Şekil 3.10' da yer almaktadır.



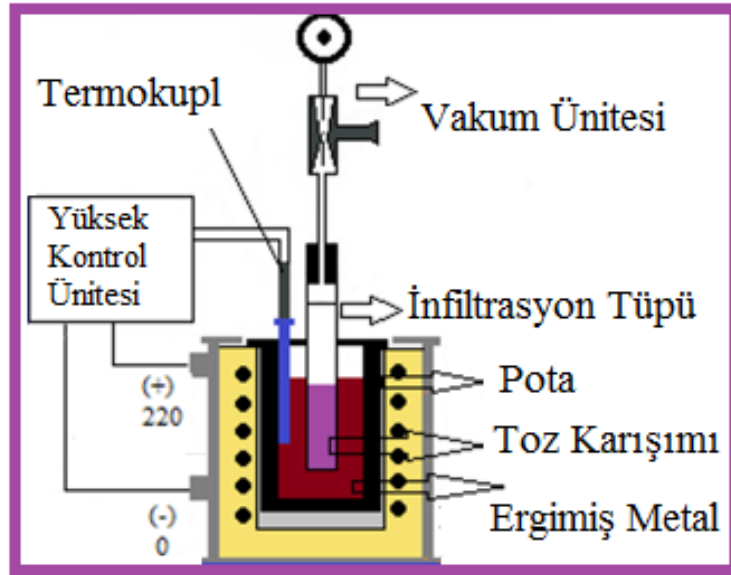
Şekil 3.10. Basınçsız infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Demir ve Altınkok 2004)

Şekil 3.10' da yer alan düzenekte, sıvı metali içerisine konulan blok parça şeklindeki takviye malzemeleri atmosfer ortamında infiltre edilmektedir. Bu yöntemde infiltrasyon işlemi basınçlı ve vakum yöntemlerinden daha uzun sürede yapılmaktadır. Bu sebeple oluşan kompozit malzeme daha gözenekli yapıda üretilmektedir. Basınçsız

infiltrasyonu etkileyen parametreler arasında; İnfiltrasyon sıcaklığı, infiltrasyon süresi, seramik hacim oranı, infiltrasyon ortamı, tane boyutu ve dağılımı, magnezyum içeriği yer almaktadır. (Kalemtaş 2016) (Ren ve diğ. 2008)

### 3.2.6.3.Vakum İnfiltrasyon Yöntemi

Vakum infiltrasyon yöntemi, sıvı metalin negatif basınç ile takviye malzemesi içerisine infiltre işlemidir. MMK'lerin üretiminde ekonomik ve basit olmasından dolayı tercih edilmektedir. Vakum infiltrasyon işlemi atmosfere açık şekilde yapılması Al alaşımlarında oksit tabakasının oluşumuna ve bu oksit tabakası takviye malzemesi ile matris arasındaki ıslatmanın olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu yöntemin şematığı Şekil 3.11'de verilmektedir. (Aksöz ve diğ. 2014)



Şekil 3.11. Vakum infiltrasyon yöntem şematığı (Aksöz ve diğ. 2014)

Şekil 3.11'de verilen vakum infiltrasyon ünitesinde, pota içerisinde eriyen sıvı matris malzemesine, paslanmaz çelik tüp (infiltrasyon tüp) içerisinde bulunan matris ve takviye malzeme toz karışımı daldırılmaktadır ve vakum yardımıyla infiltre işlemi tamamlanmaktadır. Vakum infiltrasyonu etkileyen parametreler; vakum basıncı, vakum süresi, infiltrasyon sıcaklığı, infiltrasyon süresi, takviye tane boyutu ve hacim oranıdır (Çalın ve Çıtak 2007).

### 3.2.6.4. İnfiltrasyonu Etkileyen Faktörler

#### 3.2.6.4.1. Takviye Hacim Oranı (T-H %)

Takviye-hacim oranı, kompozit malzeme içerisindeki takviye malzemesinin hacimce oranıdır. Takviye-hacim oranı infiltrasyon yönteminde üretilen kompozitin; sertliğini, kırılma dayanımını ve gözenekliliğini etkileyen parametredir (Pul ve diğ. 2009). Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi cam kap içerisine yerleştirilen takviye malzemelerinin kapladıkları hacim, Eş.3.1’de verilen gözenek hacmi ve takviye tozlarının hacmine eşittir.



Şekil 3.12. Takviye-hacim oranı (Çalın 2006)

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (3.1)$$

Eş.3.2’de takviye ağırlığının özgül ağırlığa bölünmesi, takviye parçacıklarının kapsadığı hacme eşittir:

$$V_{\text{takviye}} = m_{\text{takviye}} / d_{\text{takviye}} \quad (3.2)$$

Takviye-hacim oranının, toplam hacme bölünmesiyle Eş. 3.3’de verildiği gibi Takviye-hacim oranı bulunur:

$$T-H \% = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (3.3)$$

Kompozit içerisindeki takviye oranı Eş.3.4 ‘deki gibi hesaplanmaktadır.

$$W_k = W_f * V_f + W_m * V_m \quad (3.4)$$

Burada;

Wk: Kompozit ağırlığı

Wf: Fiberin ağırlığı

Vf: Fiber hacmi

Wm: Matris ağırlığı

Vm: Matris hacmi dir. (Davidson ve Regener 2000)

#### **3.2.6.4.2. Takviye Tane Boyutu**

Takviye tane boyutu, kompozit özelliklerini etkileyen parametrelerden biridir. İnfiltrasyon öncesi takviye malzemesinin toz boyutları arttıkça parçacıklar arası boşluklar artmaktadır. Bu sayede sıvı metal boşluklarda kolaylıkla ilerleyebildiği için infiltrasyon işlemi daha kolay sağlanabilmektedir. Bu da kompozit üretiminin işlem hızını arttırarak daha kaliteli kompozitlerin üretimine imkan tanımaktadır. (Çakır 2017)

#### **3.2.6.4.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı**

İnfiltrasyon sıcaklığı, infiltrasyon yöntemini etkileyen en önemli parametrelerdendir. İnfiltrasyon sıcaklığının artması sıvı matris malzemesinin akıcılığını arttırmakta dolayısıyla takviye malzeme içerisine infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır (Liu ve diğ. 2011).

#### **3.2.6.4.4. İnfiltrasyon Süresi**

İnfiltrasyon işleminin tamamen gerçekleşmesi ve istenilen özelliklere sahip kompozit parçanın üretimi için sıvı matris ve gözenekli takviye malzemesinin yeterli süre sıcaklığa maruz kalması gerekmektedir. Bundan dolayı infiltrasyon süresi diğer parametrelere kıyasla daha fazla önem taşımaktadır. (Rodríguez ve diğ. 2003)

#### **3.2.6.4.5. İnfiltrasyon Basıncı**

İnfiltrasyon basıncı, sıvı matrisin gözenekli takviye malzemesi içerisinde ilerlemesini ve gözenekleri doldurmaya yardımcı olmaktadır. İnfiltrasyon basıncında takviye - matris arasındaki uyuma ve gözenek boyutu etkili olmaktadır. Artan basınç değeri, infiltrasyon işlemini hızlandırır, Üretim kalitesini artırır ve infiltrasyon

işlemini kolaylaştırmaktadır. Fakat daha yüksek basınç uygulanması, üretilen kompozitler de kırılmaya yol açabilmektedir. (Ateş 2011)

#### 3.2.6.4.6. Alaşım

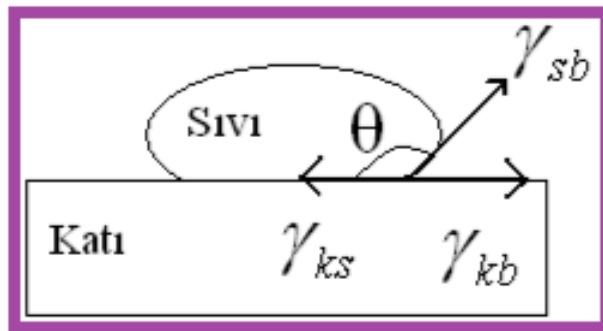
Matris ve takviye malzemesinin uyumu, kompozit üretimi etkileyen önemli parametrelerdendir. İnfiltrasyon yönteminde en çok kullanılan matris malzemesi Al ve alaşımlarıdır. Bunun nedeni ıslatma kabiliyetinin daha iyi olmasıdır. Ancak Al oksit tabakası oluşturabileceği zamanlarda Mg ilavesi matris ve takviye arasındaki ıslatma özelliğini iyileştirmektedir. (Kalemtaş 2016)

#### 3.2.6.4.7. Islatma

Islatma, sıvı matris ve takviye malzemelerinin arasında oluşturduğu serbest enerji değişimine bağlıdır. Islatılabilirlik aynı zamanda katı yüzeyde bir sıvının yayılma kabiliyeti olarak da tanımlanabilir (Rino ve diğ. 2012). Takviye yüzeyinin ıslanması için, sıvı matris katı yüzeyinin her noktasına etki etmesi gerekmektedir. Sıvının katılaşması sırasında yapılan iş Eş.3.5' de verilen Püpre denklemi ile ifade edilmektedir. (Delellay ve diğ. 1987)

$$W_a = \gamma_{sb} + \gamma_{kb} - \gamma_{ks} \quad (3.5)$$

Burada;  $W_a$  sıvının katılaşması sırasında yapılan iş,  $\gamma_{sb}$  sıvının serbest enerjisi,  $\gamma_{kb}$  katının serbest enerjisi,  $\gamma_{ks}$  sıvı- katı ara yüzey enerjisidir. Şekil 3.13'de bir sıvı damlasının katı yüzeye düşmesi ile oluşan yüzey gerilmesi ve temas açısı yer almaktadır.



Şekil 3.13. Sıvı damlasının katı yüzeyde oluşan yüzey gerilmesi ve temas açısı

Bileşenler arası maksimum bağ, ara yüzey serbest enerjisi en aza indirildiğinde ortaya çıkmaktadır. Katı yüzey üzerine düşen sıvı damlasının fiziksel durumu Şekil 3.13'de verilmiş ve bu durum Young denklemi ile ifade edilmektedir. (Eş.3.6.)

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{kb} \cos\theta \quad (3.6)$$

Eş.3.5 ve Eş.3.6 birleştiğinde sıvının katılaşması için yaptığı iş ortaya çıkmaktadır.

$$W_a = \gamma_{sb} + (1 + \cos\theta) \quad (3.7)$$

denklemler ile ifade edilmektedir. Küçük temas açılarında iyi ıslatılabilirlik olduğu, büyük temas açılarında ise kötü ıslatılabilirlik sergilenmektedir.

$\theta$ : 0° tam ıslatma,  $\theta$ : 180° ıslatmanın olmadığı  $\gamma_{kb} < \gamma_{ks}$  olursa  $\theta$ , 90°'den büyük olacağı için ıslatma olmaz. Yani  $\theta < 90^\circ$  olursa ıslatmanın iyi olduğu söylenebilmektedir. (Michaud ve Mortensen 2000) (Şahin 2000) Seramik takviye parçacıkların sıvı matris metali tarafından ıslatılabilmesini kolaylaştırmak için; sıvı metal sıcaklığı arttırılmalı, matrise aktif ve reaktif elementler ilave edilmeli (Mg, Ca, Ti vb.), parçacıkları temizlemek ve ön ısıtmaya tabi tutmak, seramik takviye malzemelerine kaplama yapmak gibi yöntemler geliştirilmiştir (Levi ve diğ. 1978) (Delannay ve diğ. 1987) (Rohatgi ve diğ. 2020).

### 3.3. İn- situ Üretim Yöntemi

Son yıllarda üretim kolaylığı ve mekanik özelliklerinin yüksek olmasından dolayı in-situ üretim yöntemi MMK'ler için tercih edilmektedir. İn-situ yöntemi; seramik takviye malzemelerinin sıvı matris içerisine sonradan ilave edilmesi yerine seramik takviyelerin sıvı matris alaşımını içerisinde kendiliğinden oluşmasıdır. Takviye fazları, MMK'lerin üretim aşamasında element ve bileşiklerin ekzotermik reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Ekzotermik reaksiyon sonucu oluşan seramik takviyeler matris içerisinde termodinamik olarak kararlı, kuvvetli ara yüzey bağı ve homojen dağılım gibi özellikler sergilemektedir. İn-situ yönteminde matris malzemesi olarak alüminyum, titanyum, nikel, bakır ve demir alaşımları kullanılırken takviye malzemesi olarak matris malzemesi içerisinde bulunan oksit, karbür, nitrid, borür ve bunların karışımlarından oluşan malzemeler kullanılmaktadır. (Arık ve Türker 2007) (Tjong ve Wang 2005) (Daniel ve diğ. 1997)



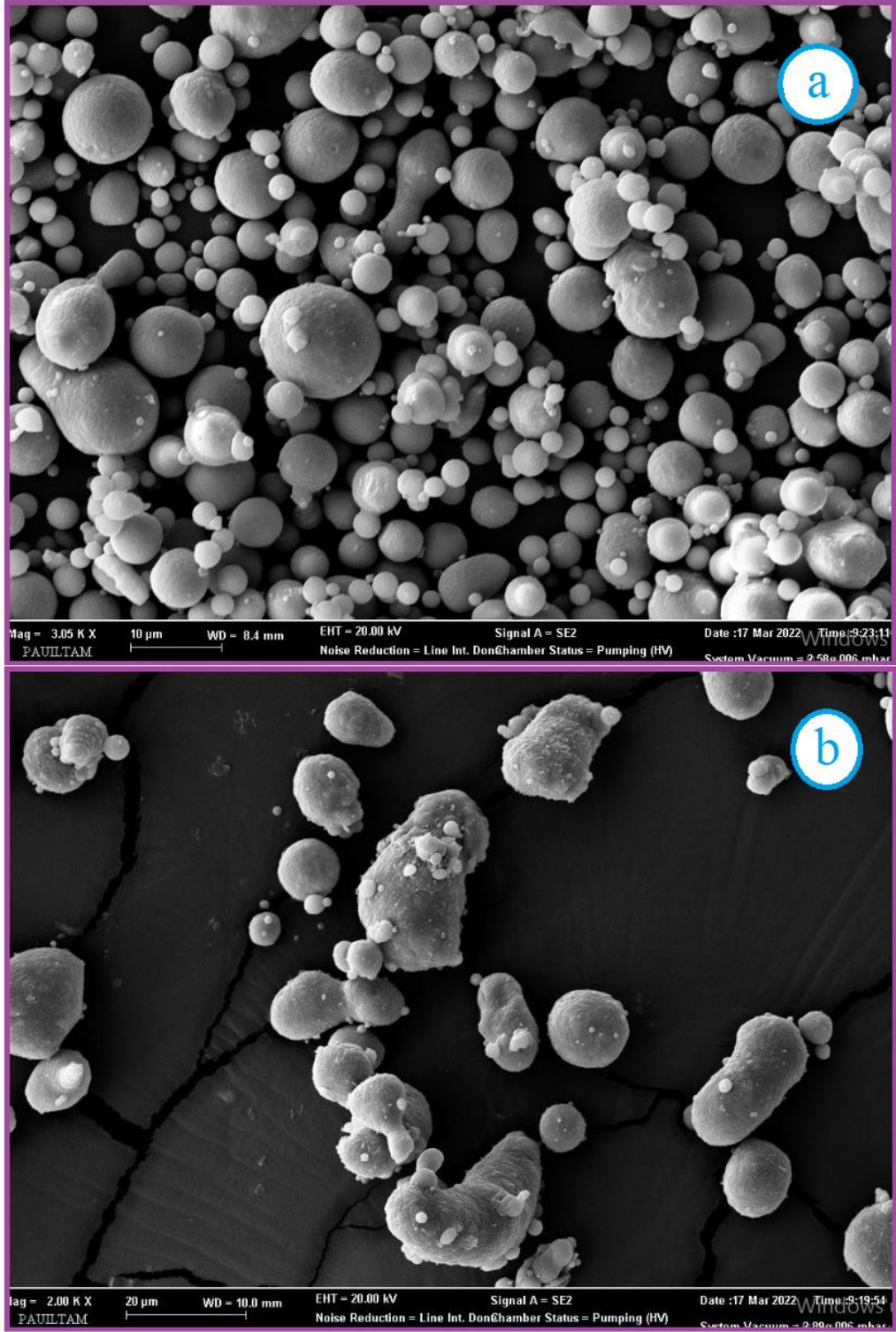
## 4. MATERYEL VE METOT

### 4.1. Kullanılan matris ve takviye malzemeleri

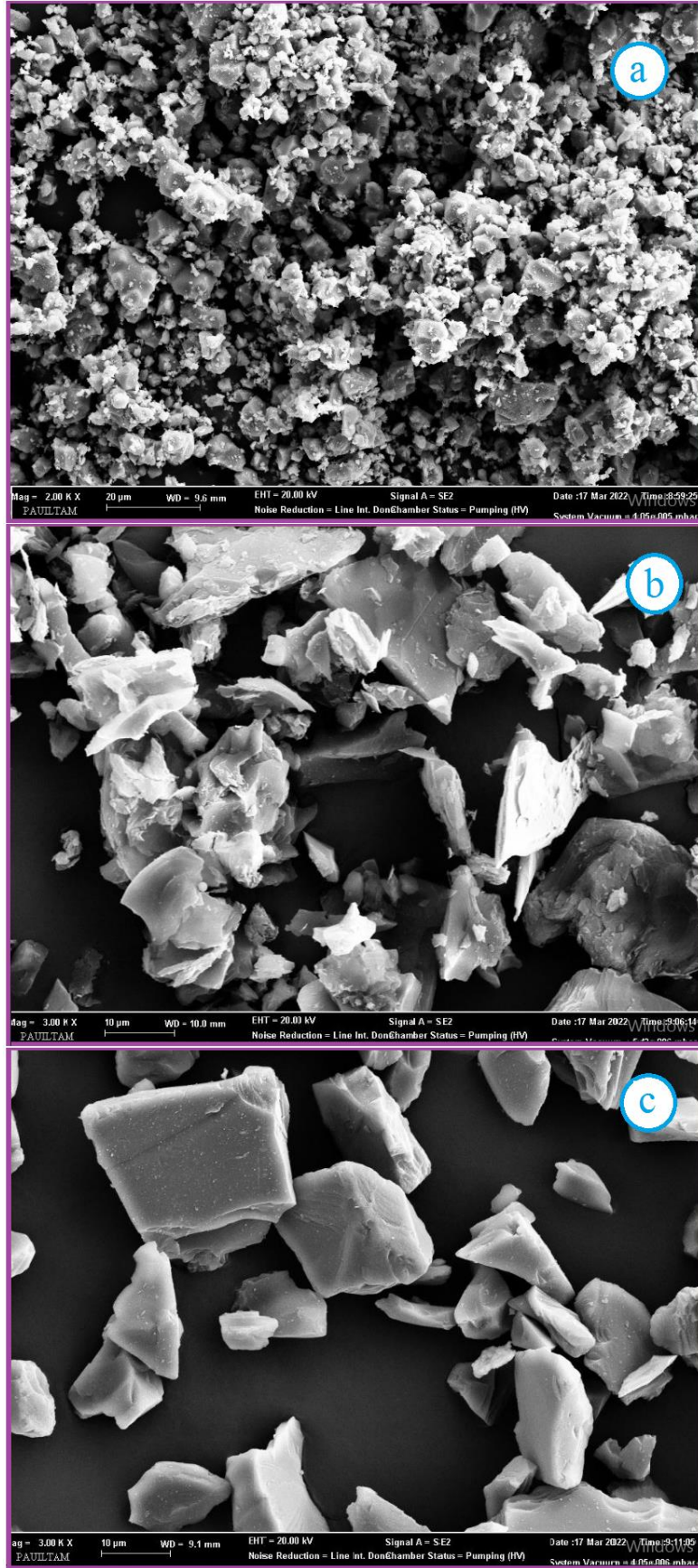
Bu çalışmada, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matrisli, %1, %3, %5, %10 oranlarında B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC takviyeli hibrit kompozitlerin vakum infiltrasyon metodu ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> alaşımları yaşlandırılabilir alaşımlar olarak yer verilmiştir. Hibrit kompozit üretiminde matris yapıyı oluşturan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımı AVAS Metal San. Tic. A.Ş' den, Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> alaşımı HADİD MAKİNA' dan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan takviye malzemeleri yaklaşık 10-20µm tane boyutundaki B<sub>4</sub>C, SiC, TiC'den oluşmaktadır. Ana matris alaşımlarına ilave edilen seramik tozları ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> tozları ISM Dış Ticaret Pazarlama LTD.ŞTİ. tarafından temin edilmiştir.

