

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA6061**  
**MATRİSLİ  $Al_2O_3$  TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MİKROYAPI**  
**VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EMRE BAYDEMİR**

**DENİZLİ, MAYIS - 2018**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA6061**  
**MATRİSLİ  $Al_2O_3$  TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MİKROYAPI**  
**VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EMRE BAYDEMİR**

**DENİZLİ, MAYIS - 2018**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Emre BAYDEMİR** tarafından hazırlanan “SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA 6061 MATRİSLİ  $Al_2O_3$  TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 28.06.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof.Dr. Cemal MERAN

Üye

Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Salih Seçkin EROL

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25./07/2018 tarih ve 31./08.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2015FBE024 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.**

  
**Emre BAYDEMİR**

## ÖZET

### SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA6061 MATRİSLİ $Al_2O_3$ TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE BAYDEMİR

#### PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEMAL MERAN)

(EŞ DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ENGİN TAN)

DENİZLİ, MAYIS - 2018

Bu çalışmada sıcak presleme üretim yöntemi ile ağırlıkça değişik oranlarda (% 0-5-10-15-20)  $Al_2O_3$  parçacık içeren AA6061 matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Karışım tozlar 3 boyutlu karıştırıcıda hazırlanmıştır. Karışım tozlar özel olarak tasarlanmış sıcak presleme kalıbı kullanılarak 450 °C sıcaklıkta iki farklı basınç altında (100 MPa ve 200 MPa) 30 dakika süre ile sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak presleme sonrası AA6061/ $Al_2O_3$  kompozitlere F ısıl işlemi ve T6 suni yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan ve uygulanmayan kompozitlerin ağırlıkça takviye miktarına göre teorik ve deneysel yoğunlukları belirlenmiştir.  $Al_2O_3$  seramik parçacıklarının matris yapı içerisindeki dağılımları optik mikroskop yardımı ile belirlenmiştir. Takviye oranının mikroyapı özelliklerine etkisini belirlemek ve  $Al_2O_3$  parçacıklarının matris yapı ile arayüzey uyumları (ıslatma durumu) için, mikroyapılar Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Ağırlıkça %  $Al_2O_3$  miktarına göre (% 0-5-10-15-20), uygulanan basınca göre (100 MPa ve 200 MPa) ve ısıl işlem durumuna göre (F ve T6) sertlik değişimleri belirlenmiştir. Üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çekme dayanımı, çapraz kırılma dayanımı, V-çentik darbe dayanımı ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Çapraz kırılma deney numunelerinin kırık yüzeylerine hasar analizi (SEM ile) yapılarak, takviye oranı kırılma mekaniği açısından irdelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Toz Metalurjisi, Alüminyum,  $Al_2O_3$ , Mekanik özellikler, Sıcak Presleme, Kompozit

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AA6061 MATRIX Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> REINFORCED COMPOSITES PRODUCED BY HOT PRESSING METHOD**

**MSC THESIS**

**EMRE BAYDEMİR**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF.DR.CEMAL MERAN)  
(CO-SUPERVISOR:ASST.PROF.DR.ENGİN TAN)  
DENİZLİ, MAY 2018**

In this study, Al6061 matrix composite materials with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles were produced at different weights (% 0-5-10-15-20) by hot pressing production method. Mixture powders were prepared in 3 dimensional mixer. The blend powders were hot-pressed at 450 ° C under two different pressures (100 MPa and 200 MPa) for 30 minutes using specially designed hot pressing mold. F and T6 aging heat treatments were applied to AA6061 / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites after hot pressing. The theoretical and experimental densities of the composites with and without aging heat treatment were determined according to the amount of reinforcement. The distribution of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles in the matrix structure was determined with the aid of an optical microscope. Microstructures were investigated in the Scanning Electron Microscope (SEM) for determining the effect of the reinforcement ratio on the microstructure properties and for the interfacial compatibility (wetting state) of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles with the matrix structure. Hardness changes were determined according to the amount of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % (0-5-10-15-20%), the applied pressure (100 MPa and 200 MPa) and the heat treatment conditions (F and T6). To determine the mechanical properties of the produced metal matrix composite materials, tensile strength, transfer rupture, cross-break strength, v-notch impact strength and wear characteristics were investigated. The fracture surfaces of the fracture test specimens were subjected to damage analysis (by SEM), and the reinforcement ratio was investigated in terms of fracture mechanics.

**KEYWORDS:** Powder Metallurgy, Aluminum, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mechanical properties, Hot sintering, Composite

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTIMA LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	3
1.2 Tezin Amacı .....	15
1.3 Tezin Özgün Değeri .....	16
<b>2. ALÜMİNYUM, KOMPOZİT MALZEMELER VE TOZ METALÜRJİSİ.</b> <b>17</b>	
2.1 Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	17
2.1.1 Polimer matrisli kompozitler .....	18
2.1.2 Seramik matrisli kompozitler.....	18
2.1.3 Metal matrisli kompozitler.....	18
2.2 Takviye Elemanın Şekline Göre Kompozitler .....	19
2.3 Kompozitlerin Üretim Yöntemleri .....	20
2.4 Toz Metalurjisi .....	22
2.4.1 Toz Metalurjisinin Önemi.....	23
2.4.2 Toz Metalurjisinin Sınırlılıkları Ve Zayıf Yönleri .....	24
2.4.3 Toz Üretimi.....	24
2.4.4 Toz Üretim Yöntemleri.....	25
2.4.5 TM Temel Üretim Basamakları.....	26
2.5 Alüminyumun Genel Özellikleri .....	27
2.5.1 Al Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler .....	28
2.5.2 Yaşlanma .....	31
2.5.3 Alüminyum 6xxx Serisi .....	32
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>33</b>
<b>4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR</b> .....	<b>45</b>
4.1 AA6061/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kompozit Malzemelerin Yoğunluk Değişimi.....	45
4.2 Mikroyapı Karakterizasyonu .....	48