Üretilen hibrit kompozitlerin içyapı ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemek için Optik Mikroskop (OM), Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM), Element Dağılım Spektrometresi (EDS), X-ışını Difraktometresi (XRD) ve mikro sertlik analizleri yapılmıştır.

%99 saflığa ve yaklaşık 20µm tane boyutuna sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> tozları Şekil 4.1.a ve b'de görülmektedir. Şekil 4.2.a, b ve c'de ise 10µm altı tane boyutuna sahip TiC seramik tozları ve yaklaşık 10µm boyuta sahip B<sub>4</sub>C ve SiC tozlarının FESEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 4.1. a ve b incelendiğinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> tozlarının küresel şekilli olduğu görülmektedir. Küresel şekilli olmaları ise, üretim yöntemlerinin gaz atomizasyon ve 40 µm altı boyutlu tozlardan oluşmasıdır. Şekil 4.2 incelendiğinde ise, seramik takviyelerin sert olması ve üretim metodundan kaynaklı olarak keskin köşeli oldukları görülmektedir. %1, %3, %5 ve %10 takviye ağırlık oranında hesaplanmaları Tablo 5'de yer almaktadır. Tozlar, belirlenen oranlarda hazırlandıktan daha sonra 30dk. boyunca koni şeklindeki karıştırıcı ile karıştırılmaya bırakılmıştır.



Şekil 4.1.(a) Al<sub>2024</sub>, (b) Al<sub>7075</sub> tozlarına ait FESEM görüntüleri



Şekil 4.2.(a) TiC, (b) B<sub>4</sub>C, (c) SiC seramik takviye tozlarına ait FESEM görüntüleri

**Tablo 5.**Al matrisli, B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli hibrit kompozit %ağ. oranına göre gram hesaplaması

<b>%Ağ.</b>	<b>MATRİS MALZEMESİ</b>	<b>SERAMİK TAKVİYE MALZEMELERİ</b>
<b>%1</b>	2,97	0,015 B <sub>4</sub> C + 0,015 SiC
<b>%3</b>	2,91	0,045 B <sub>4</sub> C + 0,045 SiC
<b>%5</b>	2,85	0,075 B <sub>4</sub> C + 0,075 SiC
<b>%10</b>	2,70	0,15 B <sub>4</sub> C + 0,15 SiC

Hibrit kompozitlerin üretimi için, VİM kullanılmıştır. Vakum İnfiltrasyon işlemi için Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme laboratuvarında, Vakum İnfiltrasyon sistemi kurulmuş ve çalışmalar burada gerçekleştirilmiştir. Çalışma aşamalarında kullanılan Al ergitme süreçlerinde kullanılan THERMNEVO marka vakum infiltrasyon fırını Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) birimi 2021FEBE058 kodlu proje sayesinde döküm laboratuvarına kazandırılmıştır. Fırın ve alınan malzemelerin bütçe desteği Pamukkale Üniversitesi BAP birimi tarafından sağlanmıştır.

Çalışmada VIM ile üretilmiş hibrit kompozitler için farklı parametreler (850°C - 950°C aralığı ve 400-550 mmHg vakum aralığı) uygulanarak çok sayıda ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Başlangıç olarak 20µm tane boyutuna sahip Al7075 tozu ile 10µm boyutlarına sahip B<sub>4</sub>C ve SiC seramik takviyeleri %1, %2 ve %3 oranlarında ilave edilmiştir. Al matris ve takviyeler sonrasında homojen karışması için 30dk. manuel karıştırma tekniği ile karıştırma yapılarak, homojenlik sağlanmıştır. Homojen karıştırılan tozlar paslanmaz çelik tüplere doldurulmuştur. Aynı zamanda farklı sıcaklık ve sürelerde vakum infiltrasyon ünitesine daldırılarak infiltrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

İnfiltrasyon denemeleri sürecinde, sıcaklık, süre ve vakum optimizasyonu sağlanmıştır. Optimizasyon işleminde, vakum basıncı, bekleme süresi ve sıcaklığı belirlemek amacıyla denemelerde başarılı ve başarısız çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Denemelerde gerçekleşen problemleri göstermek için Şekil 4.3.a ve b incelendiğinde, vakum basıncı ve sıcaklık ayarlanamadığı takdirde infiltrasyon sürecinde olumsuzluklar görülmüştür. Bunun sebebi olarak sürenin, kompozisyonun ve oranların



istenilen optimizasyon sağlanamadığı düşünülmüştür. Bu denemelerden sonra hacim takviye oranları tekrar düzenlenerek %1, %3, %5 ve %10 takviye oranlarında denemeler yapılmıştır. İnfiltrasyon sürecinde karışım tozlarının sıvı metal içerisinde bekleme, infiltrasyon süresi ve vakum değeri optimizasyonu sağlanmıştır.

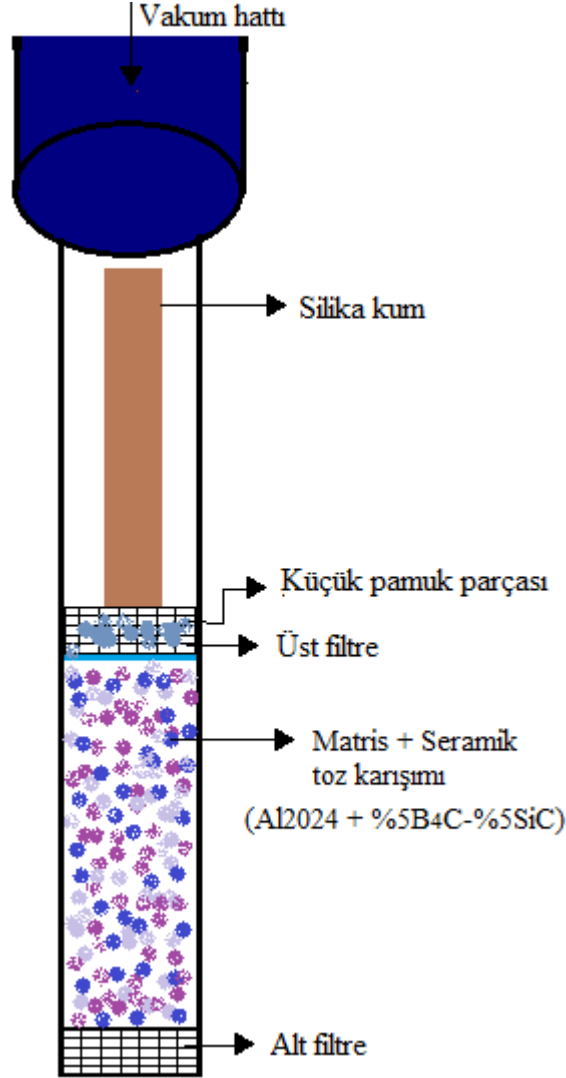


**Şekil 4.3.** Vakum infiltrasyon işlemi sonrası üretilen numuneler (a) Islatmanın tam sağlanmadığı numuneler, (b) İnfiltrasyon işleminin tamamen başarısız olduğu numuneler

#### 4.2. Tozların Paslanmaz Çelik Boru İçerisine Hazırlanması

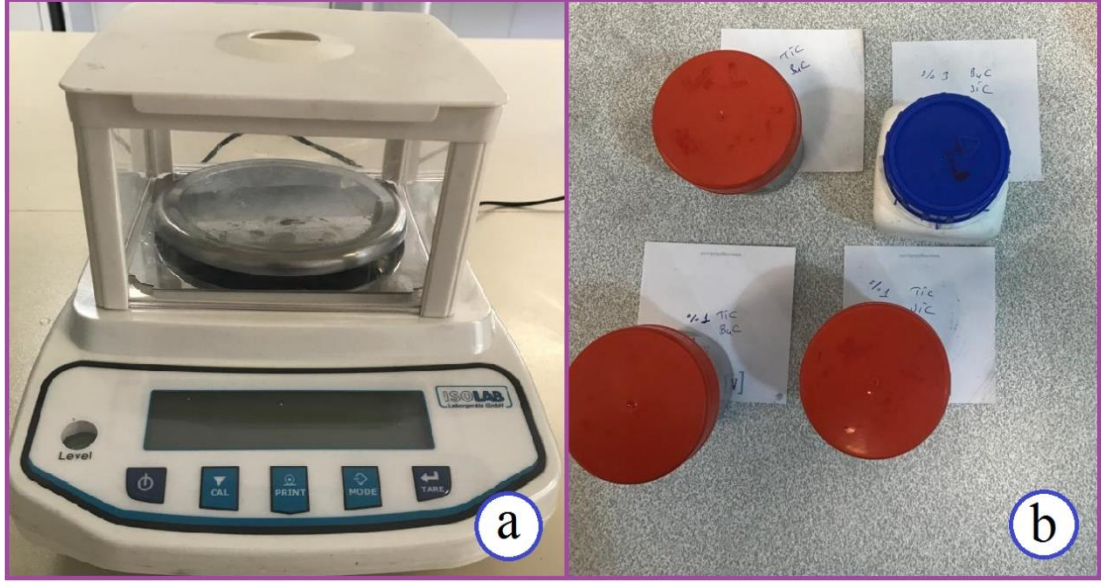
VIM için matris ve seramik takviye tozları paslanmaz çelik boru içerisindeki hali, Şekil 4.4’de tasvir edilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, 10 mm iç çapında, 1 mm et kalınlığında ve 240 mm uzunluğundaki paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Paslanmaz çelik borunun alt ve üst kısmına paslanmaz çelik filtreler yerleştirilmiştir. Üst filtrenin üzerinden hava geçişini sağlanabilmesi için gözenekli pamuk filtre ile kapatılmıştır. Buradaki pamuk filtre vakum sırasında tozların vakum hattına girmesini engellemektedir. Pamuk filtre üzerine silika kumu doldurularak bir filtrede üst kısmında kullanılmıştır. İkinci filtrenin takılması silika kumlarının vakum içerisine girmesini engellemektedir. Ayrıca silika kumu, vakum infiltrasyon işlemi esnasında oluşan basınç ve sıcaklık gibi faktörlerden kaynaklanabilecek sıvı metal taşma ve sıçrama problemlerini engellemektedir. Ardından paslanmaz çelik boru ters çevrilerek toz karışımı paslanmaz çelik boru içerisine doldurulmuş ve tozların aşağıya düşmesini engellemek amacıyla Al folyo konularak filtre ile tamamen sıkıştırılmıştır. Süreçte

yapılan uygulamalar ve denemeler sayesinde optimizasyon sağlanarak, homojen bir hibrit kompozit üretimi sağlanabilmiştir.



Şekil 4.4. Paslanmaz çelik boru içerisindeki düzenek

Vakum infiltrasyon için paslanmaz çelik boruların içine yerleştirmede, tozların ağırlık oranlarının hesaplanmasında, Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Malzeme Analiz Laboratuvarında bulunan ISOLAB marka ve LS-EJ-1200AS model hassas terazi kullanılmıştır. Tartılan tozlar (% ağı.) ayrı ayrı kaplara konularak karıştırma işlemine hazırlanmıştır. Kullanılan hassas terazi ve tozların konulduğu kaplar Şekil 4.5’de yer almaktadır.



Şekil 4.5.(a) Hassas terazi, (b) Tozların konulduğu kaplar

Hibrit kompozit üretimi için iki farklı takviye malzemesinin matris içerisinde homojen dağılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan seramik takviye ve matris tozları hibrit kompozit yapısı göz önünde bulundurularak toz karışımı sağlanmıştır. Tablo 5’de ki takviye ağırlık oranına göre gram ağırlık ölçümü sadece tek bir hibrit kompozit yapısına aittir.

### 4.3. Al Matrislerin Ergitilmesi

Çalışmada Al2024 ve Al7075 matris malzemelerini ergetmek için NEVOLA MÜHENDİLİK firmasından BAP Projesi kapsamında temin edilen THERMNEVO mini ergitme fırını kullanılmıştır. Ergitme fırını 1200°C maksimum sıcaklığa çıkabilen, devirmeli ve karıştırma işlem düzeneğine sahiptir. İçerisinde bulunan pota 5 kg kapasiteli 125mm dış, 85mm iç çapa ve 150mm yüksekliğe sahip bir şekilde özel tasarlanmıştır. Pota üst kısmında infiltrasyon işlemi için paslanmaz çelik borunun geçebileceği aralıkta bir kapak bulunmaktadır. Şekil 4.6.a ve Şekil 4.6.b’ de vakum infiltrasyon için tasarlanan ergitme fırını görülmektedir. Şekil 4.6.a’da matris malzemelerinin ergitilmesi için tasarlanan mini ergitme fırını, Şekil 4.6.b’de ise mini fırından ergitilmiş sıvı matris malzemesi ve infiltrasyon işlemi için tasarlanmış kapak yer almaktadır.



**Şekil 4.6.**(a) Sıvı matris metalini ergetmek için kullanılan 1200°C'ye çıkabilen mini ergitme fırını, (b) İnfiltrasyon işlemi için ergitilmiş sıvı matris metali

Hibrit kompozit üretiminde kullanılan Al2024 ve Al7075 matris malzemelerinin hem sıvı halleri hem de toz halleri kullanılmıştır. Al ve alaşımlarının ergime sıcaklığı literatür kaynaklarında yaklaşık 660°C olarak yer almaktadır. Deneylerde yapılan optimizasyonlar sayesinde ergime sıcaklığı 850°C'de optimize edilmiştir. Bunun sebebi sıvı matris metalinin daha akışkan halde kullanılarak infiltrasyon işleminin daha kolay sağlanmasıdır. Sıcaklık 850°C' de sabit tutularak matris malzemesinin ergime süreci başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Numunelerde seramik kompozitlerin etrafında sağlanmak istenen ıslatma süreci kurulan sistem ve optimizasyonlar ile sağlanabilmiştir.

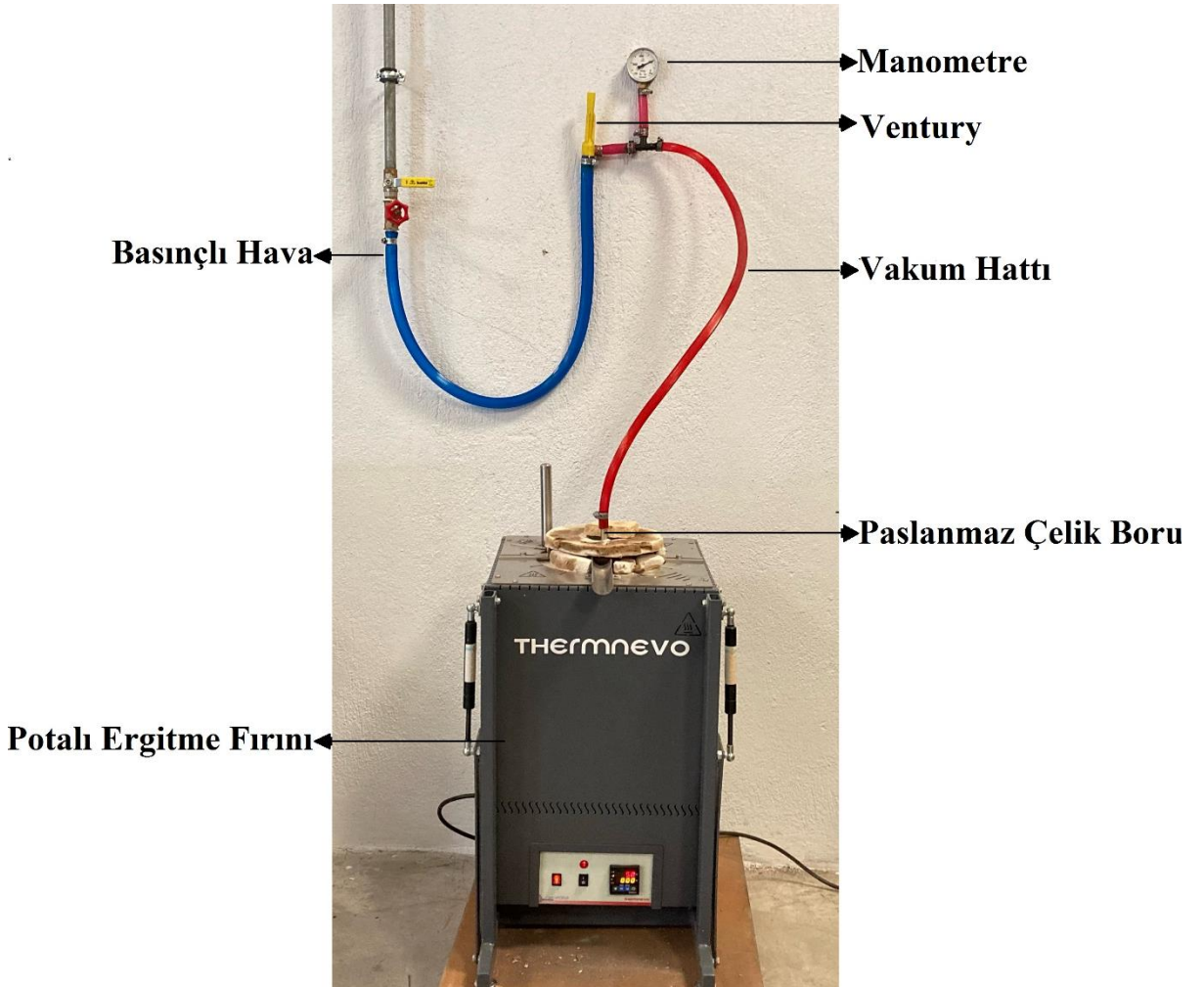
Vakum infiltrasyon işlemi atmosfere açık bir şekilde gerçekleşmektedir. Ergitilen Al alaşımlarında ergitme esnasında yüzeyde cüruf katmanı oluşmaktadır. İnfiltrasyon esnasında toz karışımı bulunan paslanmaz çelik boru (içerisinde kompozit toz karışımı) sıvı metale daldırılmadan hemen önce cüruf tabakası temizlenmiştir. Daha sonra paslanmaz çelik boru sıvı metalin içerisinde 10 dakika bekletilerek içeride oluşabilecek su buharı ve tozların oksitlenmesi gibi problemler önlenilmeye çalışılmış, bu sayede metalin çelik boru içerisinde hızlı katılaşma gibi problemler



engellenmiştir. Bekleme sayesinde çelik boru ve içinde yer alan Al matris ve takviyelerin ön ısınması sağlanmış, bu sayede takviyelerin yüzey ısıtma sürecinin optimizasyonu sağlanabilmektedir.