4.2.1 Optik Mikroskop Analizleri.....	48
4.2.2 SEM ve EDS analizleri.....	53
4.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	58
4.4 Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	60
4.5 Çekme Deneyi Sonuçları.....	61
4.6 Çapraz Kırılma Deneyi Sonuçları.....	62
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri .....	20
Şekil 2.2 Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri .....	21
Şekil 2.3 Olası parçacık şekilleri ve tanımları .....	25
Şekil 2.4 MMK malzemelerin TM yöntemi ile üretim aşamaları .....	27
Şekil 2.5. Yaşlanma kademeleri .....	31
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda yapılan işlemlerin akış sırası.....	35
Şekil 3.2. Karışım tozların tartılmasında kullanılan mikro terazi (a), karışım tozların homojen olarak karıştırılmasında kullanılan Turbola marka 3 boyutlu karıştırıcı (b) Sıcak presleme yöntemi ile AA 6061 matrisli Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozit üretimi(c) .....	36
Şekil 3.3. 260 ton kapasiteli hidrolik pres ve sıcak presleme ünitesi (a), tam çapı 100 mm olan kompozitlerden alınan (b), 90x40x10 mm olan kompozitlerden alınan mekanik test numuneleri(c) 90x40x10 mm olan kompozitlerin kesimden önceki halleri.(d) çapı 100 mm olan kompozitlerin kesimden önceki halleri(e).....	37
Şekil 3.4. Mekanik test numunelerin kesiminde kullanılan tel erozyon makinesi(a), Freze tezgâhı(b) .....	38
Şekil 3.5. Yaşlandırma ısıtma işlem fırını.....	39
Şekil 3.6. Çapraz kırılma testinin şematik olarak gösterimi .....	39
Şekil 3.7. Charpy test cihazı.....	40
Şekil 3.8. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı.....	41
Şekil 3.9. Sertlik ölçme cihazı (vickers) .....	42
Şekil 3.10. Çekme deneyi numunelerinin fotoğrafları .....	42
Şekil 3.11. a) Kesilecek numuneleri bakalite alma makinesi b) Parlatma diski.c)Bakalite alınmış hali. ....	43
Şekil 3.12. a) Parlatma işleminde kullanılan solüsyonlar b)Zımparalama ve parlatma işleminin yapıldığı MECAPOL P230 Makinesi.....	43
Şekil 3.13. İçyapı İncelemede Kullanılan Mikroskoplar.....	44
Şekil 4.1. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre yoğunluk değişim grafiği.....	46
Şekil 4.2. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre % yoğunluk değişim grafiği.....	46

Şekil 4.3. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre % gözeneklilik değişim grafiği.....	47
Şekil 4.4. 450 °C’de 100 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x), (a) AA6061, (b) % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (c) % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (d) % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (e % 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	49
Şekil 4.5. 450 °C’de 200 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x), (a) AA6061, (b) % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (c) % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (d) % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (e % 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	50
Şekil 4.6. 450 °C’de 100 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (500x), (a) AA6061, (b) % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (c) % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (d) % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (e % 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	51
Şekil 4.7. 450 °C’de 200 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (500x), (a) AA6061, (b) % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (c) % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (d) % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (e % 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	52
Şekil 4.8. 450 °C’de 100 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsü ve EDS analizi alınan bölgeler, (a) SEM resmi ,1. bölgenin, (b) 2. bölgenin(c) EDS analizi .....	54
Şekil 4.9. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsü ve EDS analizi alınan bölgeler, (a) SEM resmi,1. bölgenin, (b) 2. bölgenin (c) EDS analizi .....	55
Şekil 4.10. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunenin yüzeyinden (a) SEM görüntüsü, (b) genel EDS, (c) genel haritalama görüntüsü .....	56
Şekil 4.11. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri (×500), (a) AA6061, (b) %5Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (c) %10Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d) %15Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (e) %20Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	57
Şekil 4.12. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri (×1000), (a) AA6061, (b) %5Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (c) %10Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d) %15Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (e) %20Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	58
Şekil 4.13. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre ortalama sertlik değerleri.....	59
Şekil 4.14. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre çentik darbe deney sonuçları.....	60

Şekil 4.15. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre çekme deney sonuçları .....	62
Şekil 4.16. Ağırlıkça % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranına göre çapraz kırılma deney sonuçları.....	63
Şekil 4.17. Ağırlıkça %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren 450 °C’de 200 MPa’da preslenen T6 yaşlandırma ısııl işlemi uygulanmış malzemenin çapraz kırılma test sonrası, (a) kırık yüzey SEM görüntüsü, (b) 1. bölgenin EDS analizi .	64
Şekil 4.18. 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 ısııl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c) %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d) %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (e) %20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (X500) .....	65
Şekil 4.19. 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 ısııl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c) %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d) %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (e) %20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (X1000) .....	66
Şekil 4.20. 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 ısııl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c) %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d) %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (e) %20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (X500) .....	67
Şekil 4.21. 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 ısııl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c) %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (d) %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (e) %20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (X1000) .....	68

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1. Alüminyum ve biçimlenebilen alüminyum alaşımlarının dört rakamlı malzeme numarası sistemi . . . . .	28
Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarında temper şekilleri.....	29
Tablo 3.1. Kompozitlerin üretiminde kullanılan matris ve takviye tozları .....	33
Tablo 3.2. Kompozitlerin üretiminde kullanılan matris ve takviye oranları.....	34

## KISALTMA LİSTESİ

<b>AMK</b>	: Alüminyum Matrisli Kompozitler
<b>B<sub>4</sub>Cp</b>	: Bor Karbür Parçacık
<b>EBSD</b>	: Electron Backscatter Diffraction (Elektron Geri Saçılma Kırınımı)
<b>EDS (EDX)</b>	: Enerji Dağılımlı X-ışını Spektrometresi
<b>EK</b>	: Ekstrüzyon
<b>HPT</b>	: Yüksek Basıncılı Burulma (High Pressure Tansion)
<b>MA</b>	: Mekanik Alaşımlama
<b>MMK</b>	: Metal Matrisli Kompozitler
<b>PMK</b>	: Polimer Matrisli Kompozitler
<b>SEM</b>	: Tarama Elektron Mikroskobu
<b>SiCp</b>	: Silisyum Karbür Parçacık
<b>SMK</b>	: Seramik Matrisli Kompozitler
<b>SP</b>	: Soğuk Presleme
<b>TEM</b>	: Geçirmeli Elektron Mikroskobu
<b>TM</b>	: Toz Metalurjisi
<b>XRD</b>	: X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca katkılarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan, laboratuvar çalışmalarında yol gösteren danışman hocam sayın Prof.Dr. Cemal MERAN'a ve eş danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Dr. Engin TAN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Malzemelerin üretim aşamasında yaptığı katkıları için, deneylerde ve optik ve Sem incelemelerinde yardımlarını esirgemeyen ve bana karşı sabrı ve anlayışı için sayın Öğr.Gör.Dr. Halil KARAKOÇ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Sem incelemelerinde yaptıkları katkılar için Sincan Kosgeb çalışanlarına teşekkür ederim.

Numunelerin hazırlanma aşamalarındaki yardımları için ANSAL Kalıp Makina San.İth.İhr.Paz.Tic.Ltd.Şti firması çalışanlarına ve firma sahipleri Emre ve Erdem ANSAL beylere teşekkür ederim.

Çalışmamın 2015FBE024 numaralı proje ile destekleyen Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Beni büyütüp bugüne getiren, ve destekleri her zaman arkamda olan anneme babama, eşime, kardeşime, dayıma, babaanneme ve kızlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2018

Emre BAYDEMİR

Makine Mühendisi

# 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte, istenilen farklı özellikleri bir arada bulunduran fonksiyonel malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. İleri teknoloji gerektiren kritik uygulamalarda kullanılan mühendislik malzemelerinde Dayanım/Yoğunluk oranı önemli bir parametre olup, seramik parçacık takviyeli alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitler (MMK), bu özellikleri sağlamaları ile benzer uygulamalarda kullanılan birçok alaşımlı çelik malzemenin yerini almıştır. Kompozit malzemelerin imalatında istenen özelliklere göre; hafif olan alaşımların mukavemeti yükseltilebilir, yoğunlukları düşürülebilir ve malzemelere yüksek sıcaklıklara dayanma özellikleri kazandırılabilir. Bu yüzden yoğunluğu az olan alüminyum malzemeye eklenen seramik malzeme ile mekanik özellikleri artmış alüminyum matrisli kompozit malzemeler imal edilebilir.

Alüminyum metal matrisli  $Al_2O_3$  seramik takviyeli kompozit malzemeler günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahiptir. Bu kompozit malzemeler, düşük yoğunluk, yüksek dayanım, rijitlik ve yüksek aşınma direnci gibi üstün özellikleri sebebiyle, savunma, havacılık, otomotiv, uçak, uzay endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemelerin imal edilmesinde başlıca döküm ve toz metalurjisi (TM) yöntemi en sık başvurulan yöntemler arasında yer almaktadır. Yapılan bu çalışmada TM yöntemlerinden sıcak presleme yöntemi kullanılacaktır.

TM yönteminin döküm yöntemine göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlüklerden en önemlisi, kullanılan toz malzemelerin mikron boyutunda olmasından dolayı, karıştırma esnasında seramik parçacıkların yapı içerisinde homojen olarak dağılmasıdır. Bu sayede, kompozit malzemenin tüm kesitinde yapı ve özelliklerin aynı olması sağlanır.

AA6061 alüminyum alaşımı yüksek korozyon direnci ve kolay şekil verilebilirliğinden dolayı başta inşaat yapı malzemesi olmak üzere havacılık, uzay ve savunma sanayi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. AA6061 alüminyum alaşımı



içerisine ağırlıkça % farklı oranlarda  $Al_2O_3$  takviyesi yapılarak mekanik özelliklerin iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

2,71 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan AA6061 alüminyum alaşımının, kimyasal bileşiminde % 0,6 Si ,% 0,15 Mn ,% 0,35 Cr , % 0,25 Zn , % 0,15 Ti , % 0,1 Mg, % 0,15 Cu ve % 96 Al elementleri vardır. AA6061 alaşımı yaşlandırma ısıl işlemine uygun olup, T6 ısıl işlemi uygulaması ile mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu alaşımlar öncelikle, T6 ısıl işlemde sırasıyla katı çözeltili içerisinde çökelti fazının meydana gelmesi için, ötektik altı sıcaklık olan 450 - 550 °C'de çözeltili alma, sonrasında yüksek sıcaklıkta su verme ve ardında da 120 – 200 °C aralığında yapay yaşlandırmaya tabi tutulurlar. Çözeltili alma esnasında, magnezyum ve bir miktar silisyum çözünerek homojen bir katı çözeltili meydana gelir. Yaşlandırma ise, magnezyum ve silisyum alüminyum dendritleri içinde  $Mg_2Si$  olarak çökmesini ve bu sayede mekanik değerlerin iyileşmesini sağlar.

Isıl işlemin yanı sıra AA6061 matris içerisine mikron boyutunda sert seramik  $Al_2O_3$  parçacıklar katarak dislokasyonların hareketinin kısıtlanması ile daha mukavemetli ve aşınmaya karşı yüksek dayanımlı kompozit malzeme üretilmektedir. Alüminyum oksit -  $Al_2O_3$  (piyasada yaygın bilinen adıyla alümina) en çok kullanılan yapısal seramiklerden bir tanesidir. 660 °C ergime sıcaklığına ve düşük sertliğe sahip olan saf alüminyumun, oksijene olan kimyasal afinitesi sayesinde nano saniyelerde oluşan  $Al_2O_3$  bileşiği, malzemenin sertliğini mükemmel olarak artırırken, ergime sıcaklığını da 2200 °C'lere çıkarmaktadır. Yüksek sertlik, yüksek sürünme ve termal şok dayanımı özellikleri ile  $Al_2O_3$ , aşındırıcı (abrasiv) endüstriyel ürün imalatında ve yüksek sıcaklık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Proje kapsamında AA6061 alaşım matrisli  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemelerin üretimi, mikroyapı ve mekanik özellikleri hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, kompozit malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Pilot çalışmalar kapsamında ağırlıkça % 5-10-15-20 gibi farklı oranlarda  $Al_2O_3$  seramik tozları kullanılarak ve bu oranlar arasında mikroyapı ve mekanik özellikler açısından optimum özellikleri sergileyen kompozisyon bulunmuştur. Projenin amacı olan AA6061 alaşımında optimum mikroyapı ve mekanik özellikleri

sağlayacak olan ağırlıkça yüzde  $Al_2O_3$  takviye oranı belirlenerek, AA6061 matrisli  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, çalışmanın ana amaçlarından biri olan yüksek lisans tezinin tamamlanması ve uluslararası bilimsel yayınlara dönüştürülmek amacıyla değerlendirilecek, çalışmalar endüstriyel kullanıma sunulmak üzere, üniversite-sanayi işbirliği kapsamında paydaş firma, kurum ve kuruluşlarla paylaşılacaktır.

## 1.1 Literatür Özeti

$Al_2O_3$ 'ün takviye malzemesi olarak en sık faydalandığı matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır. Metal matrisli kompozit üretimi ile ilgili literatür araştırması yapıldığında bu durum net bir şekilde görülmektedir (Ying ve diğ. 2000). Takviye elemanı için  $Al_2O_3$ 'ün tercih edilmesinin öncelikli sebepleri; yüksek sıcaklığa dayanması, yüksek rijitlik ve modüldür (Nazik 2013), (Aritman 2014).

Son otuz yıl içerisinde alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin (MMK) kullanımına olan ilgi giderek artmıştır. Seramik parçacıkların matris içersine dağıtılmasıyla geleneksel malzemelere göre daha iyi spesifik mukavemet, rijitlik, aşınma, yorulma ve sürünme özellikleri elde edilmektedir. Bu malzemeler başlangıçta askeri ve uzay uygulamaları için üretilirken son yıllarda otomotiv ve havacılık alanlarında da kullanılmaya başlanılmışlardır (Rabiei ve diğ. 2008).

$Al_2O_3$  ve SiC parçacıkları ile güçlendirilmiş Al, Ti ve Ni alaşımları gibi Metal Matrisli Kompozitler (MMK) yüksek spesifik rijitlik, yüksek mukavemet, iyi sürünme direnci, iyi oksidasyon ve korozyon direnci gibi özellikleri sağlayabilecek bir potansiyele sahiptirler (Saber ve diğ. 2009).