#### 4.4.Vakum İnfiltasyon Düzenegi

Vakum infiltasyon düzenegi için Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Döküm Laboratuvarına yeni bir sistem kurulmuştur. Kurulan infiltasyon ünitesi sayesinde arta kalan metallerin temizliği ve daha homojen bir ısıtma süreci sağlanabilmektedir. Şekil 4.7’de vakum infiltasyonda yeni tasarlanan ve Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarına kazandırılan sistem ve ekipmanlarının görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.7.Vakum infiltasyon ünitesi

Vakum infiltrasyon işlemini sağlamak için kompresörlerinden gelen basınçlı havayı negatif basınca dönüştürebilmek için venturi yönteminden yararlanılmıştır. Sağlanan vakum değerinin ölçülmesi için hava akışının sağlandığı kısma T boru ile manometre bağlanmıştır. Vakum hattının bitiş kısmına paslanmaz çelik boru arasına ısıyı kesmek ve sızdırmazlığı sağlamak amacıyla ısıya dayanıklı teflon malzeme konulmuştur. Bağlanan paslanmaz çelik boru sıvı matris içerisinde daldırılarak 10 dakika bekletilmiştir. Vakum ünitesi 400mmHg sabit bırakılan vakum değerinde açılarak vakum 5 dakika boyunca vakum infiltrasyon işlemi uygulanmıştır. 5 dakika sonunda üretilen numuneler silika kumunda soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler içyapı ve mekanik işlemler için, her bir İnfiltrasyon çubuğundan 3'er parçaya ayrılmıştır. Vakum infiltrasyon işlemi sonrası üretilen numuneler, Şekil 4.8.a,b ve c'de, her seri için kesim işlemleri tamamlanmış şekilde görülmektedir. Şekil 4.8.d'de kompozitleri kesmek için kullanılan hassas kesici, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Malzeme Muayene Laboratuvarında yer alan HARDWAY marka kesme cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8.c).

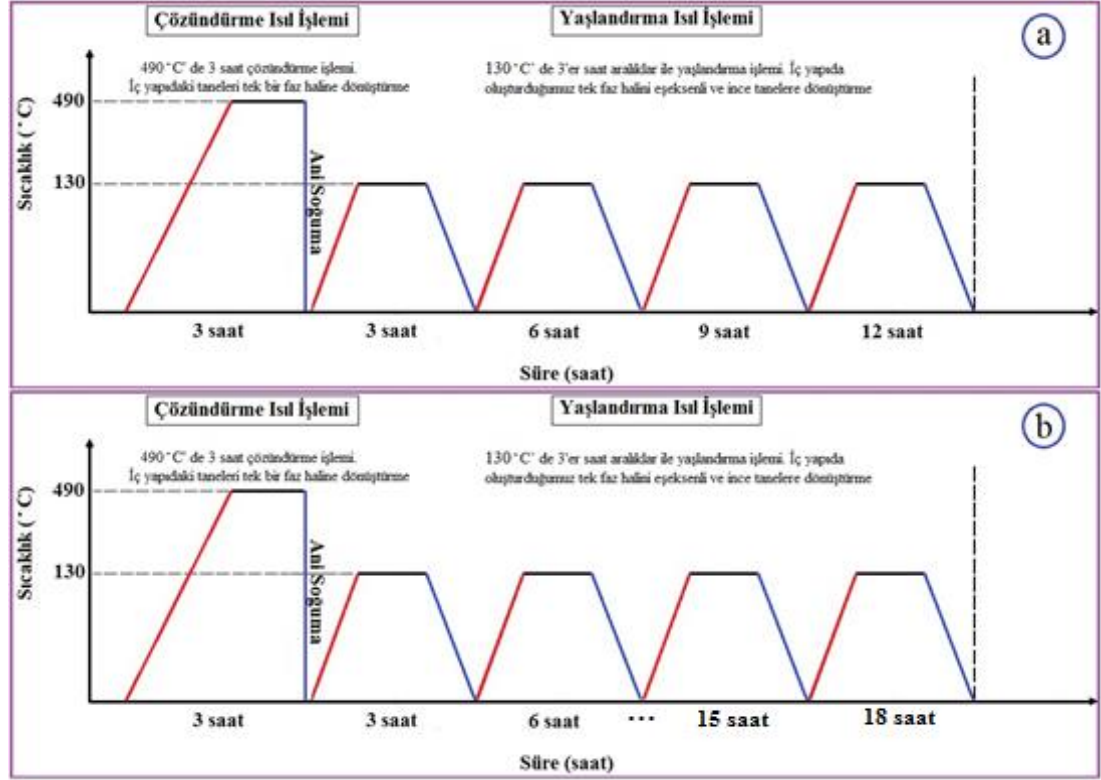


Şekil 4.8.(a) Al2024 matrisli hibrit kompozitler, (b) Al7075 hibrit kompozitlerin kesme sonrası görüntüleri, (c) Hassas kesme cihazı

#### 4.5.Üretilen Hibrit Kompozitlere Uygulanan Çözündürme ve Yaşlandırma İşlemleri

VİM ile üretilen kompozitlere, ana matris faz sertliğini iyileştirmek için ısı işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem süreci için öncelikle çözündürme ve sonrasında yaşlandırma işlemleri uygulanmıştır. Üretilen numunelere farklı çözündürme ve yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık ve süreleri uygulanmış olup, yapılan çalışmalarda optimum sertlik verilerine bağlı olarak aşağıdaki Şekil 4.9.a ve b’de yer alan grafik oluşturulmuştur. Tüm veriler için grafikteki reçete uygulanmıştır. Şekil 4.9.a’da

Al2024 marisli, Şekil 4.9.b'de ise Al7075 matrisli hibrit yapıya aittir. Her iki çözündürme ve yaşlandırma sıcaklıkları aynı optimize edilmiş olup yaşlandırma süreleri farklılık göstermektedir.



Şekil 4.9.Çözündürme ve yaşlandırma ısıl işlemine ait reçete, (a)Al2024, (b)Al7075

#### 4.5.1. Çözündürme İşlemi

Çözündürme işlemi çözeltiliye alma işlemi olarak da tanımlanmaktadır. Çözündürme işlemi solvüs çizgisinin üzerinde bir sıcaklıkta %100  $\alpha$  olana kadar bekletilmesi ile sağlanabilmektedir (Burgucu 2011) (Özer 2003). Bu çalışmada belirlenen çözündürme parametreleri; Al2024 ve Al7075 alaşımları için 490°C' de 3 saat olarak belirlenmiştir. Çözündürme sıcaklıkları uygulanan matrisler için %100  $\alpha$  olması için sıcaklık aralığı belirlenmiştir. Çözündürme ısıl işleminin sonunda incelenen içyapılar da çözündürmenin başarı bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Çözündürme yapılan ısıl işlem fırını Şekil 4.10'de yer almakta olup, işlemler AKSÖZ ARGE MÜHENDİSLİK SANAYİ ve TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ'nde bulunan THERMNEVO markalı 1300C sıcaklığa çıkabilen fırında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10.Çözündürme ısı işlem fırını

#### 4.5.2. Su Verme İşlemi

Çözündürme ısı işleminden sonra numunelere suda su verme işlemi ile hızlı şekilde soğutulmuştur. Hızlı soğutma işlemi için genellikle suda soğutma tercih edilmektedir. Burada oluşan aşırı doymuş katı ergiyiğin aynı iç yapısının korunması amacıyla yapılmıştır. Böylelikle yapı daha dayanıklı hale gelmektedir. Al ve alaşımları hızlı soğutmaya karşı hassastır ve soğutma hızının artması, mukavemetin artmasında önemli rol oynamaktadır (Deschamps ve diğ. 2001). Bu çalışmada çözündürme ısı işlemi sonrası Al2024 ve Al7075 matrisli hibrit kompozitler oda sıcaklığında (~25°C) suda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm süreçler standart olması için her soğutma süresinde soğutma suyu yenilenmiştir. Oluşan iç yapı incelendiğinde tek bir fazın elde edildiği görülmüştür.

#### 4.5.3. Yaşlandırma Isıl İşlemi

Yaşlandırma ısı işlemi, aşırı doymuş katı ergiyik içerisinde ikincil fazların oluşması için sıcaklık ve zamana bağlı olarak kararlı hale getirilmesi işlemidir. Hızlı



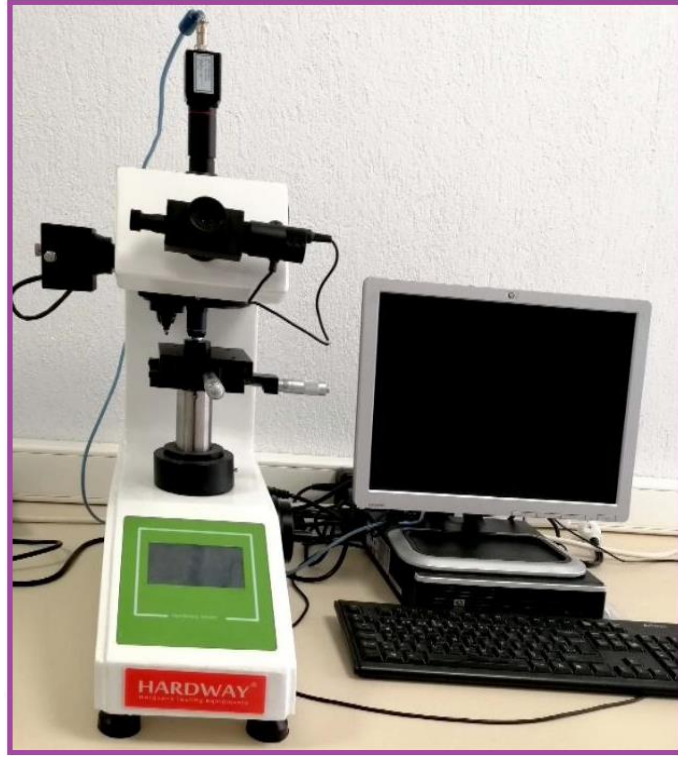
soğutmadan sonra solvüs eğrisinin altında bir sıcaklıkta tutulur ise yapay yaşlandırma olarak adlandırılmaktadır. (Dilmeç ve diğ. 2015) (Burgucu 2011) (Özer 2003) Tez kapsamında, Al matrisli hibrit kompozitler için uygulanan optimizasyon süreçleri sonrasında aynı yaşlandırma parametreleri belirlenmiştir. Al2024 matrisli kompozit için 130°C’de 3’er saat aralıklarla toplamda 12 saat ve Al7075 matrisli kompozit için 130°C’de 3’er saat aralıklarla toplamda 18 saat yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırma ısı işlemlerinde Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında bulunan MİPRO markalı etüv fırın kullanılmıştır. Etüv fırını ve hibrit kompozitlerin fırın içerisine konumu Şekil 4.11.a ve Şekil 4.11.b’de verilmiştir.



**Şekil 4.11.**(a)Yaşlandırma işlemi için kullanılan etüv fırını, (b) Üretilen hibrit kompozitlerin fırın içerisine yerleşimi

#### 4.6. Sertlik Ölçümleri

Üretilen hibrit kompozitlerin sertlik deneyleri Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Isıl İşlem laboratuvarlarında bulunan Hardway DV-1AT-4.3 marka Vickers sertlik cihazında yapılmıştır. Ölçüm yapılan numuneler dik bir şekilde yerleştirilmiş ve kesilen yerlerinden sertlik ölçümleri alınmıştır. Ölçüm yüzeyine baskı olarak elmas piramit uç kullanılmıştır. 10 gram yük altında 10 saniye süre ile sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 7 ölçüm alınmış ve ölçümlerin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.12’de Vickers sertlik ölçüm cihazı verilmiştir.



**Şekil 4.12.**Vickers sertlik ölçüm cihazı

Sertlik ölçümleri numunelerin ham, çözündürme sonrası ve her yaşlandırma ısıl işleminden sonra alınmıştır. Yaşlandırma ısıl işlemi sonunda elde edilen en yüksek sertlik ve en düşük sertlik değerleri tespit edilmiştir.

#### **4.7. Üretilen Hibrit Kompozitlerin Metalografik İşlemleri**

Hibrit kompozitlerin karakterizasyon incelemeleri için numunelere zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Numune hazırlığı Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalografi Laboratuvarında bulunan Şekil 4.13.a'da gösterilen METKON marka otomatik zımparalama ve parlatma cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.13.b'de ise numunelerin dağlama işlemleri gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.13.**(a) Otomatik zımparalama ve parlatma cihazı, (b) Dağlayıcının hazırlandığı çeker ocak

Numunelerin zımparalanması sırayla 180, 240, 400, 600, 800 ve 1000 mesh zımpara kağıtları kullanılmıştır. Zımparalanan numuneler parlatma işlemi için 6µm ve 3µm boyutlarında parlatma keçeleri ve solüsyonları kullanılmıştır. %2 HF + %3 HCl + %5 HNO<sub>3</sub> + %90 saf su kimyasal bileşimi ile hazırlanan KELLER dağlayıcısı ile dağlama işlemi yapılmıştır.

Dağlama işleminde bekleme süreleri her bir matris alaşımı için farklılık göstermiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli hibrit kompozit için 35 saniye ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matrisli hibrit kompozit için 30 saniye dağlayıcı içerisinde bekletilmiştir. Dağlama sonrası numune su ile yıkanarak yüzey temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

#### **4.8. Üretilen Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyon Analizleri**

Üretilen hibrit kompozitlerin mikroyapı ve karakterizasyon analizleri için Optik Mikroskop (OM), FESEM, EDS ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. OM (Şekil 3.14) görüntüleri Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Malzeme Muayene Laboratuvarında yer alan NİKON ECLİPSE marka ve LV150NL model (Şekil 4.14) cihazda gerçekleştirilmiştir.





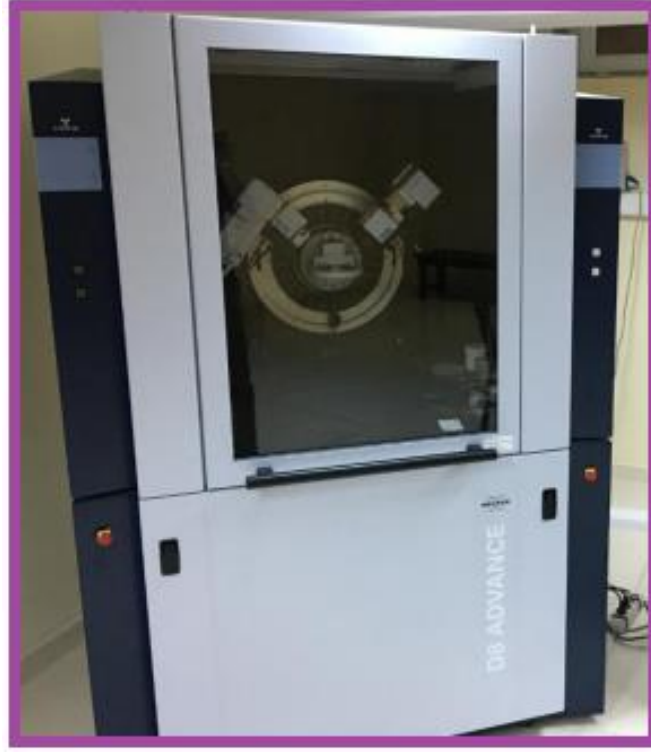
**Şekil 4.14.**Optik Mikroskop

Mikro yapıyı daha detaylı incelemek için Şekil 4.15’da yer alan Pamukkale Üniversitesi İLTAM biriminde bulunan ZEISS marka SUPRA 40VP model Alan Emisyon Taramalı Elektron mikroskobu (FESEM) kullanılmıştır. FESEM cihazına bağlı olarak alınan görüntülerden Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) cihazı ile element dağılım oranları belirlenmiştir. Şekil 4.16’da yer alan Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan D8 ADVANCE marka X- Işını Difraktometresi (XRD) ile yapıda oluşması muhtemel ikincil ve ana fazlar tespit edilmiştir.



**Şekil 4.15.**FESEM, EDS cihazı

FESEM, yüksek voltaj ile hazırlanan elektronların numune üzerine odaklanması ile yüzeyi tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobudur. Elektronlar numune içerisindeki atomlarla etkileşerek yüzeyin topografik ve kompozisyonu ile ilgili sinyaller verir. Bu sinyaller dedektör yardımı ile toplanarak bilgisayar ekranına yansıtılır ve görüntü elde edilir (İltam 2019). Numunelerin tane boyutları, tane sınırları, tanelerin içyapıda ki dağılımlarını gözlemlemek için yapılmaktadır. EDS ise numunenin atom konsantrasyonlarını belirleyerek haritalama özelliği sayesinde numunenin içerisinde bulunan elementlerin dağılımları hakkında bilgi vermektedir. (İltam 2019) XRD, X-ışınlarının kristale özel yönlenmelerde kırınım olayına dayanan bir yöntemdir. Her bir kristalin faz için kırınımları parmak izi gibi o kristali tanımlar. Analiz sırasında numuneleri hasara uğratmaz. XRD analizi malzeme içyapısında bulunan fazların oransal miktarını, kristal boyutunu, kristal yönlenmelerini, atom pozisyonlarını ve yapısal değişimler hakkında bilgi vermektedir. (Öz ve Özer 2019)



**Şekil 4.16.**XRD analiz cihazı

Bu çalışmada FESEM analizi kullanılan matris ve seramik tozlarının saf hali ve yaşlandırma sonrası en yüksek sertliğin elde edildiği üç farklı matris yapısı, farklı takviye hacim oranlarındaki homojen dağılım, üretilen kompozitlerin tane boyutları, tane sınırları ve tane yapıları incelenmiştir. Ardından hibrit kompozit yapının içerisinde bulunması muhtemel elementlerin dağılımlarını incelemek için EDS ve son olarak XRD yapılarak üretilen hibrit kompozitlerin yapısında oluşan fazlar, fazların oransal miktarı ve yapıdaki değişimlerin analizi yapılmıştır.

## 5. BULGULAR

Bu çalışmada Al2024 ve Al7075 matrisli B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC seramik takviyeli hibrit kompozitler VİM yöntemiyle farklı takviye hacim oranlarında üretilmiştir. Aynı zamanda üretilen farklı oranlardaki hibrit kompozitlere uygulanan ısı işlemlerin malzeme içyapısındaki ve sertliklerdeki değişimlere yönelik çalışmaları kapsamaktadır.