Pramanik ve diğ. (2009), yapmış oldukları çalışmada 6-18  $\mu m$  boyutlarında 6061 Al alaşımı matrisli %20 SiC parçacık takviyeli kompozit malzemenin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Dört farklı ilerleme (0,1, 0,15, 0,2 ve 0,25 mm/rev) ve kesme derinliği (0,25, 0,5, 1,0 ve 1,5 mm) ile 100, 200, 400, 600 ve 800 m/min kesme hızlarında 10 saniye süreyle kesme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Her bir deney

parametresi için kesme kuvveti ölçümü yaparak, deneylerde elde edilen talaşların kalınlıklarını mikrometre yardımıyla ölçmüşlerdir. Ayrıca, Al esaslı SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık takviyeli MMK malzemelerde kesme kuvvetlerinin tahmini için bir mekanik model sunmuşlardır. Bu modeli kuvvet oluşum mekanizmalarına göre: a) talaş oluşum kuvveti b) kazıma (pulluk etkisiyle) kuvveti c) parçacık kırma kuvvetinin değerlendirmesinde kullanmışlardır. Talaş oluşum kuvveti “Merchant analizi” kullanılarak bulunurken, matris kazıma deformasyonu “kayma hattı bölgesinin plastisite teorisi” yardımıyla ve son olarak parçacık kırılması “Griffith’in kırılma teorisi” ile formülize edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen teorik modeller ile MMK malzemede talaş deformasyon mekanizmalarının çok iyi tanımlanabileceğini vurgulamışlardır.

Çavdar ve diğ. (2013), farklı parça iriliğinde ve farklı hacimlerde Alümina parçaları eklenmiş AA 6061 bazlı metal matris malzeme incelenmiştir. Malzemeler kesme derinliği sabit olmak üzere farklı kesme değerleri ile CNC torna tezgâhında kesme ucu olarak sementit karbür kullanılarak işlenmiştir. İşleme esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerini belirlemek için dinamometre kullanılmıştır. Saptanan bu değerler, Alümina eklenmiş AA6061 malzemenin işlenirken oluşacak kesme kuvvetlerini tahmin etmek için faydalanılan bir genetik programlama içerikli bir prototipin oluşturulmasında kullanmışlardır. Algoritma yardımıyla tahmini yapılan deney sonuçlarıyla kıyaslanmış ve deney sonuçlarıyla paralel olduğu belirlenmiştir.

Bilir ve diğ. (2013), Al 2014-SiC MMK numuneleri, karıştırmalı döküm yöntemiyle % 3-6-12 takviye hacimlerde SiC eklenerek üretmiştir. Sonrasında imal edilen bu parçalar ile, CNC tezgahında kesme testleri yapılmıştır. Testlerde kullanılan takımlar Sementit Karbür ve alümina kaplamalı Sementit Karbürdür. Deneyler 100,125,160 ve 180 m/min hızlarında uygulanmıştır. Deneyler kuru ortamda, ilerleme sabit olarak ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. Yapılan deneylerden sonra kesme hızı artışı ile yüzey pürüzlülüğü arasında ters orantı görülmüştür. En iyi değerler en düşük hızda kaydedilmiştir. Sonuçlara göre Sementit Karbür takımlar ile daha düzgün yüzeyler üretilmiştir.

Corrochano ve diğ. (2007), yaptıkları çalışmada; 6061 alüminyum alaşımına Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesiyle kompozitin güçlendirildiğini ortaya koymuştur. Mekanik

özelliklerin iyileşmesindeki en önemli nedenin, matris ve takviye elemanları arasındaki kuvvetli ara yüzey bağları olduğu vurgulanmıştır.

Kumral (2007), yaptığı çalışmada; alümine eklenmiş AA 6061 malzemenin ısıtılma halleri ile karakterizasyonunu mekanik özellikleri ve incelemiştir. Üretim tekniği olarak sıkıştırma döküm yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada; takviye boyutlarının 45-100µm arasında olması, bu tür kompozitlerde sert faz mukavemet artışı olarak tanımlanmış ve takviye elemanın matrise bağlanarak kompozit oluşumunun gerçekleştiği belirtilmiştir.

Ceschini ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada; AA7005 alaşımına %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi ile sürtünme kaynağı etkisinin mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mekanik test olarak kullanılan çekme testinde, %80'e varan verimliliğin olduğunu saptamışlardır.

Ekinci (2007), Alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) eklenmiş MMK malzeme imali ve bu malzemenin mekanik davranışlarının incelenmesi ile ilgili yaptığı çalışmada; teknikte, kompozit numunelerde toz metalurjisi ile üretimde, mekanik alaşımlama işleminde artan sürenin sertlik, yoğunluk, kırılma dayanımı sonuçlarını pozitif olarak etkilediği saptamıştır.

Hosseini-Zadeh ve diğ. (2012), alüminyum matris içine mekanik olarak aktive edilmiş nano-kristal halinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının eklenmesinin fizibilitesi araştırılmıştır. Bu amaçla, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu, yüksek enerjili bir bilyalı değirmende 20 saat öğütülmüş, ardından, erimiş Al'a ağırlıkça % 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ilave edilmiştir. Daha sonra bu kompozitin mikroyapı, toz karakterizasyonu ve mekanik ve aşınma özellikleri araştırılmıştır. Alüminyum matris üzerine az miktarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının dağıtımı heterojen bir özellik olup, matrisin tane boyutu da azalmıştır. Sert parçacıkların varlığı ve dolayısıyla daha küçük kristal boyutu nedeniyle, Al- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinin sertliği, akma mukavemeti ve aşınma direnci önemli ölçüde artmıştır.

Kyung ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada: 2xxx serisi alüminyum alaşımına Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sinterleme karakteristiğini incelemişlerdir. Çalışmada, sıvı faz sinterlemenin

2xxx serisi alaşımların sinterleme özelliğini arttırmak için yararlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Kök (2005) yaptığı çalışmada; Vortex metodu ile üretilen 2024 alüminyum alaşımına  $Al_2O_3$  parçacık takviyeli kompozitlerin abrazyon aşınma özelliklerini incelemiştir. Çalışmada; kompozitlerin aşınma direncinin takviye oranının artmasıyla geliştiği ortaya konulmuştur.

Schneider ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada;  $Al_2O_3$  takviye edilmiş Al 6061 alaşımının, nümerik analiz ile düşük evirimli yorulma davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, ilk çatlakların numune yüzeyinde olduğu ve iyi bir ara yüzey bağının olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2013), yaptığı çalışmada; AA 2014/ alümina MMK'in mekanik alaşım metodu ile üretimini ve yaşlandırılma özelliklerini incelemiştir. Çalışmada,  $Al_2O_3$  parçacıklarının büyüklüğünün ve heterojen dağılımının, deney numunelerinin üretiminde etkin parametre olduğu vurgulanmış ve  $Al_2O_3$  parçacıklarının sertlikte artış sağladığı, bununla birlikte  $Al_2O_3$  parçacık boyutu artışı ve buna bağlı olarak oluşan oksidasyon probleminin çekme test numunelerinin test edilebilirlik niteliklerini ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir.

MMK malzemelerin imal edilmesinde birçok farklı metot bulunmasına karşın, bu metotların birçoğunda kompozit malzeme imalatının en büyük problemi, matris ve eklenen elemanın ara yüzey oluşurken birbirlerini yeterli miktarda ıslatamamasıdır. Acılar (2002) yaptığı çalışmada; bu sorunlara eklenen malzeme fazının erimiş metal içinde sonradan eklenen bütün kompozit imalat metotlarında rastlanıldığını ve mekanik özelliklerin bu sorun yüzünden negatif etkilendiğini belirtmiştir.

Yu ve diğ. (2003),  $Al_2O_3/Al$  kompozit sisteminin ıslatabilirliği üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir.  $Al_2O_3$  partiküllerin  $Y_2O_3$  ile kaplanmasının ıslatılabilirlik üzerine etkisini belirleyebilmek için kaplanmamış ve  $Y_2O_3$  kaplanmış tozlarından elde edilen  $Al_2O_3$  altlıklar üzerinde sıvı alüminyumun ıslatabilirliğini belirlemede durağan damla testini kullanmışlardır. Sonuçta sıcaklığın ve sürenin artması ile temas açısının düştüğü ortaya koymuşlardır. Ayrıca  $Y_2O_3$  kaplı  $Al_2O_3$

tozlardan hazırlanan altlık üzerindeki temas açısı kaplanmamış tozlardan hazırlanan altlık üzerinde ölçülen değerlerden daha küçük olduğunu, başka bir deyişle alümina tozların  $Y_2O_3$  ile kaplanması ile ıslatılabilirliğin iyileştirildiğini tespit etmişlerdir.

Aynı araştırmacılar (Yu ve diğ. 2003), daha sonra gerçekleştirdikleri bir başka çalışmada;  $Y_2O_3$  kaplı  $Al_2O_3$  tozları ile sıkıştırılmalı döküm yöntemi kullanarak AA6061 alüminyum matrisli kompozit üretmişlerdir. %30 takviye hacim oranında  $Y_2O_3$  kaplanmış  $Al_2O_3$  içeren AA6061 matrisli kompozit malzemenin aynı takviye hacim oranında kaplanmamış  $Al_2O_3$  içeren kompozit malzemedan daha yüksek çekme ve akma dayanımına ve daha yüksek kopma uzaması değerine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Asa ve diğ. (2010), yapmış olduğu çalışmada AA6061 işlem alaşımının homojenizasyon prosesinin ekstrüzyon kabiliyetine etkisini araştırmıştır. Deneysel bulgularda homojenizasyon soğuma hızı ile şekil değiştirme gerilimi ve sertleşme kabiliyeti arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Aşağıdaki genel sonuç çıkarılmıştır: Orta ve yüksek mukavemetli ısıl işleme sertleştirilebilen alüminyum alaşımlarının fabrikasyon işleme zincirinde önemli bir adım olan homojenizasyon işlemi soğutma hızındaki düşüş, şekil değiştirme gerilimini ( $\sigma_f$ ) ve sertleşme kabiliyetini düşürmektedir.

Doğan ve diğ. (2012),  $Al_2O_3$  parçacık eklenmiş 6061 alüminyum MMK'lerin işlenme kabiliyeti konusunu incelemiştir. Basınçla ve vorteks yöntemi ile 2 değişik ebat ve üç değişik ağırlık oranlarında  $\alpha$ -  $Al_2O_3$  parçacıkları eklenmiş Al6061 MMK sorunsuz olarak üretilmiştir. Çalışmada % 10-15-20 oranlarında  $Al_2O_3$  eklenmiş malzemeler deneylere tabi tutulmuştur. Malzemelerin işlenme kabiliyetlerinin ölçümünde sementit karbür kesici uçlar kullanılmıştır. İşlenme kabiliyetini etkileyen değerlerin değişimi ile kesme kuvveti değerleri, yüzey pürüzlülüğü ve takımların aşınma değerleri değerlendirilmiştir. Deneyler esnasında en düşük Ra değeri % 20 partikül oranına sahip, 280 m/min kesim hızıyla 0,67 $\mu$ m şeklinde kaydedilmiştir.

Aycan (2010), yapmış olduğu çalışmada T6 ısıl işleminin Silisyum Karbür ve Alümina partikülleri eklenmiş alüminyum alaşımı bazlı kompozit malzemelerin mekanik parametrelerine etkisini araştırmıştır. 7XXX serisinden alüminyum MMK malzemelere seramik malzeme eklenerek, sıcak presleme metodu ile imalatları

gerçekleştirilmiştir. Değişik yaşlandırma şartlarında malzemelerin özellikleri saptanmıştır. Malzemelerde esas yapı Al-3.5Cu, 2.5Mg, 5Zn alaşımı,eklenen malzeme de silisyum karbür ve alüminadır. Parçalar imal edildikten sonra,parçalara sırasıyla, çözeltiliye alma,su verme prosedürleri uygulanmış,akabinde doğal ve yapay olarak değişik şartlarda yaşlandırma prosedürlerine tabi tutulmuştur. %20 silisyum karbür içeren parçalar sertlik açısından pik yapmıştır. %20'lik Alümina içeren malzemelerde ise sertlik açısından en düşük ölçümler kaydedilmiştir. 120°C'de yapılan T6 prosedürü sonucunda tek tür partikül eklenen malzemelerde en yüksek sertlik ölçümleri kaydedilmiştir. Mukavemeti en yüksek parça %5 silisyum karbür içeren numunelerdir. En düşük mukavemetli numuneler ise %20 alümina takviyeli kompozit numunelerde rastlanmıştır.

Ertok (2011), Al matrisli Alümina partikül eklenmiş numunelerin mekanik alaşımlama tekniği ile imalatı konusunu araştırmışlardır. Çalışmada mekanik alaşımlama tekniği ile değişik miktarlarda alümina eklenmiş alüminyum matrisli kompozit tozlar imal edilmiştir. Mekanik alaşımlama prosedürünün kompozit tozlar üstündeki etki araştırılmıştır. Alüminyum alaşım ve hacim olarak %5-10-15 Alümina ekleme değerinde Alüminyum toz karışımları imal edilmiştir. Hem Alüminyum alaşımı hemde Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları 5 saatlik mekanik alaşımlama süresi sonunda hemen hemen kararlı toz boyutuna erişilmiştir. Mekanik alaşımlama süresi arttıkça Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye parçacıklarının Al alaşım matris içerisinde homojenitesi artmıştır. Özellikle 5 saat sonunda homojenitede kararlı hale ulaşılmıştır. Presleme basıncı arttıkça Al alaşım ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin yoğunluk ve sertlik değerleri artarken gözenek değerleri azalmıştır. Takviye miktarının artmasıyla sertlik ve gözenek değerleri artmıştır.