Hibrit kompozitlerin üretimdeki homojenliğin ve ıslatılabilirliğin sağlanıp sağlanmadığını analiz edebilmek için FESEM, EDS ve XRD analizleri ile incelenmiştir. Oluşması muhtemel ikincil fazların ve hibrit kompozitlerin etkilerini incelemek için sertlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

### 5.1. Hibrit Kompozitlerin FESEM Görüntüleri

VİM ile üretilen Al esaslı hibrit kompozitler üç farklı seramik takviye malzemesi ile %1, %3, %5 ve %10 takviye ağırlık oranlarında üretimi gerçekleştirildi. Malzeme özellikleri ve üretilebilme özelliklerine göre VİM parametreleri optimum seviyede belirlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Üretilen hibrit kompozit yapıların matris ve takviye malzemeleri ve takviye oran parametreleri Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6.**Matris alaşımlarına ilave edilen seramik takviyeler ve takviye oranları

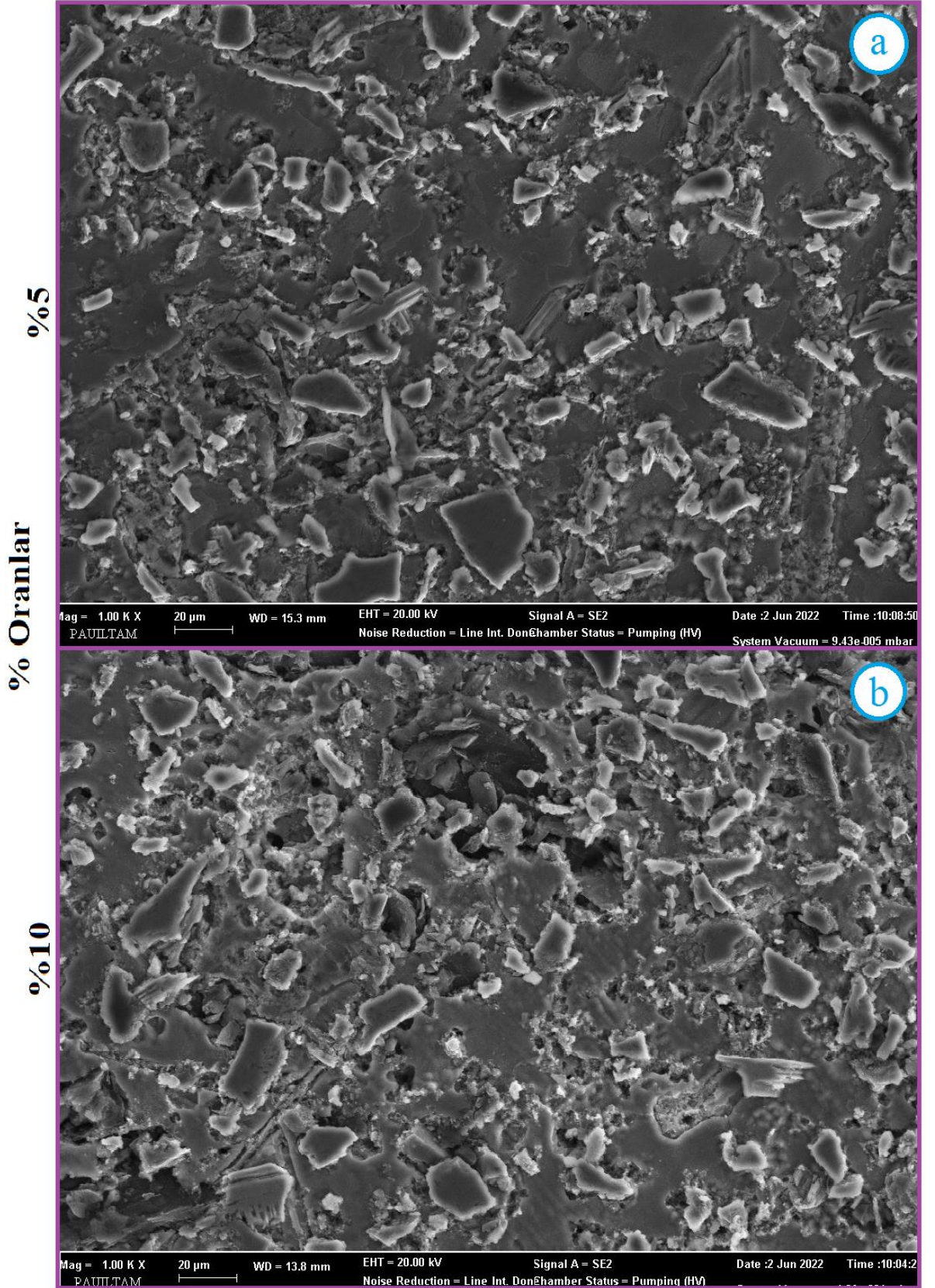
Seramik Takviye Malzemeleri (% Ağ.)	B <sub>4</sub> C-SiC				TiC-SiC				TiC-B <sub>4</sub> C				
	1%	3%	5%	10%	1%	3%	5%	10%	1%	3%	5%	10%	
Matris Alaşımları	Al7075	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Al2024	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Al2024 matrisine %1, %3, %5 ve %10 takviye ağırlık oranlarında B<sub>4</sub>C-SiC, TiC-SiC ve TiC-B<sub>4</sub>C seramik takviyeleri ile hibrit kompozit yapı oluşturulmuştur. Denemeler esnasında, kullanılan tozların küçük boyutlu olmasından dolayı %1 ve %3 oranlarındaki kompozitlerde ıslatılabilirlik etkilerinin incelenmesi için yeterli görüntülemeler elde edilememiştir. Ancak, takviye oranının ağ. %5 ve %10 oranlarına çıkarılması sayesinde, FESEM görüntülerinde ve OM görüntülerinde istenilen görüntüler elde edilebilmiştir. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de görülen FESEM görüntüleri ilave edilen hibrit seramik takviyelerin dağılım ve homojenliği

görülebilmektedir. Şekil 5.1 incelendiğinde  $B_4C-SiC$  hibrit yapılarında ve takviye oranlarında ıslatılabilirliğin iyi olduğu aynı zamanda ana matris ile bütünleştiği görülebilmektedir. Matrise ilave edilen seramik takviyelerin yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Homojen yapının elde edilmesinin kompozit üretiminde zor olması, hibrit yapılar için oldukça önemlidir (Ghazaly ve diğ. 2017). Çalışmada, FESEM görüntülerinde %5 takviye (Şekil 5.1.a) oranında herhangi bir gözeneklilik ile karşılaşmadığı, fakat Şekil 5.1.b’de verilen FESEM görüntülerinde artan takviye oranında (%10 takviye) yapıda porozitelerin oluşmaya başladığı görülmektedir. Bu durum benzer çalışmalarda açıklanmış ve kompozit takviye oranının % ağırlık oranı ile doğrudan alakalı olduğu bildirilmiştir (Tham ve diğ. 2002).



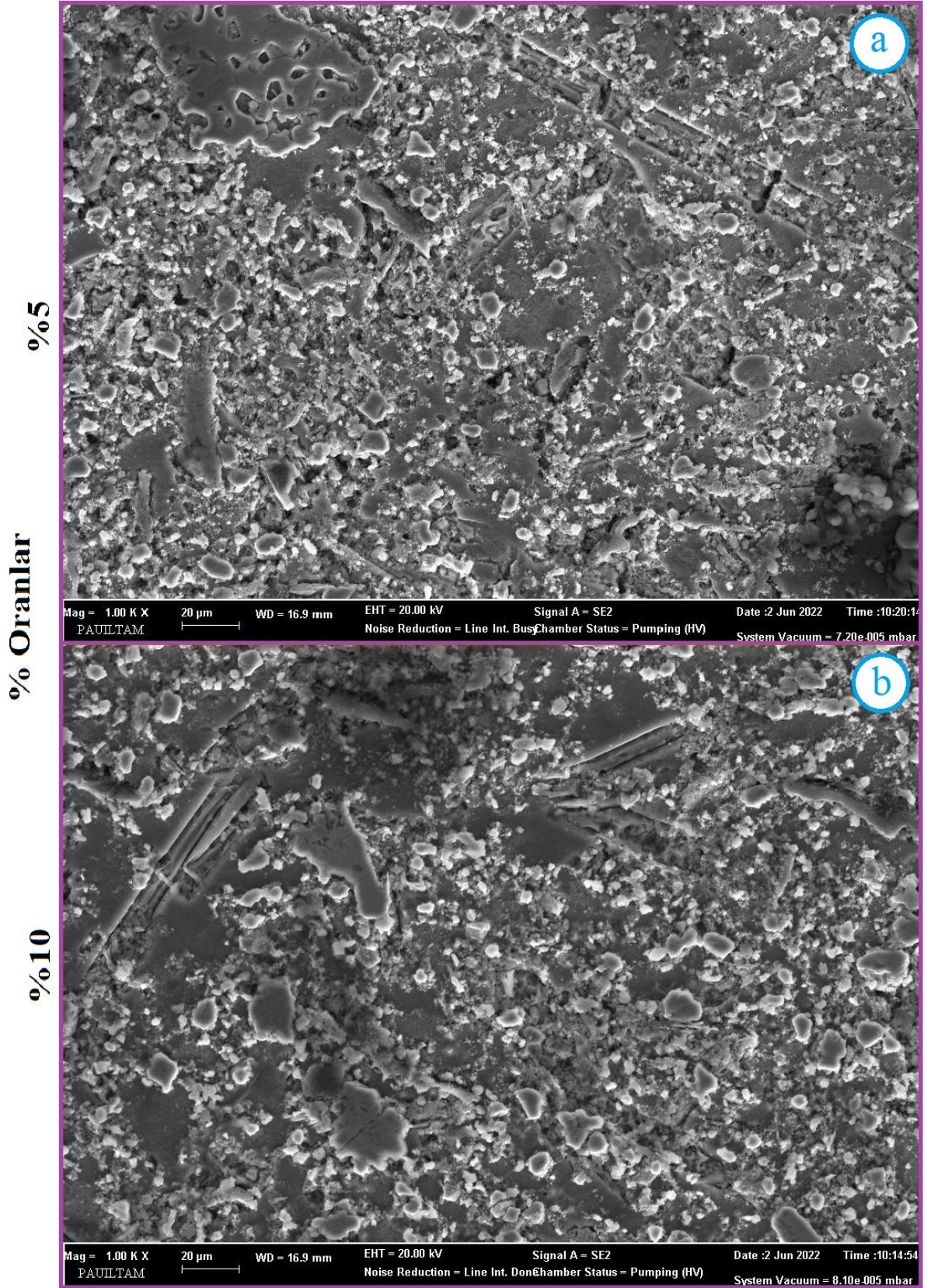
## Hibrid Kompozit Türleri B<sub>4</sub>C - SiC



Şekil 5.1. Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %2,5 B<sub>4</sub>C- %2,5 SiC, (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %5 B<sub>4</sub>C- %5 SiC



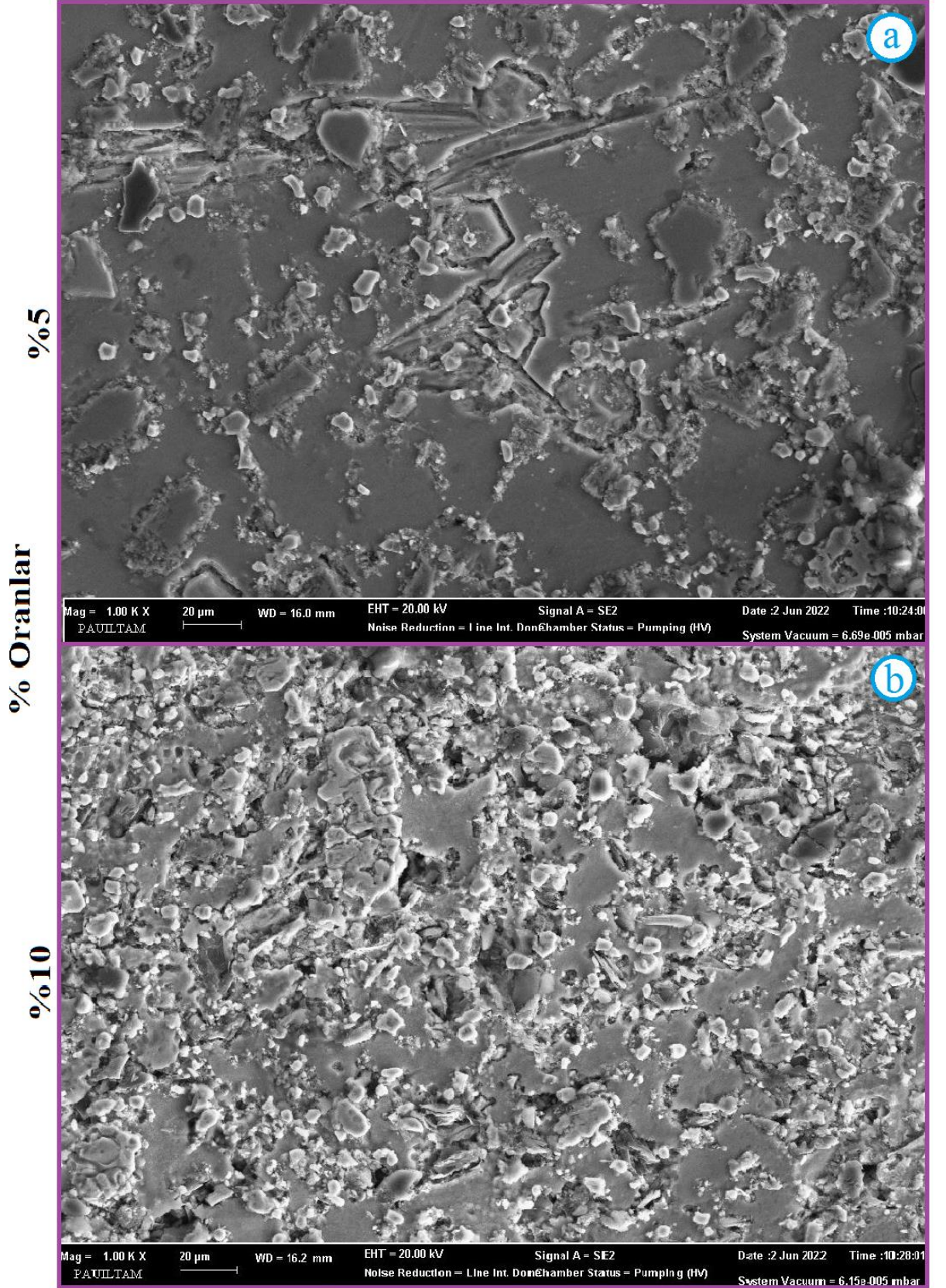
## Hibrid Kompozit Türleri TiC - SiC



**Şekil 5.2.**Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %2,5 TiC- %2,5 SiC, (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %5 TiC- %5 SiC



## Hibrid Kompozit Türleri TiC - B<sub>4</sub>C



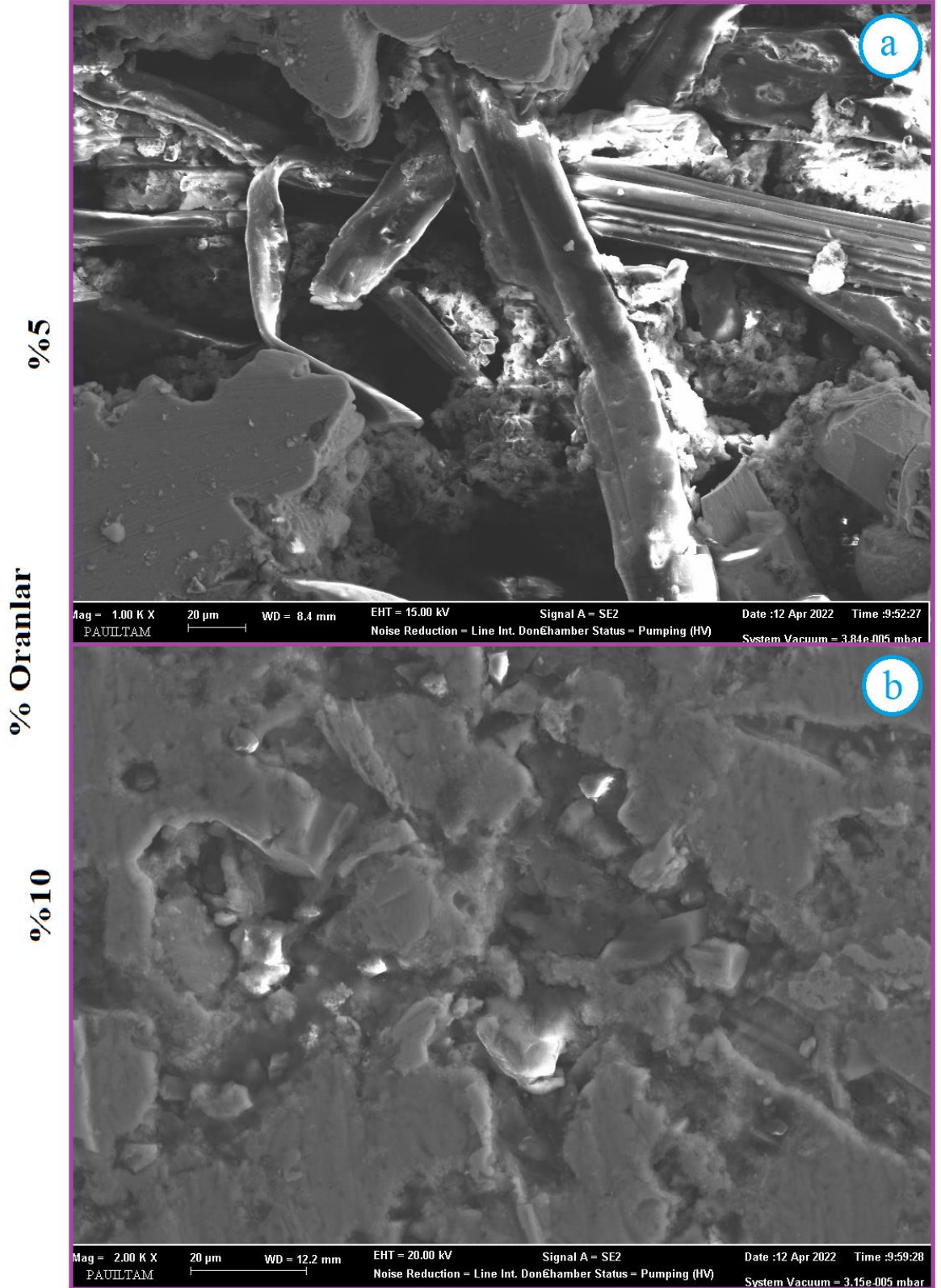
**Şekil 5.3.**Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al<sub>2024</sub> + %2,5 TiC- %2,5 B<sub>4</sub>C, (b) Al<sub>2024</sub> + %5 TiC- %5 B<sub>4</sub>C



Şekil 5.2.a incelendiğinde %5 TiC-SiC hibrit yapısında hem TiC hem de SiC seramik takviyesinin olduğu görülmektedir. Böylelikle oluşması istenen hibrit yapı homojen dağılımı gözlemlenmiştir. Takviye oranının artması ile birlikte Şekil 5.2.b 'de yer alan FESEM görüntüsünde porozitenin oluşmaya başladığı buna bağlı olarak topaklanmaların olduğu görülmektedir. Artan takviye oranları %5'in üzerinde olan yapılarda takviyelerin topaklanma eğiliminde olduğu bu sebeple optimum karışım oranının %5 takviyeli hibrit kompozitler olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.3'de 850°C'de gerçekleştirilen vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli TiC-B<sub>4</sub>C takviyeli hibrit yapısı incelendiğinde kullanılan seramik takviyelerin matrisin içerisinde yer aldığı görülmektedir. B<sub>4</sub>C seramik takviyesinin TiC takviye yapısına göre daha köşeli ve büyük bir yapıda olduğu EDS analizi ile de tespit edilmiştir. Farklı takviye eleman ve oranlarda içyapı içerisinde değişen dağılım ve boyut farkı gözlemlenmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + B<sub>4</sub>C-SiC-TiC hibrit yapısında, takviye toz boyutları yaklaşık 0-10µm arasında olması ve homojen bir şekilde dağılması yaşlandırma işleminde matris mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde olumlu etkiler oluşturmuştur.