Yılmaz (2011), AA 6061 ve AA 5754 malzemelerinin sürtünme kaynağıyla birleştirilme kabiliyetinin araştırılması konusunu incelemişlerdir. AA5754-H22 ile AA6061-T6 alüminyum alaşımları sürtünme karıştırma kaynak tekniği (SKK) ile değişik değerler ile bir araya getirilerek, faydalanılan değerlerin kullanılabilirliğini saptanmak istenmiştir. Kaynağın yapı özelliklerini etkileyen en önemli şeylerin sırasıyla, takımın baskı kuvveti, takımın ilerleme hızları ve takımların devir sayısı ile ilgili olarak karıştırma şiddeti olduğu belirlenmiştir. Kabul edilebilir birleşmelerin

gerçekleştirilebilmesi için uygulanması gereken takım baskı kuvvetinin en az 6 kN değerinde olması gereklidir.

Avşar (2011), yaşlandırma parametrelerinin AA6061 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine ve şekillendirmeye olan etkisinin incelenmesi konusunu incelemiştir. Yaşlandırma üç ayrı sıcaklıkta ve farklı yaşlandırma süreleri kullanılarak yapılmıştır. Yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özelliklerine olan etkisi, çekme testi ve sertlik testleri ile şekillendirilebilirliğe olan etkisi ise Erichsen ve geri yaylanma testleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak AA 6061 alaşımının mekanik özellikleri ve şekillendirilebilirliği farklı koşullar için irdelenmiştir.

Karakaş (2001), yüksek hacimde  $Al_2O_3$  parçacık eklenmiş Al matrisli kompozitlerin aşınmasına magnezyum etkisi konusunu incelemiştir. Tezde basınçlı infiltrasyon tekniğiyle imal edilmiş, hacim olarak takribi %70 oranında alümina parçacık eklenmiş Al alaşımlarının yağlama olmadan kayma aşınması ve abrasif aşınma davranışına magnezyum eklenmesinin (ağırlıkça %8'e kadar) tesirleri araştırılmıştır.

Akçay (2008),  $Al_2O_3$  eklenmiş Al bazlı kompozitlerin frezeleme işleminde kesme değerlerinin işleme performansına etkisi konusunu incelemiştir. Bu çalışmada, hacimce %15  $Al_2O_3$  parçacık takviyeli  $Al_6Zn_2Mg_2Cu$  Al temelli kompozit; sıvı faz sinterleme tekniğiyle üretilmiştir. İmalat sonrası tavllanmış ve mekanik özellikleri test edilmiştir.

Kurt (2010), Al,  $Al_2O_3$  kompozit malzeme imalatında karıştırma yönteminin kompozit aşınma davranışı üzerine etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada TM imalat tekniği kullanılmış olup, ağırlık olarak %10 değerinde ( $Al_2O_3$ ) içeren alüminyum matrisli kompozit malzeme üretilmiştir. Sinterlenmiş numuneler 10-20-30 N'luk 3 değişik yük ve 100-220-400 meshlik üç çeşit aşındırıcı yardımıyla abrasif aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda ulaşılan değerler yorumlanarak karıştırma yönteminin kompozit parçaların aşınma özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.



Kılıçarslan ve diğ. (2011), Alüminyum matrisli alümina seramik takviyeli kompozit malzemelerin zırh özelliklerini incelemişlerdir. Alüminyum matris malzemesi ve farklı geometrilere sahip alümina seramik takviyeler kullanılmıştır. Geleneksel döküm metotlarıyla başlatılan çalışmalar sonucunda karşılaşılan ara yüz sorunları vakum atmosferi altında yapılan çalışmalar ile ortadan kaldırılmıştır. Yöntem değişikliğinin kompozit yapıya ve balistik performansa etkileri ortaya konulmuştur.

Han ve diğerleri (2017), bilye değirmeninde işlenen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozlarından seçici lazer sinterleme yöntemi ile nano kompozitler üretmişlerdir. Deneysel çalışmalarda ham Al tozu (-325 gözenekli,% 99.5) ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu(<50 nm parçacık boyut) kullanmışlardır. Paslanmaz çelik bir kaba, 200 g Al ve % 4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları eklenmiştir. Toz bilye oranı 5:1 olarak bilyeleri yüklemişlerdir.

Shorowordi ve diğerleri (2003), B<sub>4</sub>C, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al matris kompozitlerinin mikroyapı ve ara yüz özelliklerini araştırmışlardır. B<sub>4</sub>C, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0-20 vol.%) takviye parçacıkları içeren üç alüminyum metal matris kompozitleri üretmişlerdir. Kompozitlerin üretiminde karıştırma döküm yöntemi ve ekstrüzyon tekniğini kullanmışlardır. Alüminyum-Silisyum Karbür ve Alüminyum-Alümina bileşiklerine kıyasla Alüminyum-Bor Karbür kompozitlerinde partikül dağılımının daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Karanlık ara yüz reaksiyon ürünü, uzun süre işlenmiş kompozitlerin Al-SiC arayüzünde bulunmuşken, reaksiyon ürünü gözlemlenmemiştir.

Hariprasad ve diğerleri (2014), Al 5083 metal matrisli B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyelendirilmiş kompozitlerin aşınma özelliklerini araştırmışlardır. Karıştırma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde dört farklı kompozit üretmişlerdir. Matris malzemesi sabit ağırlık yüzdesi ile (% 5) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve dört farklı ağırlık yüzdesi ile B<sub>4</sub>C (% 0,% 3,% 5 ve % 7) ile takviye edilmiş teknik incelenmiştir. Farklı takviye ile aşınma özelliklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Farklı yük 10, 20N ile kuru koşullar altında pin-on-disk yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Aşınmış yüzey Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile araştırmışlardır. Araştırma, aşınma direncinin B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün ağırlık yüzdesinin artmasıyla geliştirildiğini, aşınmış örneklerin aynı koşullarda hafif bir yapışkan aşınma izleri gösterdiğini ortaya koymuştur.

Karabulut ve diğeri (2016),  $Al_2O_3$  /  $B_4C$  / SiC parçacıklarıyla güçlendirilmiş AA7039 kompozitlerinin mekanik ve delme özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Toz metalurjisi tekniği ayrı ayrı ile ağırlıkça % 10  $Al_2O_3$ , % 10  $B_4C$  ve % 10 SiC takviyelendirilmiş kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlerin üretiminde ilk olarak tozları 60 dakika boyunca üç boyutlu karıştırıcıda karıştırmışlardır. Karışım tozları 300 MPa basınç altında soğuk olarak preslemişlerdir. Preslenen tozları 550 °C'de 1 saat boyunca sinterledikten sonra 500 °C'de sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutmuşlardır. Yapılan mikroyapı incelemelerinde tüm takviye elemanlarının matris yapı içerisinde homojen olarak dağıldığını ve iyi bir arayüze sahip olduğunu bulmuşlardır.

Edalati ve diğeri (2014), Yüksek basınç burulması ile güçlendirilmiş saf alüminyum ve Al-  $Al_2O_3$  kompozitlerinin aşınma direnci ve tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Yüksek basınç burulması (HPT) kullanılarak tozların soğuk konsolidasyonu ile ultra ince taneli saf Al ve Al ve % 10 ve % 20 hacim  $Al_2O_3$  içeren kompozitler üretilmişlerdir. Al'ın bilyeli disk aşınma direnci, H24 muamelesi ile işlenmiş (soğuk haddeleme ve ardından düşük sıcaklık tavlama) işlenmiş kaba taneli muadili ile karşılaştırıldığında HPT ile geliştirildiği tespit etmişlerdir. Al matrisine  $Al_2O_3$  eklenmesiyle aşınma genişliği azaldığını, aşınma derinliği ve aşınma hacminin arttığını bulmuşlardır.

Kök ve Özdin (2007),  $Al_2O_3$  takviyeli Al kompozitlerin aşınma davranışlarını analiz etmişlerdir. Vortex döküm metoduyla üretilen alüminyum 2024 matrisli ağırlıkça %10, 20 ve 30  $Al_2O_3$  takviyeli kompozitlerin pin on disk aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testlerinde 600 grit, 320 grit ve 240 grit SiC zımpara kâğıdı kullanmışlardır. Aşınma testini 2 ve 5 N yük altında oda sıcaklığında yapmışlardır.  $Al_2O_3$  parçacıkları ile 2024 Al matris alaşımının takviyesi, kullanılan tüm aşındırıcılara karşı test edilen tüm kompozitlerin aşınma direncini önemli ölçüde geliştirdiğini ve kompozitlerin aşınma direnci, takviyesiz 2024 alüminyum alaşımına kıyasla çok daha yükseldiğini bulmuşlardır.

Park ve diğeri (2001),  $Al_2O_3$ -Al metal matris kompozitlerin malzeme karakterizasyonu ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Donatının hacim fraksiyonu, % 5'lik aralıklarla %5 ila %30 oranında sistematik olarak değiştirmişlerdir. Toz metalurjisi kompozitleri haddeledikten sonra T6 koşuluna ısı

ile işlemişlerdir. Kompozitlerin takviyesizlere göre daha yüksek elastik module sahip olduğunu bulmuşlardır. Elastik modül, parçacık hacmi fraksiyonu arttıkça, ancak progresif olarak azalan bir oranda arttığını görmüşlerdir. Artan parçacık hacim fraksiyonuyla sertleşme hızındaki azalma, kompozitlerdeki kırık parçaların sayısındaki artışa bağlandığını tespit etmişlerdir.

Rahimian ve diğerleri (2011), Sinterleme sıcaklığının ve takviye miktarının Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinin özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinin özelliklerine takviye miktarının etkisini araştırmışlardır. Partikül büyüklüğü 12, 3 ve 48 µm olan alumina tozu ve partikül boyutu 30 µm olan saf alüminyum tozu kullanılmıştır. Eklenen alumina tozu miktarı% 20'ye kadar çıkarılmıştır. Tozları harmanlamak için bilyalı değirmen kullanılmıştır. Sinterleme sıcaklığı ve zamanı sırasıyla 500, 550 ve 600 °C ve sırasıyla 30, 45, 60 ve 90 dakika olarak uygulanmıştır. Yüksek ağırlıktaki takviye fraksiyonlarında nispi yoğunluk azalırken sertlik ve aşınma direnci arttığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, Alumina miktarının % 0 ila% 10 artırıldığında, sertliğin 33'ten 62 HB'ye, basınç dayanımının ise 133'den 273 MPa'ya yükseltildiğini bulmuşlardır. Alumina ilavesinin, aşınma oranını 0,0447 mm<sup>3</sup>/m'den 0,0262 mm<sup>3</sup>/m'ye düşürdüğünü bulmuşlardır.

Jamaati ve diğerleri (2014), haddeleme yolu ile imal edilen nanoyapılı Al / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin aşınma davranışını incelemişlerdir. Sonuçlar, haddeleme işleminin, alınan alüminyum şerit ile karşılaştırıldığında monolitik ve kompozit numunelerin aşınma direncinde azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca haddeleme çevrimlerinin sayısının artmasıyla numunelerin aşınma direncinin de azaldığını görmüşlerdir.

Baradeswaran ve Perumal (2014), Al 7075/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/grafit hibrit kompozit malzemelerin mekanik ve aşınma özelliklerini araştırmışlardır. Grafitin Al 7075 / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / ağırlıkça % 5 grafit hibrit kompozitinin aşınma davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırma, aşınmayı azaltmak için bileşimde grafitin etkinliğini ortaya koymuştur. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-grafitle takviye edilmiş Al 7075 (7075 alüminyum alaşımı) incelenmiştir. Kompozitleri sıvı metalurjisi yolu ile imal etmişlerdir. Seramik parçacıkları katı yağlama malzemeleri ile birlikte alüminyum alaşım matrisi içine dahil edilmiş ve hem aşınma direncinde hem de sürtünme katsayısında azalma sağlanmıştır. Al 7075 / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / grafit hibrit kompoziti, ağırlıkça % 5 grafit partikül

ilavesi ve ağırlıkça% 2, 4, 6 ve 8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile hazırlanmıştır. Al 7075- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-grafit hibrit kompozitlerinin sertlik, gerilme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve sıkıştırma mukavemeti, seramik fazının ağırlık yüzdesinin artmasıyla arttırılmıştır. Grafit içeren hibrit kompozitlerin aşınma özellikleri üstün aşınma direnci özellikleri sergilemektedirler.

Basithrahman ve Arravind (2016), AA6061 hibrit metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının deneysel olarak incelemiştir. Kompozitlerin üretimini karıştırma döküm tekniği ile yapmışlardır. AA6061 matris malzemesi olarak kullanılmış ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C ve SiC, hibrid metal matris bileşiklerinin hazırlanması için takviye parçacığı olarak kullanmışlardır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün ağırlık yüzdesi, B<sub>4</sub>C ve SiC'nin sabit ağırlık yüzdesi olarak muhafaza edildiği şekilde değiştirilmiştir. Aşınma testi, disk sürgüsü aparatı üzerinde kuru kayma koşulları altında 9,81 N, 19,62 N, 29,43 N ve 39,24 N'lik değişen yüklerde yapılmıştır. Aşınma süreci boyunca sürtünme katsayısının (COF) değişimi bir bilgisayar kullanılarak kaydedilmiştir. Mikroyapısal çalışma Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>C ve SiC'nin matris alaşımında dağılımını gösteren Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Aşınma sonuçları, normal yükte artış ile hacimsel aşınma kaybının arttığını ortaya koymuştur. Sonuçlar aynı zamanda, Al6061-% 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5t% B<sub>4</sub>C-5t% SiC kompozitlerinin hacimsel aşınma kaybının diğer bileşimlere kıyasla daha az olduğunu göstermiştir.