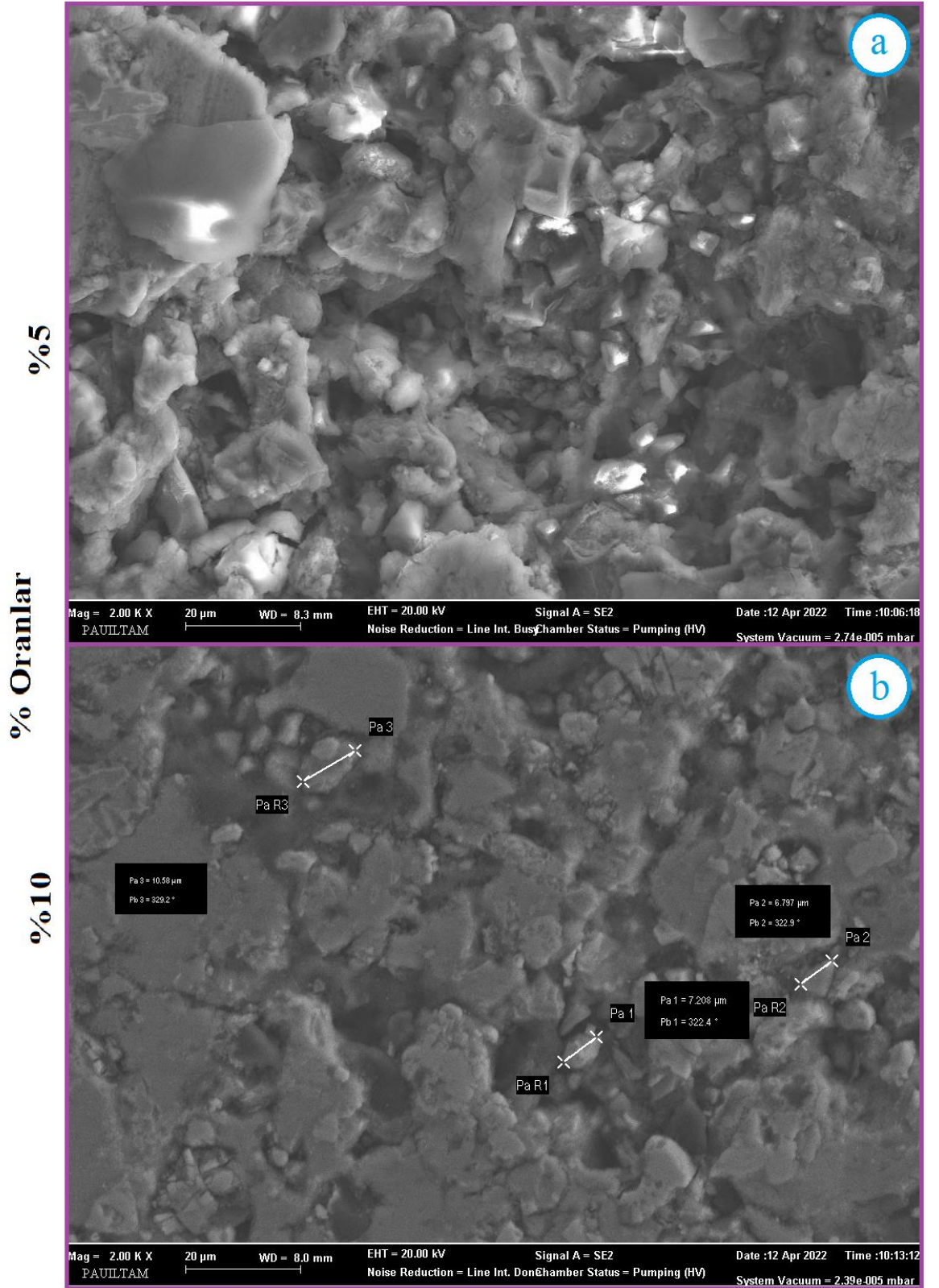
Bu çalışmada, son olarak üretilen Al<sub>70</sub>Si<sub>7</sub> matrisli %5 ve %10 takviye oranları ve B<sub>4</sub>C – SiC – TiC seramik takviyeleri ile üretilen hibrit kompozit yapının FESEM görüntüleri; Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da yer almaktadır. Al<sub>70</sub>Si<sub>7</sub> matrisi incelendiğinde takviye malzemelerinin yığılma eyleminde olduğu görülmüştür. Üretilen hibrit kompozitler içerisinde %2,5 TiC- %2,5 SiC (Şekil 5.5) takviye malzemesinin diğer %5 takviye oranlarına göre daha iyi dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Kullanılan seramik tozlarının küçük boyutlara sahip olması tozların matris içinde topaklanmasına neden olabileceği görülmüştür. Genel itibari ile bölgesel topaklanmalar olsa dahi Al<sub>70</sub>Si<sub>7</sub> alaşımı içinde hibrit yapının karıştığı ve dağıldığı görülmüştür. Çekilen görüntüler doğrudan ilave edilen takviyelere ait olup, bölgesel olarak dağılabildiği anlaşılmaktadır.

## Hibrid Kompozit Türleri B<sub>4</sub>C - SiC



**Şekil 5.4.**Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al7075 + %2,5 B<sub>4</sub>C- %2,5 SiC, (b) Al7075 + %5 B<sub>4</sub>C- %5 SiC

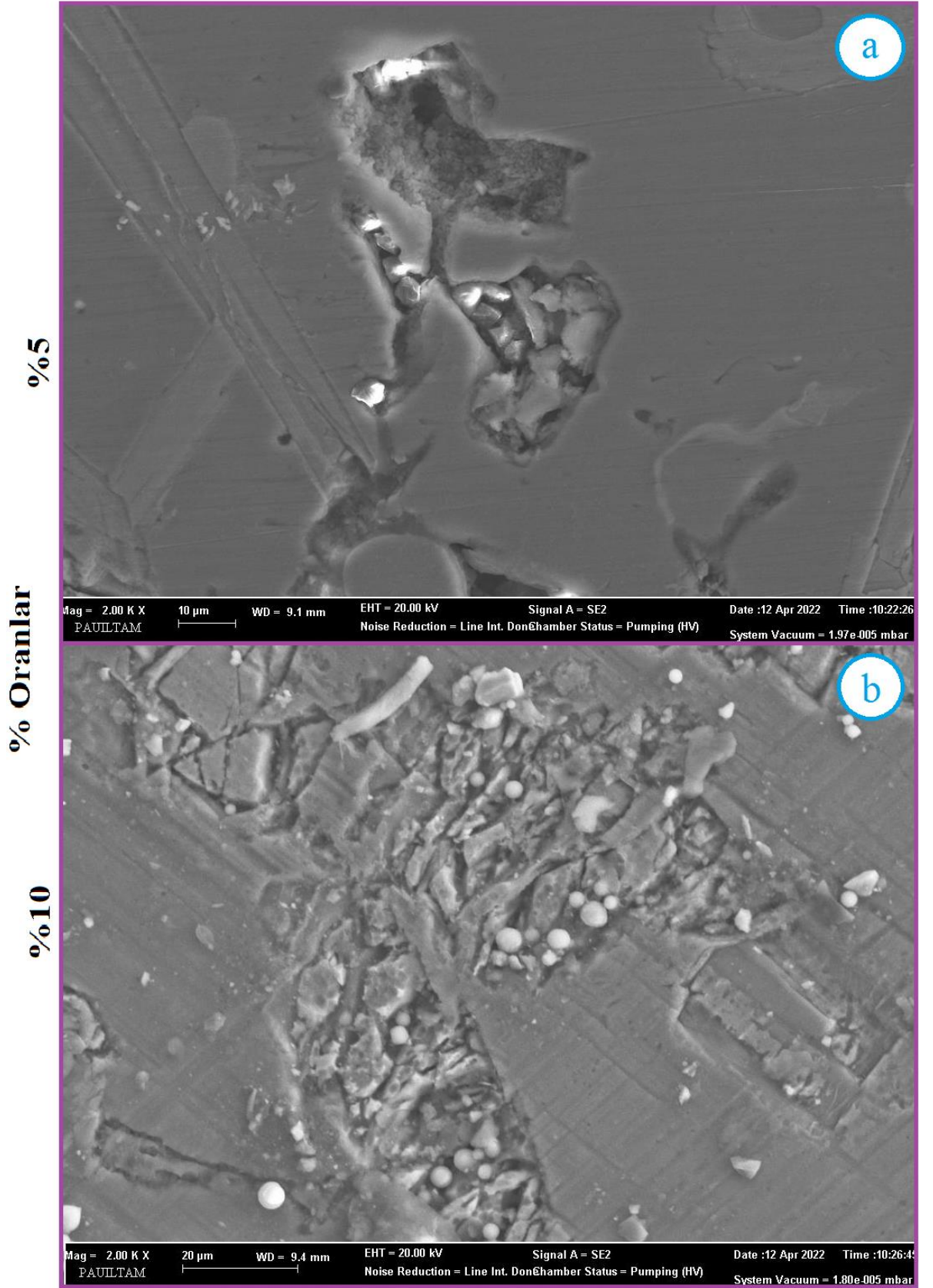
## Hibrid Kompozit Türleri TiC - SiC



Şekil 5.5. Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al7075 + %2,5 TiC- %2,5 SiC, (b) Al7075 + %5 TiC- %5 SiC



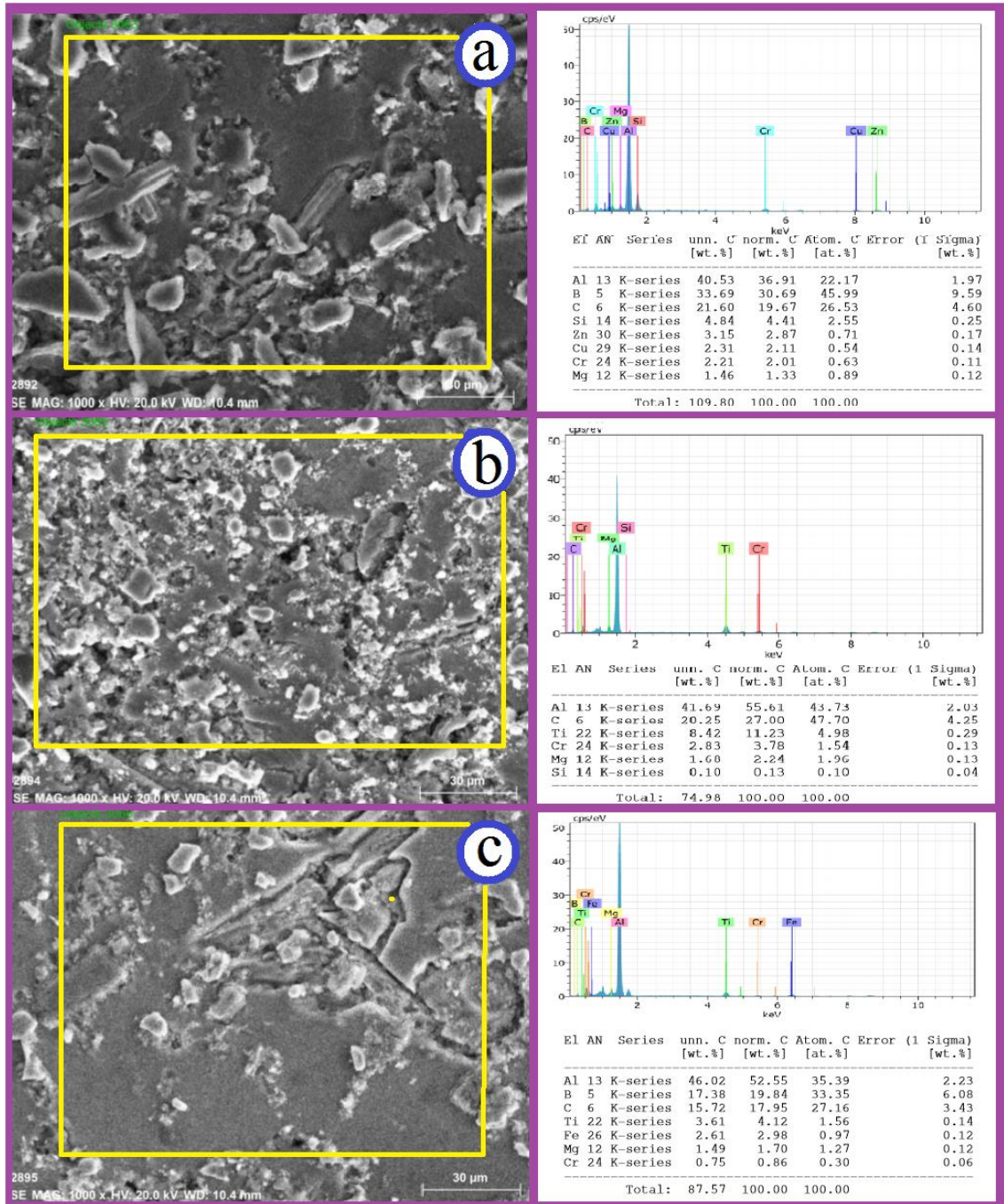
## Hibrid Kompozit Türleri TiC - B<sub>4</sub>C



Şekil 5.6. Hibrit kompozitlerin FESEM görüntüleri; (a) Al7075 + %2,5 TiC- %2,5 B<sub>4</sub>C, (b) Al7075 + %5 TiC- %5 B<sub>4</sub>C

## 5.2. Hibrit Kompozitlerin EDS Analizler

EDS analizi FESEM görüntüsü alınan numunenin üzerinde belirli bölge ve alanların incelenmesi ve bu bölge ve veya noktaların elementel dağılımlarını incelemede kullanılmaktadır. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilen EDS analizleri her hibrit kompozit yapının %5 takviye oranına sahip olan numunelerinden alınmıştır. Bunun sebebi incelenen FESEM görüntüleri neticesinde VIM işlemi sonrasında optimum koşulların sağlanabildiği takviye oranının ağ. %5 oranı olmasıdır.

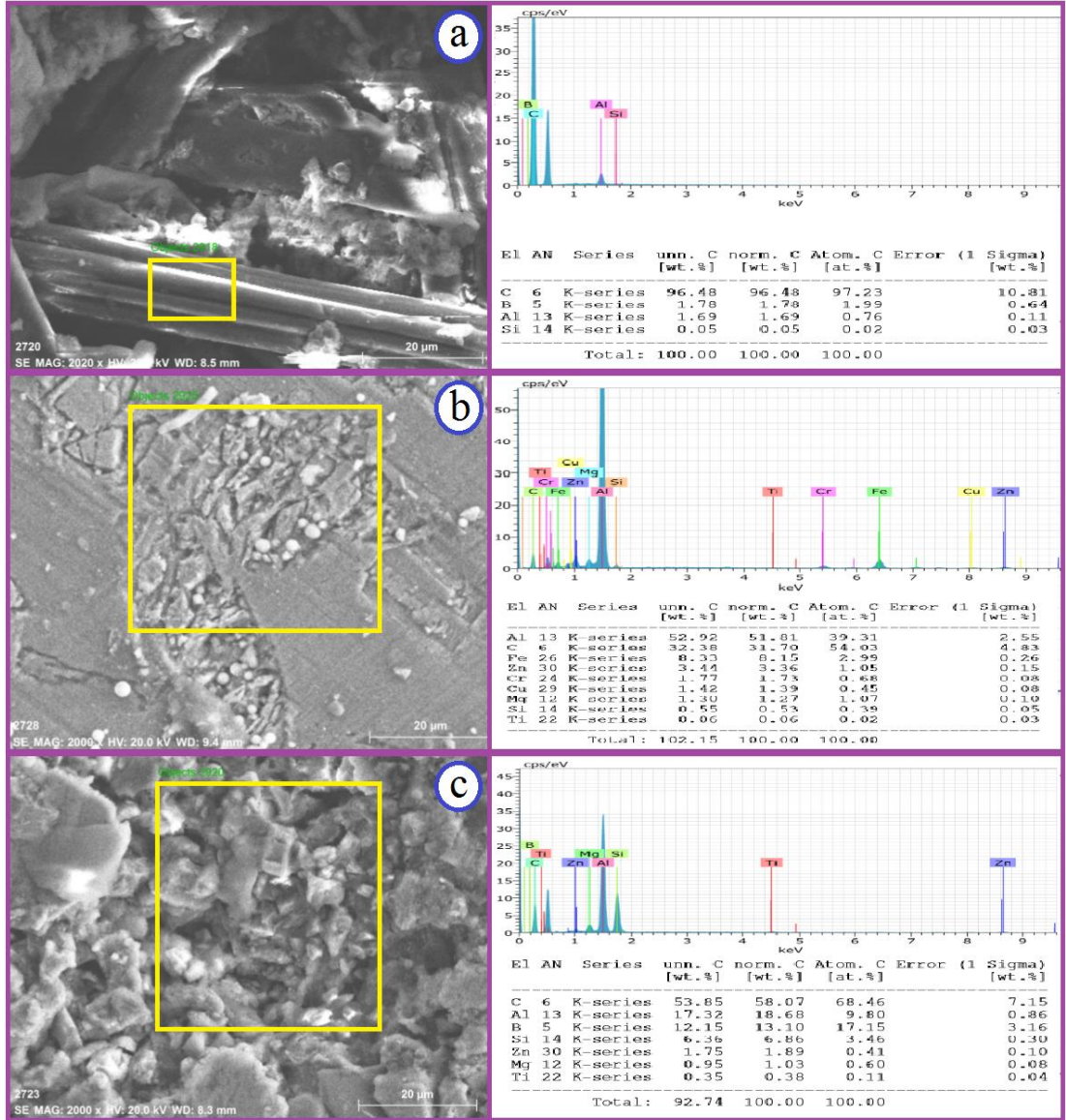


**Şekil 5.7.**Al2024 EDS analizleri; (a) %5 B<sub>4</sub>C-SiC, (b) %5 TiC-SiC, (c) %5 TiC- B<sub>4</sub>C

Şekil 5.7’de Al2024 + %5 B<sub>4</sub>C-SiC, %5 TiC-SiC ve %5 TiC- B<sub>4</sub>C ve Şekil 5.8’de Al7075 + %5 B<sub>4</sub>C-SiC, %5 TiC-SiC ve %5 TiC- B<sub>4</sub>C hibrit kompozitlerine ait FESEM görüntüleri ve FESEM görüntüleri üzerinden alınan (sarı alan) EDS analizleri yer almaktadır. Al2024 matris yapısında yer alan Al, Cu, Cr ve Mg elementleri (Şekil 5.7) ve Zn bakımından zengin Al7075 matrisi bulundurduğu diğer Al, Mg, Cu, Cr elementleri (Şekil 5.8) EDS analizinde görülmektedir.



Kullanılan tüm matris yapıda %5 B<sub>4</sub>C-SiC (Şekil 5.7.a, 5.8.a) takviyeli hibrit kompozitlerin EDS analizi incelendiğinde, B, C, Si ve Al elementlerine ait piklerin yer aldığı görülmektedir. Şekil 5.7.b’de verilen EDS analizi incelendiğinde, Al, Cu, Mg, Si, Ti, C ve Cr elementlerinin tespit edilmiştir. Cu oranının yüksek olması ile yapının Al2024 matrise ait olduğu, %5 TiC- SiC takviyesi ile de bulunması muhtemel Ti, Si ve C elementlerinin pikleri yer almaktadır.



Şekil 5.8. Al7075 EDS analizleri; (a) %5 B<sub>4</sub>C-SiC, (b) %5 TiC-SiC, (c) %5 TiC- B<sub>4</sub>C

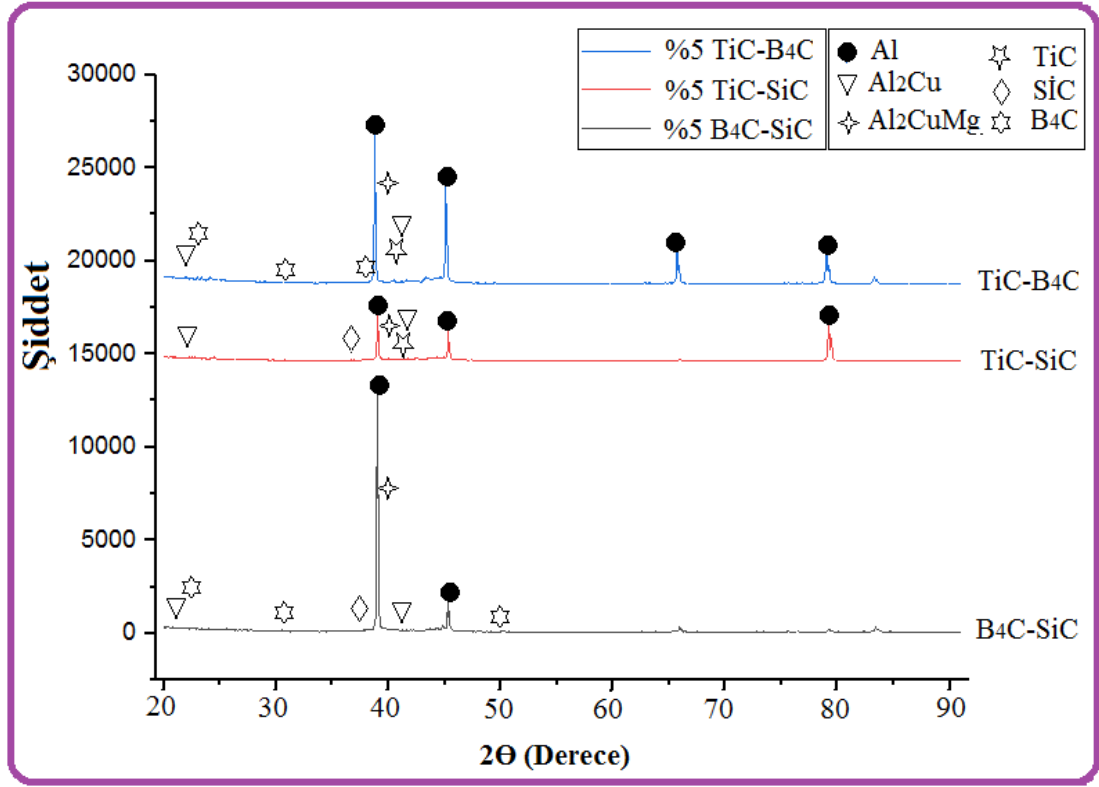
Al7075 matrisin %5 TiC-SiC (Şekil 5.8.a) EDS analizinde ise Ti, Si, C, Al ve Zn elementlerinin pikleri yer almaktadır. Ti, Si ve C seramik takviyelere ait elementlerin olduğu incelenen EDS analizlerinde görülmektedir. Son olarak takviye

edilen %5TiC-B<sub>4</sub>C (Şekil 5.7.c, 5.8.c) içerisinde yer alması gereken Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> elementleri ağırlıkça Al ve takviye malzemelerinin elementleri olan ağırlıkça B, Ti ve C' nun yer aldığı görülmektedir. Hibrit kompozitlerin yapısında yer alan Al, Cu, Zn, Si ve Mg elementleri ana matris malzemelerde yer alan elementlere ait olduğu, Si, C, B ve Ti elementleri ise takviye yapılan B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC seramik takviye malzemelerine ait olduğu anlaşılmaktadır.

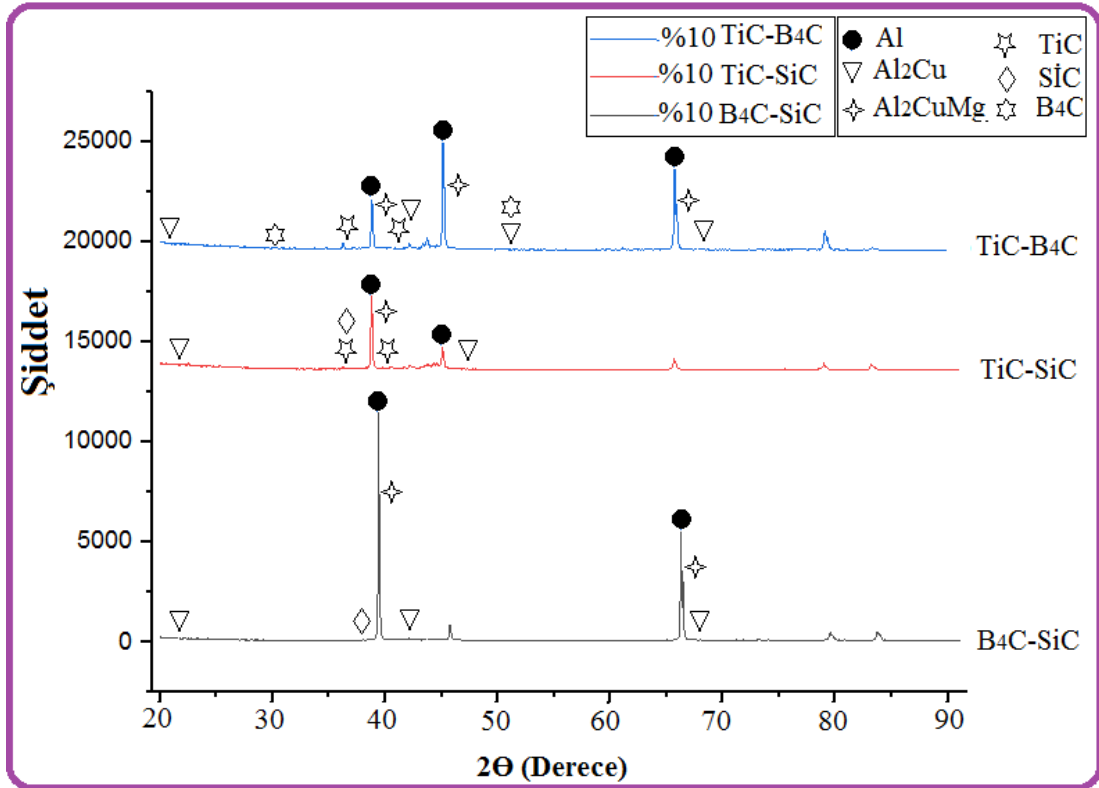
### **5.3.Hibrit Kompozitlerin XRD Analizleri**

Üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli, %5- %10 B<sub>4</sub>C-SiC-TiC seramik takviyelerin XRD analizleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da görülmektedir. Şekil 5.9'da %5 takviye oranına sahip hibrit kompozitler verilmiştir. Burada Al ve takviye malzemelerine ait pikler yer almaktadır. Ana matris olan Al pikleri en yüksek tepe noktalarında görülürken, daha küçük piklerde uygulanan çözündürme ve yaşlandırma ısı işlem sonrasında yapı içerisinde Al<sub>2</sub>Cu (Aksöz ve diğ. 2013), Al<sub>2</sub>CuMg (Jafari ve diğ. 2009) gibi çökelen fazların olduğu XRD analizinde görülmektedir. Aynı zamanda FESEM görüntülerinde homojen dağılımını tespit ettiğimiz B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC Soy (2009) (Albiter ve diğ. 2000) seramik takviyelerin hibrit yapı içerisinde oluşturduğu fazlar yapılan XRD analizi sonucunda küçük pikler verdiği görülmektedir.





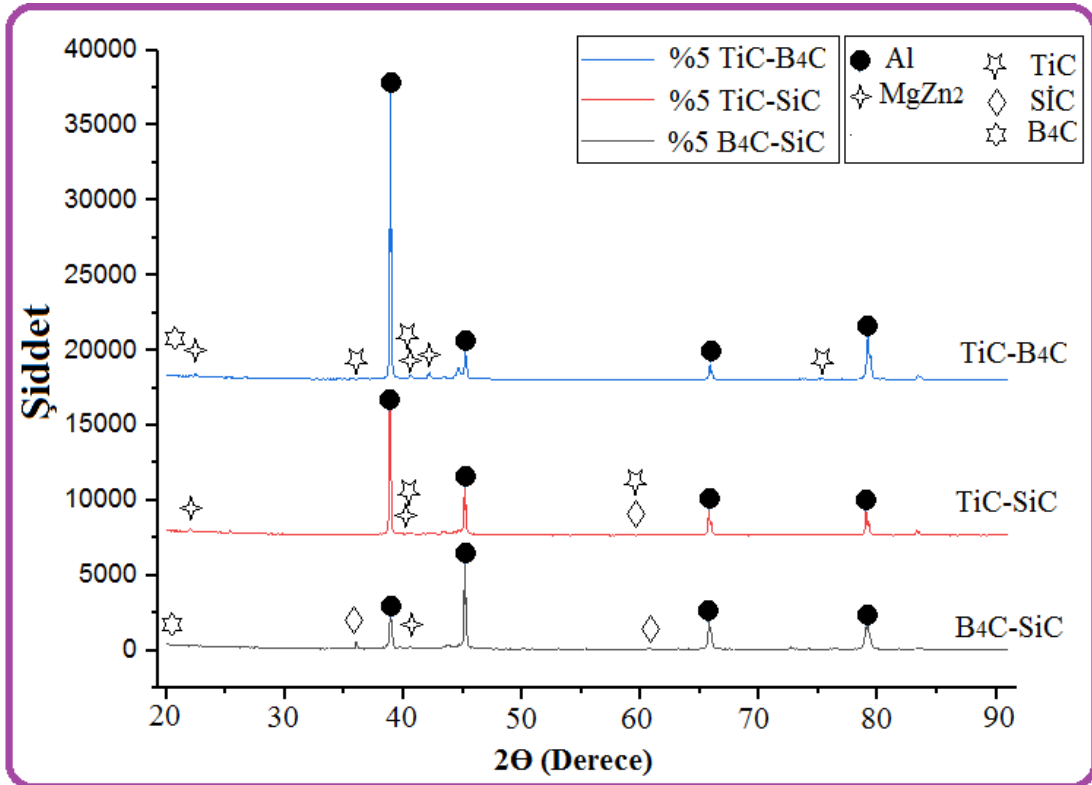
Şekil 5.9. Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al<sub>2</sub>024 + %5 B<sub>4</sub>C-SiC, %5 TiC-SiC, %5 TiC- B<sub>4</sub>C hibrit kompozitlerin XRD analizi



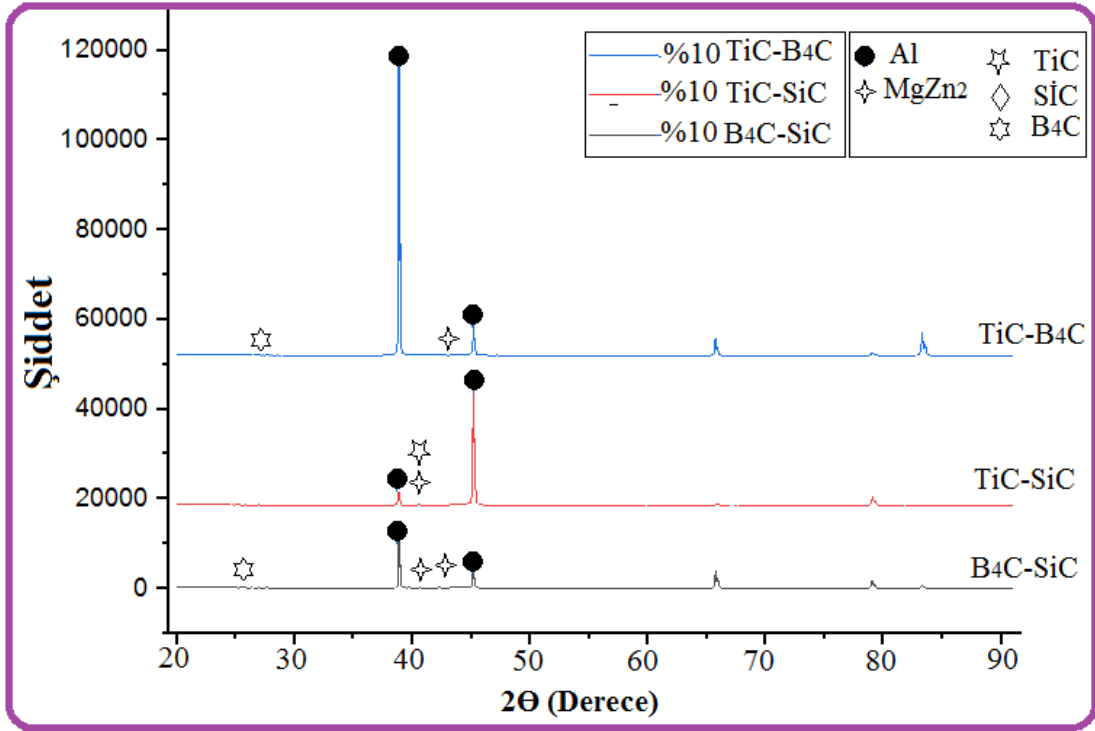
Şekil 5.10. Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al<sub>2</sub>024 + %10 B<sub>4</sub>C-SiC, %10 TiC-SiC, %10 TiC- B<sub>4</sub>C hibrit kompozitlerin XRD analizi

Şekil 5.10'da yer alan %10 takviye ağırlık oranına sahip hibrit kompozit yapısında da Al piklerinin yüksek şiddette olduğu görülmektedir. Artan takviye hacim oranına bağlı olarak içyapı da çökelen fazların yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Albiter A.ve ark., infiltrasyon işlemi sonunda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC fazını (Albiter ve diğ. 2000), Nagaral M. Ve ark. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile bor karbür seramik takviye fazını (Nagaral ve diğ. 2021) ve Erdemir F.ve ark. T/M ile üretilen SiC seramik takviyesi (Erdemir ve diğ. 2015) gibi çalışmalar ile kompozit yapı içerisindeki seramik takviye fazlarının varlığı da tespit etmişlerdir. Bu çalışmada alınan veriler literatür ile benzerlik göstermektedir.

Al7075 matris malzemesine ilave edilen %5 takviye ağırlık oranına sahip seramik takviye malzemelerin (B<sub>4</sub>C-SiC-TiC) XRD analizleri, Şekil 5.11'de verilmiştir. Al7075 yapısında bulunan Al elementinin zirve noktaları 38.46°, 44.70°, 65.05° ve 78.14° açılarında pik vermektedir (Michael Rajan ve diğ. 2013) (Matti ve diğ. 2021). 490° 3 saat çözündürme işlemi ve ardından 130°'de 18 saat uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında içyapıda çökelen MgZn<sub>2</sub> (Zou ve diğ. 2017) fazı XRD analizinde tespit edilmiştir. Bu fazlar ise Al7075 alaşımını ana faz yapısında oluşması muhtemel ikincil fazlara aittir.



Şekil 5.11. Yaşlandırma ısıl işlem sonrası; Al7075 + %5 B<sub>4</sub>C-SiC, %5 TiC-SiC, %5 TiC- B<sub>4</sub>C hibrit kompozitlerin XRD analizi



Şekil 5.12. Yaşlandırma ısı işlem sonrası; Al7075 + %10 B<sub>4</sub>C-SiC, %10 TiC-SiC, %10 TiC- B<sub>4</sub>C hibrit kompozitlerin XRD analizi

Şekil 5.12’de Al7075 matris yapısına %10 takviye ağırlık oranında ilave edilen B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC seramik takviyelerin XRD analizleri verilmektedir. En yüksek tepe noktası gösteren piklerin Al elementine ait olduğu görülmektedir (Sambathkumar ve diğ. 2017). Ayrıca XRD analizinde yer alan küçük piklerinde %10 takviye ağırlık oranında ilave edilen B<sub>4</sub>C, SiC ve TiC seramik takviyelere ait olduğu tespit edilmiştir (Öztürk ve diğ. 2021) (Ye ve diğ. 2019).

#### 5.4. Hibrit Kompozitlerin Sertlik Analizleri

Üretilen hibrit kompozitlere uygulanan çözündürme ve yaşlandırma ısı işlemi sonunda sertlik değişimlerine bakılmış ve elde edilen sertlik verileri (Her 3 saat sonrası alınan sertlik verilerinin ortalama değeridir) tablo haline getirilmiştir. Tablo 6 (Al2024) ve Tablo 7 (Al7075)’e bakıldığında 0 değeri çözündürme ısı işlemine aittir. İlave edilen kompozit oranları ise ağırlık %1, %3, %5 ve %10 olarak her matris için ayrı ayrı verilmiştir.

**Tablo 7.** Al2024 Sertlik Analizleri (HV0,1);B<sub>4</sub>C-SiC,TiC-SiC,TiC- B<sub>4</sub>C

Isıl İşlem Süreleri	%1 B <sub>4</sub> C-SiC	%3 B <sub>4</sub> C-SiC	%5 B <sub>4</sub> C-SiC	%10 B <sub>4</sub> C-SiC
0	73,2	94,3	99,6	88,5
3	176,3	177,4	174,7	172,6
<b>6</b>	<b>185,8</b>	<b>184,2</b>	<b>187,1</b>	<b>185,9</b>
9	168,3	174,4	174,7	166,1
12	134,4	145,1	153	132,1
Isıl İşlem Süreleri	%1 TiC-SiC	%3 TiC-SiC	%5 TiC-SiC	%10 TiC-SiC
0	101,5	92,2	94,8	97,4
3	170	168,8	175,1	163,6
<b>6</b>	<b>185,5</b>	<b>185</b>	<b>186,1</b>	<b>177,2</b>
9	170,5	170,9	171,7	170,2
12	148,4	141,8	146,5	144,1
Isıl İşlem Süreleri	%1 TiC-B <sub>4</sub> C	%3 TiC-B <sub>4</sub> C	%5 TiC-B <sub>4</sub> C	%10 TiC-B <sub>4</sub> C
0	98,9	97,8	92,2	97,5
3	175,1	168,4	169,8	155,5
<b>6</b>	<b>184,9</b>	<b>183,3</b>	<b>185,3</b>	<b>176,5</b>
9	164	162,1	169,2	164,9
12	147,4	148,4	148,9	141,8

Tablo 7’de tüm sertlik verileri incelendiğinde, en düşük sertlik değeri çözündürme ısıl işlemine ait olup (0 değeridir), en yüksek sertlik 6 saat yaşlandırma işlemi sonrasında elde edilmiştir. Sertlik verileri incelendiğinde 6 saat yaşlandırma sonrası 9 saatte düşüş meydana geldiği görülmüş olup, sertlik düşüşünü gözlemlemek için 12 saat yaşlandırma süresine kadar devam edilmiştir. Al2024 matris yapısı içerisinde en yüksek sertlik değeri 6.saatte %2,5B<sub>4</sub>C+%2,5 SiC hibrit kompozit yapısında 187 HV olarak ölçülmüştür. 6 saat sonrasında en düşük sertlik ise %5TiC+%5B<sub>4</sub>C hibrit kompozit yapısında 176.5HV olarak elde edilmiştir. İlave edilen seramik takviye tozlarının hibrit kompozit yapının sertliğini artırdığı fakat küçük toz boyutuna sahip yapılarda belirli takviye oranından sonra sertliğin düştüğü görülmektedir (Gomez ve diğ. 2009). Sertlik artışının yaşlandırma ısıl işlemi ile birlikte ana yapı içerisinde çökelen Al<sub>2</sub>Cu, Al<sub>2</sub>CuMg gibi ikincil fazların etkisinin olduğu görülmüştür (Aksöz ve Bostan 2018).

**Tablo 8.**Al7075 Sertlik Analizleri (HV0,1);B<sub>4</sub>C-SiC,TiC-SiC,TiC- B<sub>4</sub>C

Isıl İşlem Süreleri	%1 B <sub>4</sub> C-SiC	%3 B <sub>4</sub> C-SiC	%5 B <sub>4</sub> C-SiC	%10 B <sub>4</sub> C-SiC
0	120,1	111,3	134,3	145,1
3	181,7	188,5	197,1	187,5
6	199,2	195,7	203,3	206
9	201,6	210,3	219,4	212,3
12	213,1	231,7	225	235
15	202	205,5	215,6	219
18	193,3	199,2	201,1	202,3
Isıl İşlem Süreleri	%1 TiC-SiC	%3 TiC-SiC	%5 TiC-SiC	%10 TiC-SiC
0	143,6	122,7	107,7	150,5
3	196,6	195,9	188,1	177,4
6	222,8	220	198,5	192
9	231,9	234,7	235,6	222,2
12	215,5	215,8	222,4	213,5
15	212,5	207,1	188,5	189,2
18	203,3	196,5	183,8	180,3
Isıl İşlem Süreleri	%1 TiC-B <sub>4</sub> C	%3 TiC-B <sub>4</sub> C	%5 TiC-B <sub>4</sub> C	%10 TiC-B <sub>4</sub> C
0	140,3	124,9	142,5	140,8
3	193	184,4	186,6	176,2
6	202,1	191,4	195	197
9	217,6	216,1	224,6	213,8
12	207,5	207,1	204	207,9
15	202,5	193,9	184,9	188,5
18	190,5	174,8	176	180,1

Tablo 8’de yer alan Al7075 matris yapısına ait sertlik verilerine bakıldığında 0 değeri Tablo 7’da belirtildiği gibidir. Yaşlandırma ısıl işlemi 18 saat devam etmiş olup B<sub>4</sub>C-SiC hibrit yapısına sahip olan kompozitler 12. saat sonunda görülürken, diğer hibrit yapılarda 9 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonunda en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Farklı saatlerde en yüksek sertliğe ulaşılmasının sebebi içerisinde bulunan Al<sub>2</sub>Cu (Aksöz ve diğ. 2013), Al<sub>2</sub>CuMg (Kumar ve diğ. 2017), MgZn<sub>2</sub> (Isadare ve diğ. 2013), Mg<sub>2</sub>Si (Karakoç ve diğ. 2019) fazlarının çekirdeklenmeleri ve bu fazlar sertlik artışında süreye bağlı olarak tane sınırlarında çökelerek olumlu etki oluşturduğu yorumlanabilir. Tablo 8 detaylı incelendiğinde; 9 saat sonundaki en yüksek sertlik %2,5TiC+%2,5SiC yapısında 235,6HV, en düşük sertlik ise %5TiC+%5B<sub>4</sub>C hibrit kompozit yapısında 213,8HV olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada, yaşlandırma ısı işlemi sonrası sertliklerde yaşanan artışların yapıda yer alan Al, Zn, Mg, Si ve Cu gibi alaşım elementlerinin çekirdeklenme mukavemetlenmesi sayesinde olduğu düşünülmektedir (Yılmaz ve diğ. 2012). Al2024 ve Al7075 matris yapılarında en yüksek sertlik ağ. %5 takviye oranında elde edilen hibrit kompozit yapılarda elde edilmiştir. Aynı zamanda en düşük sertlik değerleri ise tüm matris yapılarında ağ. %10 takviye edilen hibrit kompozit yapılarda ölçülmüştür. Literatür çalışmalarında genellikle sertlik değerlerinin artan takviye oranı ile arttığı yer almaktadır. Fakat bu çalışmada artan takviye oranının seramik takviye tozlarının küçük boyutlarda olması matris içerisinde topaklanmalara neden olması ile sertliğin düştüğü görülmüştür. Genel itibari ile kompozit takviyelerin sertliği olumlu olarak artırdığı, ancak artan takviye oranı %5'in üzerine çıktığında sertlik değerlerinde bir düşüşün meydana geldiği görülmektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matrisli B<sub>4</sub>C/SiC, B<sub>4</sub>C/TiC ve SiC/TiC takviyeli hibrit kompozitlerin üretimi ve yaşlandırma ısıl işlemleri sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Vakum infiltrasyon yöntemiyle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matrisli, %1, %3, %5 ve %10 takviye oranlarında B<sub>4</sub>C-SiC-TiC seramik takviyeli hibrit kompozitler üretilmiştir.
- Tüm FESEM görüntüleri incelendiğinde, %5 seramik takviyelerinin gözeneklilik miktarı ve kümeleşmenin daha az olduğu, hibrit kompozit yapısının homojen dağıldığı ve ıslatılabilirliğin iyi olduğu gözlemlenmiştir.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli hibrit kompozitleri FESEM görüntüleri incelendiğinde vakum infiltrasyon işleminin başarılı olduğu görülmüştür. %5 takviye oranına sahip hibrit yapılarda matris ve takviye malzemelerinin ara yüzey ıslatmasının iyi derecede olduğu görülmektedir. %10 takviye oranlarında üretilen hibrit yapıların takviye oranının fazla gelmesinden dolayı gözenekli yapı oluşturduğu görülmektedir.
- Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matrisli hibrit kompozitlerin FESEM görüntülerinde kullanılan tozların boyutlarının çok küçük olmasından dolayı seramik takviyelerin matris içerisinde belirli bir bölgede topaklanmalar olsa da hibrit yapının karışığı ve dağıldığı görülmektedir.
- Her iki matris için FESEM görüntüleri kıyaslandığında, VİM Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli hibrit kompozitlerin daha homojen ve ıslatılabilirliğin iyi olduğu görülmektedir. Al<sub>7</sub>O<sub>5</sub> matrisinde ise uygulanan vakum basıncının, vakum süresinin ve infiltrasyon sıcaklığının yetersiz olmasından dolayı matris içerisinde topaklanmaların meydana geldiği düşünülmüştür.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli hibrit kompozit için yapılan mikroyapı yüzey EDS analizlerinde, yapıda Al, Cu, Zn ve Mg elementlerine rastlanılmıştır. Ayrıca takviye malzemelerinden gelen B, Si, Ti ve C elementlerinin olduğu görülmüştür. Yapıda bulunan elementlerden kaynaklanan muhtemel içerikler ve kompozisyonlar görülmüştür.

- Al7075 matrisli hibrit kompozitin EDS analizleri incelendiğinde ise; bulunması muhtemel Al, Zn, Mg, Cu ve Cr matris elementleri ve B, Si, Ti ve C takviye elementlerinin yapı içerisinde yer aldığı görülmüştür.
- XRD analizi %5 ve %10 takviye hacim oranına sahip hibrit kompozitler de gerçekleştirilmiştir.
- Al2024 matris için yapılan XRD analizinde Al en yüksek piki verirken, içyapıda çökelen  $Al_2Cu$  ve  $Al_2CuMg$  fazlarının da tespiti yapılmıştır. Aynı zamanda Al2024 matrisine ilave edilen seramik takviyelerinde pik verdiği görülmektedir.
- Al7075 matrisli ve %5-%10  $B_4C$ -SiC-TiC seramik takviyelerine yapılan XRD analizinde çözündürme  $490^{\circ}C$ 'de 3 saat çözündürme işleminin ardından yapılan  $130^{\circ}C$ 'de 18 saat yaşlandırma işlemi sonrasında oluşması muhtemel  $MgZn_2$  çökeltisinin yoğun pik verdiği görülmektedir.
- Al2024 için yaşlandırılma sonrası en yüksek sertlik değeri 187HV ölçülerek %2.5 $B_4C$ +%2.5SiC takviye yapısında, en düşük sertlik değeri ise %5TiC+%5 $B_4C$  takviyeli hibrit kompozit yapısında 176.5HV olarak çözündürme sonrası  $130^{\circ}C$ 'de 6 saat yaşlandırma sonunda elde edilmiştir.
- Al7075 matrisinde ise; ;  $130^{\circ}C$ 'de yaşlandırma ısıl işleminde 9 saat sonundaki en yüksek sertlik %2,5TiC+%2,5SiC yapısında 235,6HV, en düşük sertlik değeri %5TiC+%5 $B_4C$  hibrit kompozit yapısında 213,8HV olarak ölçülmüştür. Ayrıca 12 saat sonunda en yüksek değer veren  $B_4C$ -SiC hibrit yapısının sertlik değeri de 235 HV'dir.
- Al2024 ve Al7075 matrisli hibrit kompozitlerin sertlikleri karşılaştırıldığında ise en yüksek sertlik değeri Al7075 matrisli %5 TiC+SiC hibrit yapısında 9 saat sonundaki yaşlandırma süresinde ölçülmüştür. Bunun nedeni ise Al7075 alaşımının Al2024 alaşımına göre daha yüksek sertlik ve dayanıma sahip olmasıdır.
- Tüm sertlik değerlerine bakıldığında ağ. %5 takviyelerin diğer oranlara göre daha homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir.
- Toz boyutlarının çok küçük olmasından dolayı istenilen ıslatmayı sağlayamadıkları için %1 ve %3 takviye-hacim oranları verilen FESEM, EDS ve XRD analizleri de tez kapsamında yer almamıştır.



#### Öneriler:

- VİM, hem döküm hemde T/M yöntemini kapsamaktadır. Böylelikle her iki yöntemin avantajları bir arada kullanılmıştır. Parametre optimizasyonu ile yeni hibrit yöntemleri oluşturulabilir.
- VİM düzeyini BAP desteği ile döküm laboratuvarına kurularak ileri çalışmalar için imkan sağlamıştır. Bu sisteminin sahip olduğu 1200°C'ye kadar sıcaklık kapasitesi, karıştırma düzeneği ve infiltrasyon sistemleri sayesinde metalik matrisli kompozitlerin farklı üretim yöntemleri geliştirilebilir.
- Vakum basınç değeri, infiltrasyon süresi, infiltrasyon sıcaklığı ve toz boyutlarının optimize edilmesi ile Al matrisli farklı hibrit kompozit sisteminin daha homojen bir dağılıma sahip ve iyi ıslatılabilirlik sağlaması gerçekleştirilebilir.
- VİM yöntemi ile üretilen hibrit kompozitlerin akademik alanda aşınma davranışlarının detaylı incelenmediği görülmüştür. Bu alanda çalışmalar gerçekleştirilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

Abu-Lebdeh, T. M., Leon, G. P. D., Hamoush, S. A., Seals, R. D. ve Lamberti, V. E., “Gas atomization of molten metal: part II. Applications”, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(2), (2016).

Acılar, M. ve Gül F., “Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen al-sicp kompozitlerde partikül boyutunun abrasiv aşınma davranışına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), (2007).

Ahlatçı, H., Candan, E., ve Çimenoğlu, H., “The effect of particle size on the mechanical properties of 60% by volume SiCp reinforced Al matrix composites”, *International Journal of Materials Research*, 93 (4), 330-333, (2002).

Akbulut, A., Tatlı, Z., and Çalışkan, F., “Si<sub>3</sub> N<sub>4</sub> Seramiklerinin Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> , MgO Katkıları Kullanılarak Basıncısız Sinterlenmesi”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, (2009).

Akbulut, H., “Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozit üretimi ve mikroyapı özellik ilişkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (1995).

Akbulut, H., “Kompozit Malzemeler Ders Notları”, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, (2006-2007).

Akçin, Y., Osman, A. S. İ. ve Yeşil, Ö., “Kompozit malzemelerin kaplanabilirliğinin incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(7), 319-322, (2013).

Akın, E., “Mermer tozları ve uçucu kül ile polimer esaslı kompozit malzeme üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Ankara, (2007).

Akınay, Y., Aygül, O., Akın, E., Akyıl, H., Çakı, A. ve Yıldız, B., “Magnezyum Matrisli Kompozit Üretimi Proses Tasarımı”, Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).

Akpınar, İ. Ş., “Atomizasyon yöntemiyle toz metal üretimi ve tozların karakterizasyonu”, Doctoral dissertation, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2011).

Aksöz, S. , Özdemir, A. T. , Çalın, R. , Altınok, Z. ve Bostan, B., “Sinterleme, Yaşlandırma Ve Kriyojenik Isıl İşlemlerinin Aa2014-B<sub>4</sub>C Kompozit Yapısına Ve Mekanik Özelliklerine Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 28 (4), (2014).

Aksöz, S., Bican, O., Çalın, R. ve Bostan, B., “Effect of T7 heat treatment on the dry sliding friction and wear properties of the SiC-reinforced AA 2014 aluminium matrix composites produced by vacuum infiltration”, *Proceedings of the*

*Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(3), 312-319, (2014).

Aksöz, S. ve Bostan, B., “Effects of ageing and cryo-ageing treatments on microstructure and hardness properties of AA2014–SiC MMCs.” *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71(8), 2035-2042, (2018).

Aksöz, S., Ozdemir, A. T., Çalın, R., Altinok, Z. ve Bostan, B., “Effects of sintering, ageing and cryogenic treatments on structural and mechanical properties of AA2014-B<sub>4</sub>C composite”, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, (2013).

Albiter, A., Leon, C. A., Drew, R. A. L. ve Bedolla, E., “Microstructure and heat-treatment response of Al-2024/TiC composites”, *Materials Science and Engineering: A*, 289(1-2), 109-115, (2000).

Alizadeh, A., Taheri-Nassaj, E., “Mechanical properties and wear behavior of Al-2 wt.% Cu alloy composites reinforced by B<sub>4</sub>C nanoparticles and fabricated by mechanical milling and hot extrusion”, *Materials Characterization*. (67), 119–128, (2012).

Altenpohl, D. G., “Present Structure and Future Trends in Key Materials Industries. Materials in World Perspective: Assessment of Resources, Technologies and Trends for Key Materials Industries”, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, Heidelberg, p. 21–126, (1980).

Angelo, P.C.ve Subramanian, R., “Powder Metallurgy Science”, Technology and Applications, New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, (2008).

Arık, H. ve Turker, M.,” Production and characterization of in-situ Fe–Fe<sub>3</sub>C composite produced by mechanical alloying”, *Materials & Design*, 28, 140-146, (2007).

Askeland, D. R., Fulay, P. P. ve Wright, W. J., “The science and engineering of materials”, USA : Cengage learning. Inc., (2010).

Ateş, S., “SiC takviyeli etial 21 esaslı kompozit malzemelerin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi*, Kırıkkale, (2011).

Ayata, A., “Toz metal alüminyum malzemelerin mikrodalga enerjisi ile sinterlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2014).

Bayar, H., “SiCp Takviye etial 171(AlSiMg10) alüminyum alaşım matrisli kompozitten basınçlı pres döküm yöntemiyle parça üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 105, (2009).

Becerik, F., “Al/Ni-ÇKKNT kompozitlerin toz metalürjisi ile üretimi, mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi”, Master's thesis, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi*, (2020).

Bedir,F., and Ögel, B., "Investigation of hardness, microstructure and wear properties of SiC-p reinforced Al composites", 11. International Conference on Machine desing and Production, Antalya-TURKEY, 979-988, (2004).

Biner, S. B., "Creep deformation and rupture behavior of a laminated metal matrix composite" *Journal of materials science*, 37,16: 3555-3558, (2002).

Bulut, M., "Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2014).

Burgucu, S., "7075 alüminyum alaşımlarının üretimi ve karekterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2011).

Buytoz, S., Dagdelen, F., Islak, S., Kok, M., Kir, D. ve Ercan, E., "Effect of the TiC content on microstructure and thermal properties of Cu–TiC composites prepared by powder metallurgy." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(3), 1277-1283, (2014).

Campell, F.C., "Introduction to Composite Materials", (eds: E. Kubel and A. Britton), *Structural Composite Materials*, USA: ASM International 2th, 1-18, (2010).

Chan, R.W., Haasen, P., and Kramer, E.J., "Structure and properties of composites", *Materials Science and Technology*, No13, 1-339, (1993).

Cheneke, S. ve Benny Karunakar, D., "The effect of solution treatment on aging behavior and mechanical properties of AA2024-TiB2 composite synthesized by semi-solid casting", *SN Applied Sciences*, 1 (11), 1-17, (2019).

Clyne, T. W., and Hull, D., "An introduction to composite materials", England: Cambridge university press, (2019).

Çakır, A., "Ni kaplanmış MgO takviyeli Al matrisli kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi", Master's thesis, *Kırıkkale Üniversitesi*, Kırıkkale, (2017).

Çalın, R. ve Çıtak, R., "Vakum infiltrasyon yöntemi ile MgO/Al kompozit üretiminde matristeki Mg içeriğinin infiltrasyon yüksekliğine etkisi", *Malzeme bilimi forumunda,Trans Tech Yayınları Ltd*, 546, 611-614, (2007).

Çalın, R., "Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2006).

Çanakçı, A., "AA2024 matrisli B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozitlerin vorteks yöntemiyle üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", Doktora tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Trabzon, (2006).

- Çelebi, C., “Bakır esaslı kompozit malzeme üretimi ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Trabzon, 90, (2013).
- Daniel, B. S. S., Murthy, V. S. R. ve Murty, G. S., “Metal-ceramic composites by in situ methods”, *Journal of Materials Processing Technology*, 68 (2), 132-155, (1997).
- Danninger, H., Calderon, R. D. O. ve Gierl-Mayer, C., “Powder metallurgy and sintered materials”, *Additive Manufacturing*, 19(4), (2017).
- Das, D.K., Mishra, P.C., Singh, S. and Pattanaik, S., “Fabrication and heat treatment of ceramic-reinforced aluminium matrix composites- A review”, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, (9), (2014).
- Davidson, A. M. and Regener, D., “A comparison of aluminium-based metalmatrix composites reinforced with coated and uncoated particulate silicon carbide”, *Composites Science and Technology*, 60, 865–869, (2000).
- Delannay, F., Froyen, L. ve Deruyttere, A., “Wetting of solids by molten metals and its relation to the preparation of metal matrix composite composites”, *Journal of materials science*, 22(1), 1-16, (1987).
- Delennay, F., Froyen, L. ve Deruyttere, A., “Review the wetting of solids by molten metals and its relation to the preperation of the metal-matrix composites”, *J. Of Mat. Sci.*, 22 : 1-16, (1987).
- Demir, A. ve Altinkok, N., “Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC-reinforced aluminium matrix composites”, *Composites science and technology*, 64(13-14), 2067-2074, (2004).
- Demir, F., “Mekanik alaşımlama yöntemi ile FeCrC takviyeli Ni esaslı kompozit üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2014).
- Deschamps, A., Dumont, D., Brechet, Y., Sigli, C. ve Dubost, B., “Process modeling of age-hardening aluminum alloys: from microstructure evolution to mechanical and fracture properties”, *In Proceedings from the Materials Solutions Conference 2001*, 298-305, (2001).
- Deschamps, A., Dumont, D., Brechet, Y., Sigli, C. ve Dubost, B., “Process modeling of age-hardening aluminum alloys : from microstructure evolution to mechanical and fracture properties”, ASM International, Materials Park, OH, 298-305, (2001).
- Dilmeç, M., Tinkir, M., ve ARIKAN, H., “Al 2024 alaşımlarının çökelme sertleşmesi işlemi koşullarının şekillendirilebilirliğe etkisinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 231-248,(2015).
- Doğan, H., ve Mutlu, Y., “Production of AA2024-Matrix B<sub>4</sub>C-SiC-and B<sub>4</sub>C-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Particle-Reinforced Composites by Powder Metallurgy and Investigation of Their Mechanical Properties”, *Celal Bayar University Journal of Science*, 18(3), 321-330, (2022).

- El Ghazaly, A., Shokeir, M., El Moghazi, S.N., Fathy, A., Emara, M.M. ve Salem, H.G., “Nanocomposites mechanical and tribological properties using graphene-coated-SiC nanoparticles (GCSiCNP) for light weight applications, in: Minerals, Metals and Materials Series”, *Springer International Publishing*, 403–415, (2017).
- Erdemir, F., Çanakçı, A. ve Varol, T.,” Microstructural characterization and mechanical properties of functionally graded Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC composites prepared by powder metallurgy techniques”, *Transactions of the China Non-Ferrous Metals Association*, 25(11), 3569-3577, (2015).
- Ervina Efzan, M. N., Siti Syazwani, N. ve Al Bakri, A. M., “Fabrication method of aluminum matrix composite (AMCs): a review”. In *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publications Ltd vol. 700, 102-110, (2016).
- ERYILMAZ, Ö., ve Özgen, S., “Magnezya-alümina spinel dökülebilir refrakterler”, *10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 3, 1659-1666, (2000).
- Evans, A., San Marchi, C. ve Mortensen, A., “Metal matrix composites”, In *Metal Matrix Composites in Industry*, Springer, Boston, MA., 9-38, (2003).
- Evcin, A., “Toz Üretim Teknikleri”, *Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü*, Afyonkarahisar, (2007).
- German, R. M., *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*, (Çev: S. Sarıtaş, M. Türker ve N Durlu, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Ankara, (2007).
- Gomez, L., Busquets-Mataix, D., Amigo, V. ve Salvador, M.D., “Analysis of boron carbide aluminium matrix composites”, *Journal of Composite Materials*, 43, 9, 987-995, (2009).
- Gündoğan, K. ve Özsarı, A. R. B., “Basınçlı İnteraktif Yöntemiyle Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B<sub>4</sub>C ve SiC Takviyeli Kompozitin Mikroyapı, Mekanik ve Isıtkenlik Özellikleri Özellikleri Basıncın Etkisi”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* , 11 (2), 657-669, (2019).
- Güven, Ş. Y., , “Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler”, *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2):22-28, (2011).
- Haghshenas, M., “Metal–Matrix Composites”, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 1-27, (2016).
- Hassan, S.B. ve Aigbodion, V.S., “Effects of Eggshell on the Microstructures and Properties of Al–Cu–Mg/Eggshell Particulate Composites”, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 27,(2015).
- Höganäs, A., “Machining Guidelines”, Höganäs Handbook for Sintered Components, Sweden, (2004).
- Isadare, A.D., Aremo, B., Adeoye, M.O., Olawale, O.J. ve Shittu, M.D., “Effect of heat treatment on some mechanical properties of 7075 Aluminium alloy”, *Materials Researc*, 16, 190–194, (2013).

- İltam, (16.09.2022), <http://iltam.pau.edu.tr/cihazlar/fesem.html>, (2019).
- Jafari, M., Enayati, M. H., Abbasi, M. H. ve Karimzadeh, F., “Thermal stability and structural changes during heat treatment of nanostructured Al2024 alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, 478(1-2), 260-264, (2009).
- Jeevi, G., Nayak S.K., and Abdul Kader, M., “Review on adhesive joints and their application in hybrid composite structures”, *Journal of Adhesion Science and Technology*. (33), 1497–1520, (2019).
- Kalay, Y.E., Ögel, B. ve Yıldırım, R.O., “Tek ve çok katmanlı AA 2024 plakaların düşük hızlarda darbe karakterizasyonu”, *Savunma Teknolojileri Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 59-67, (2004).
- Kalemtaş, A., “İnfiltrasyon Yöntemiyle Kompozit Üretiminde Etkili Olan Temel Değişkenler”, *Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Bursa, (2016).
- Kandpal, B. C., Kumar, J. ve Singh, H., “Manufacturing and technological challenges in Stir casting of metal matrix composites–A Review”, *Materials Today: Proceedings*, 5(1): 5-10, (2018).
- Karagöz, Ş., Ymanoğlu, R. ve Atapek, Ş. H., “Metalik toz işleme teknolojisi ve prosesleme kademeleri açısından parametrik ilişkiler”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Eskişehir, 22(3), 77-87, (2009).
- Karakoç, H., “Toz Metal Al7075/B<sub>4</sub>C/ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1141-1151, (2020).
- Karakoç, H., Ovalı, İ., Dündar S. ve Çıtak, R., “Wear and mechanical properties of Al6061/SiC/B<sub>4</sub>C hybrid composites produced with powder metallurgy”, *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 5348-5361, (2019).
- Kaya, A. İ., “Kompozit malzemeler ve özellikleri”, *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, (29), 38-45, (2016).
- Kevenlik, O. F., “Toz metalurjisi yöntemi ile SiC takviyeli Al 2014 esaslı kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, (Master's thesis, *Kırıkkale Üniversitesi*, (2013).
- Kılıç, C., “Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg<sub>3</sub>/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya, (2008).
- Kim, S.W., Kim, D.Y., Kim, W.G. ve Woo, K.D. “The study on characteristics of heat treatment of the direct squeeze cast 7075 wrought Al alloy”, *Materials Science and Eng.*, A 304 – 306: 721 – 726, (2001).
- Konopka, K. ve Szafran, M., “Production and properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al composites by infiltration method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 175 (1-3), 266-270, (2006).

Kopeliovich, D., “Advances in the manufacture of ceramic matrix composites using infiltration techniques”, *In Advances in Ceramic Matrix Composites*, Woodhead Publishing, 79-108, (2014).

Kumar, R. V., Keshavamurthy, R., Perugu, C. S., Koppad, P. G. ve Alipour, M., “Influence of hot rolling on microstructure and mechanical behaviour of Al6061-ZrB<sub>2</sub> in-situ metal matrix composites.” *Materials Science and Engineering: A*, 738, 344-352, (2018).

Kumar, S., Reddy, S.K. ve Joshi, S.V., “Microstructure and performance of cold spray Al-SiC composite coatings with high particle ratio”, *Surface and Coating Technology*, 318 , 62-71, (2017).

Kurt, H., “Alüminyum-Alümina Kompozit Malzeme Üretiminde Karıştırma Tekniğinin Kompozitin Aşınma Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Bitirme Projesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-9,16-22, (2010).

Küçükarslan, S., “Gaz atomize kalay tozu üretim parametrelerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 21-50, (2006).

Lee, B. S., ve Kang, S., “Low-temperature processing of B<sub>4</sub>C–Al composites via infiltration technique”, *Materials Chemistry and Physics*, 67(1-3), 249-255, (2001).

Lee, K. B., Choi, J. H. ve Kwon, H., “Characteristic reaction products in AZ91/SiC composite produced by pressureless infiltration technique”, *Metals and Materials International*, 15 (1), 33-36, (2009).

Levi, C. G., Abbaschian, G. J. ve Mehrabian, R., “Interface interactions during the production of aluminum alloy-alumina fiber composites”, *Metallurgical Processes A*, 9(5), 697-711, (1978).

Leyens, C., ve Peters, M., “Titanium and Titanium Alloys”, *John Wiley, Weinheim*, (2003).

Liu, B., Liu, M. and Zhao, Z., “Infiltration mechanism in SiCp/aluminum-matrix composite prepared by nonpressure”, *Materials and Manufacturing Processes*, 26(11), 1339-1345, (2011).

Ma, Q. S., Chen, Z. H., Zheng, W. ve Hu, H., “Processing and characterization of particles Si-O-C composites via pyrolysis of polysiloxane SiC or/and Al fillers”, *Ceramics International, Elsevier*, 31 (N) 8 , 1045-1051 (2005).

Ma, Q. S., Chen, Z. H., Zheng, W., and Hu, H., “Processing and characterization of particles Si-O-C composites via pyrolysis of polysiloxane SiC or/and Al fillers”, *Ceramics International, Elsevier*, 31 (N) 8, 1045-1051, (2005).

Mahendra, K. V. and Radhakrishna, K., “Characterization of stir cast Al-Cu-(fly ash + SiC) hybrid metal matrix Composites”, *Journal of Composite Materials*, (44), 989–1005, (2010).



Manu, K. S., Sreeraj, K., Rajan, T. P. D., Shereema, R. M., Pai, B. C. ve Arun, B., “Structure and properties of modified composite microsilica reinforced aluminum matrix composite”, *Materials and Design*, 88, 294-301, (2015).

Matti, S., Shivakumar, B. P., Shashidhar, S. ve Nagaral, M., “Dry sliding wear behavior of mica, fly ash and red mud particles reinforced Al7075 alloy hybrid metal matrix composites”, *Indian Journal of Science and Technology*, 14(4), 310-318, (2021).

Mazumdar, S.K., *Composites manufacturing: materials, product and process engineering*, A.B.D: CRC Press LLC, (2002).

Mediha S., “Toz Metalurjisi ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, (2007).

Michael Rajan, H.B., Ramabalan, S., Dinaharan, I. ve Vijay, S.J., “Synthesis ve characterization of in situ formed titanium diboride particulate reinforced AA7075 aluminum alloy cast composites”, *Mater. Des.*, 44, 438–445, (2013).

Michaud, V. ve Mortensen, A., “Infiltration processing of fibre reinforced composites governing phenomena”, *Composites Part, A* 32 : 981-996, (2001).

Milli, A.,” Mekanik alaşımlama yöntemi ile (B<sub>4</sub>C+FeTi) takviyeli Fe esaslı kompozit üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, (2017).

Mindivan, H., “Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi”, Doctoral dissertation, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

Mishra, S. K. ve Sherbakov, V. A., “Fabrication of in-situ Ti–Si–C fine grained composite by the self propagating high temperature synthesis (SHS) process”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29(2), 209-213, (2011).

Mollaoğlu Altuner, H., “Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin difüzyonla birleştirilmesi”, (2011).

Nagaral, M., Deshapande, R. G., Auradi, V., Boppana, S. B., Dayanand, S. ve Anilkumar, M. R., “Mechanical and wear characterization of ceramic boron carbide-reinforced Al2024 alloy metal composites”, *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 7(1), 1-12, (2021).

Nazik, C., “Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 13-29, (2013).

Newkirk, J. W., “Handbook of Aluminum: Physical Metallurgy and Processes”, New York: Marcel Dekker Inc., vol. 1, (2003).

Nishida, Y., “Introduction to Metal Matrix Composites Fabrication and Recycling”, Tokyo: Springer, 27-111, (2013).

Nishida, Y., "Introduction to Metal Matrix Composites Fabrication and Recycling", Tokyo: Springer, 27-111, (2013).

Niu, P., Li, W., Zhang, Z., and Yang X., "Global and local constitutive behaviors of friction stir welded AA2024 joints", *Journal of Materials Science and Technology*, (33), 987–990, (2017).

Oğuz, B., "Demir dışı metallerin kaynağı", İstanbul: Oerlikon Yayınevi, (1990).

Ozben, T., Kilickap, E. ve Cakır, O., "Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC", *Journal of materials processing technology*, 198(1-3), 220-225, (2008).

Öksüz, K. E., "Toz Metalurjisi Yöntemiyle Kesici Uç (Soket) Üretilmesi ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, (2011).

Öz, C. ve Özer, Ö., "Seramik arkeometrisi'nde spektroskopik yöntemlerin uygulanması ve yorumlanması: XRF, XRD", *Seramik Araştırmaları Dergisi*, (1), 136-153, (2019).

Özcan, M. E., "Mikro ark oksidasyon yöntemi ile kaplanmış alüminyum alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2014).

Özer, H. H., "7075 alüminyum alaşımında retrogresyon ve yeniden yaşlandırma ısıl işlemi sonucu mekanik özelliklerin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2003).

Öztürk, K., Geçü, R. ve Karaaslan, A., "Microstructure, wear and corrosion properties of multi-reinforced (SiC–B<sub>4</sub>C–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Al matrix composites produced by liquid metal infiltration", *Ceramics International*, 47 (13), 18274-18285, (2021).

Öztürk, S. ve İcin, A. G. K., "Toz Metalurjisi Deneyi", *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü*, Trabzon, (2015).

Panwar, N. ve Chauhan, A., "Production methods-A review of particulate reinforced aluminum metal matrix composite", *Today Materials: Proceedings*, 5 (2), 5933-5939, (2018).

Park, B., Lee, D., Jo, I., Lee, S. B., Lee, S. K. ve Cho, S., "Automated quantification of reinforcement dispersion in B<sub>4</sub>C/Al metal matrix composites." *Composites Part B: Engineering*, 181, 107584, (2020).

Pierson, H.O., *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides Properties, Characteristics, Processing and Applications*, USA: Noyes Publications, (1996).

Pul, M., Çalın, R., Çıtak, R. ve Şeker, U., "Düşük takviyeli MgO-Al kompozitlerin vakumlu infiltrasyonunda takviye oranının infiltrasyon davranışına etkisi", *Politeknik Dergisi*, 12(3), 173-177, (2009).

Ren, S., He, X., Qu, X. ve Li, Y., “The effect of controlled interfacial reaction on the microstructure and properties of SiCp/Al composites prepared by pressureless infiltration”, *Journal of Alloys and Compounds*, 455 (1-2), 424-431, (2008).

Rino, J. J., Chandramohan, D., Sucitharan, K. S., ve Jebin, V. D., “An overview on development of aluminium metal matrix composites with hybrid reinforcement”, *Int. J. Sci. Res*, 1(3), (2012).

Rodríguez-Reyes, M., Pech-Canul, M. I., Parras- Medecigo, E. E. ve Gorokhovskiy, A., “Effect of Mg loss the kinetics of pressureless infiltration in the processing Al-Si-Mg/SiCp composites”, *Materials Letters*, 57 : 2081-2089, (2003).

Rohatgi, P. K., Ajay Kumar, P., Chelliah, N. M. ve Rajan, T. P. D., “Solidification processes of cast metal matrix composites over the past 50 years and opportunities for the future”, *JOM*, 72 (8), 2912-2926, (2020).

Sambathkumar, M., Navaneethakrishnan, P., Ponappa, K. S. K. S. ve Sasikumar, K. S. K., “Mechanical and corrosion behavior of Al7075 (hybrid) metal matrix composites by two step stir casting process”, *Latin american journal of solids and structures*, 14, 243-255, (2017).

Saraç, H., “Metal ve Kompozit Parçaların Yapıştırılmasında Yapılma Performansını Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2012).

Sarkar, S., Sen, S., Mishra, S. C., Kudelwar, M. K. ve Mohan, S., “Studies on aluminum-fly ash composite produced by propeller mixing”, *Journal of reinforced plastics and composites*, 29 (1), 144-148, (2010).

Scamans, G., “The Future of Light Metals,” *Materials Technology*, vol. 24, no. 3, p. 129–30, (2009).

Sharma, P., Khanduja, D. ve Sharma, S., “Tribological and mechanical behavior of particulate aluminum matrix composites”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33 (23), 2192-2202, (2014).

Singh, H., Singh, K., Vardhan, S., Mohan, S. ve Singh, V., “A comprehensive review of aluminium matrix composite reinforcement and fabrication methodologies”, *Functional Composites and Structures*, 3(1), 015007, (2021).

Soy, U., “SiC/B<sub>4</sub>C takviyeli metal matriks kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2009).

Sur, G., “Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi.”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara, 148, (2002).

Sur, G., “Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliğin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4, (2008).

Suryanarayana, C., “Mechanical alloying and milling”, *Progress in Materials Science*, 46(1), 1-184, (2001).

Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Ankara: Gazi Kitabevi, (2000).

Şenel, M. C., “Grafen-seramik tanecik takviyeli alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin toz metalürjisi metoduyla üretimi, mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, Samsun, 164, (2018).

Şenel, M., Gürbüz, M. ve Koç, E., “Toz metalürjisi metoduyla üretilen Al-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, 59(693), 33-46, Retrieved from (2018b).

Taha, M. A., “Dökme metal matrisli kompozitlerin (MMCC'ler) pratiği”, *Malzemeler ve Tasarım*, 22 (6), 431-441, (2001).

Tanrıöver, K., ve Taşcı, A., “Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlemi”, *Makine Magazin*, 58, (1997).

Tariq, F., Naz, N. ve Baloch, R. A., “Characterization of material properties of 2xxx series al-alloys by non destructive testing techniques”, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 31(1), 17-33, (2012).

Taya, M., ve Arsenault, R. J., “Metal matrix composites: Thermomechanical behavior”, Elsevier, (2016).

Tekmen, Ç., “Metal matriksli kompozitlerin sıkıştırırmalı döküm yöntemiyle üretimi”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2006).

Tham, L.M., Gupta, M. ve Cheng, L., “Effect of reinforcement volume fraction on the evolution of reinforcement size during the extrusion of Al-SiC composites”, (2002).

Tian J., Piñero E., Narciso J. ve Louis E., “ Effects of temperature on pressure nfiltration of liquid Al and Al-12wt.%Si alloy into packed SiC particles”, *Scripta Materialia* 53: 1483-1488, (2005).

Tjong, S. C. ve Wang, G. S., “High cycle fatigue response of in-situ Al-based composites containing TiB<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> submicron particles”, *Composites science and technology*, 65(10), 1537-1546, (2005).

Toptan, F., “Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C partikül takviyeli aşınma direnci yüksek kompozit malzeme üretimi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, İstanbul, 153, (2011).

Torun, O., Çelikyürek, İ. ve Baksan, B., “17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 alaşımlarının sürtünme kaynağı”, *El-Cezeri*, 4(2), 201-208, (2017).

Tsukerman, S. A., “Powder metallurgy”, (ed: A.R. Entwisle), Elsevier, 10-130, (2013).

- Uslan, Ğ., Toz Metalurjisi Üretim Teknikleri Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2010).
- Uthayakumar, M., Aravindan, S. and Rajkumar, K., “Wear performance of Al-SiC-B<sub>4</sub>C hybrid composites under dry sliding conditions”, *Materials and Design*, (47), 456–464, (2013).
- Uygur, İ., ve Saruhan, H., “Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (2004).
- Ünal, O., “Kompozit Malzemeler”, Yapı Malzemeleri Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, (2010).
- Ünal, O., “Kompozit Malzemeler”, Yapı Malzemeleri Ders Notları, A.K.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, (2006).
- Ünal, R., ve Aydın, M., “High Efficient Metal Powder Production by Gas Atomisation Process”, *Materials Science Forum Volume*, Switzerland, 534-536, 57-60, (2007).
- Veeresh Kumar , G.B., Rao, C.S.P., Selvaraj, N., and Bhagyashekar, M.S., “Studies on Al6061–SiC and Al 7075–Al 2O<sub>3</sub> metal matrix composites” *J Miner Mater Character Eng* , 99 ( 1 ) , 43 – 55, ( 2010 ).
- William, C. ve Harrigan, Jr., “Commercial Processing of Metal Matrix Composites”, *Materials Science & Engineering*, A244:75-79, (1998).
- Ye, T., Xu, Y. ve Ren, J., “The effects of SiC particle size on the mechanical properties of SiC particle reinforced aluminum metal matrix composite”, *Materials Science and Engineering: A*, 753, 146-155, (2019).
- Yıldızhan, H., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-4, (2008).
- Yılmaz Durlu M.N., Mısırlı, Z. ve Altıntaş, S., “Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitte Arayüzey Reaksiyonu”, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, C2, TMMOB, Yayın no. 32, 1323-1334, İstanbul, (1995).
- Yılmaz, M. and Altıntaş, S., “Microstructure and wear properties of particle SiC reinforced aluminum based composites”, 7th International Metallurgy and Materials Congress, Ankara, 1175-1181, (1993).
- Yılmaz, R., Özyürek, D. ve Kibar, E., “Yeniden çözmeye alma parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımlarının tüketimini ve aşınma davranışlarının etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 27 (2), (2012).
- Yılmaz, U., ve Evcı, C., “Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği”, *Savunma Bilimleri Dergisi, The Journal of Defense Sciences*, 14 ( 2), 77-109, (2015).

Yılmaz, R., Özyürek, D. ve Kibar, E., “Yeniden çözültüye alma parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımlarının sertlik ve aşınma davranışlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), (2012).

Zhu, X., Jiang, D., ve Tan, S., “Reaction bonding of open cell SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites” *Materials research bulletin*, 36(11), 2003-2015, (2001).

Zou, X. L., Hong, Y. A. N. ve Chen, X. H., “Evolution of second phases and mechanical properties of 7075 Al alloy processed by solution heat treatment”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(10), 2146-2155, (2017).

Zulfia, A. ve Hand, R. J., “The production of Al-Mg alloy/SiC metal matrix composites by pressureless infiltration”, *Journal of Materials Science*, 37(5), 955-961, (2002).

Zuln, J. ve Flemings, M. C., “Fabrication of metal matrix composites by high pressure centrifugal infiltration process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 169 (2), 143-149, (2005).