Rahimian ve diğerleri (2010), Toz metalurjisi ile üretilen Al matris kompozitinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine ilişkin partikül büyüklüğünü araştırmışlardır. Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinde alümina partikül büyüklüğünün ve miktarının bağlı yoğunluk, sertlik, mikro yapı, aşınma direnci, verim ve basınç dayanımı ve uzama üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, ortalama parçacık boyutları 48, 12 ve 3 µm olan ağırlıkça % 0-20 alumina miktarı, 30 µm 'lik ortalama parçacık boyutundaki saf alüminyum ile birlikte kullanmışlardır. Toz metalurjisi, tozların planet tipi bir bilyalı değirmen ile karıştırıldığı bu kompozit malzemenin imalatında kullanılan bir yöntemdir. Presleme, 400 MPa'da iki eksenli basma ile gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemi, 550 °C'de 45 dakika sürmüştür. Sonuçlar, alümina partikül ebadının azaltılmasıyla yoğunluğun azaldığını, göstermektedir. Ayrıca, alüminanın partikül boyutu düştükçe, sertlik, akma mukavemeti, basınç

dayanımı ve uzamanın arttığını ve aşınma direnci, mikroyapı tane boyutu ve dağılımı gibi faktörlerin azaldığını bulmuşlardır.

Ravi ve diğerleri (2015), karıştırma döküm tekniği ile üretilen alüminyum matris kompozitlerinin (AA6061/B<sub>4</sub>C) karakterizasyonunu incelemişlerdir. Farklı ağırlık yüzdeleri ile ortalama parçacık boyutu 25 µm olan Boron Karbür (B<sub>4</sub>C) ile takviyeli Alüminyum Matris Kompozitleri (AA6061) imal etmek için, yerli olarak geliştirilmiş karıştırma döküm yöntemi kullanılarak bir girişim yapılmıştır. AMK'lerdeki B<sub>4</sub>C parçacıklarının homojen dağılımı optik mikrograflardan ortaya çıkmıştır. B<sub>4</sub>C parçacıklarının ağırlık yüzdesindeki artışla birlikte mekanik karakterizasyon yapılmış ve gerilme mukavemeti ve sertliğin arttığını tespit etmişlerdir.

Iacob ve diğerleri (2015), Toz metalürjisi yoluyla üretilen Al / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Gr hibrit kompozitlerinin aşınma hızı ve mikro sertliği üzerine çalışmalar yapmışlardır. Kompozitlerin mikro-yapısal karakterizasyonu, numunelerde eşit dağılım ve bazı tanecik arıtılmasını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, sert Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin varlığına bağlı olarak öğütme süresini ve takviye içeriğini arttırırken mikro sertliğin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Gr'nin varlığı nedeniyle Al / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Gr hibrit kompozitlerinin sergilediği düşük bir aşınma hızı gözlemlenmiş ve sırasıyla yük taşıyıcı elemanlar ve katı yağlayıcı olarak hareket etmişlerdir.

Kumar ve diğerleri (2013), Elektromanyetik karıştırma dökümü yöntemi ile A359/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matris kompozitinin imalatı ve karakterizasyonu konusunu çalışmışlardır. Elektromanyetik karıştırma döküm yöntemini kullanarak alüminyum alaşım matris bileşiminin imal edilmesinde başarılı olduğunu kanıtlamışlardır.

Su ve diğerleri (2012), Nano boyutlu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık takviyeli alüminyum matris bileşiklerinin işlenmesi, mikroyapı ve gerilme özellikleri üzerine araştırma yapmışlardır. Geleneksel stir döküm tekniği ile imal edilen, nano boyutlu seramik parçacık takviyeli alüminyum matris kompozitleri, genellikle, matriste nanopartiküllerin zayıf dağılımını ve gözenekliliğin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada nano- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / 2024 kompozitleri, katı-sıvı karışık döküm ile ultrasonik muamele ile kombine edilerek hazırlanmıştır. Elde edilen kompozit, ince tanecikli mikroyapı, matristeki makul Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacık dağılımı ve düşük

gözeneklilik sergilemiştir. Katı-sıvı karışık döküm tekniği, matristeki nanoparçacıkların aglomerasyonunun engellenmesinde etkili olmuştur. Katılaşma esnasında kompozit eriyik üzerine ultrasonik titreşimin uygulanması, sadece matrisin tanecik mikroyapısını rafine etmekle kalmamış aynı zamanda nano boyutlu takviyenin dağılımını da geliştirmiştir. Matris ile karşılaştırıldığında,% 1 nano- $Al_2O_3$  / 2024 karışımının maksimum gerilme mukavemeti ve akma dayanımı sırasıyla% 37 ve % 81 oranında arttırılmıştır. Daha iyi gerilme özellikleri, alüminyum matrisin takviye ve tanecik arıtımının muntazam dağılımına atfedilir.

## 1.2 Tezin Amacı

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, yüksek performans gerektiren uygulamalar için metal matrisli kompozit malzeme üretiminin araştırılması önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Özellikle savunma, otomotiv, havacılık ve uzay sanayi gibi ileri teknoloji gerektiren sektörlerde istenen farklı özellikleri bir arada bulduran kompozit malzemelerin kullanımı vazgeçilemez olmuştur. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler ise metal matrisli kompozit malzemeler arasında ayrı bir öneme sahip olan malzemelerdir.

Alüminyum matrisli kompozit malzemeler; korozyon ve aşınma direnci, yüksek mukavemet, hafiflik gibi üstün özellikleri ile savunma, havacılık ve otomotiv sanayisinde kullanımı giderek yaygınlaşan malzemelerdir. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerde, takviye elemanı olarak  $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$  seramik parçacıklar kullanılmaktadır. Bu kapsamda, bu projede AA6061 matrisli  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemeler üretilecektir. Üretilen bu kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bu tezin amacı, AA6061 alüminyum alaşımı içerisine ağırlıkça % farklı oranlarda seramik  $Al_2O_3$  takviyesi yapılarak, takviye miktarının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini inceleyerek, belirlenen malzeme için deneysel verilerle optimum üretim parametrelerini belirlemek, bu bağlamda bu konuda çalışan kompozit üreticilerine bilimsel bir referans oluşturabilmektir.

### 1.3 Tezin Özgün Değeri

Toz metalurjisi yönteminde sıcak presleme işlemini uygulayarak üretilen AA6061 matrisli  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini inceleyen çalışmaların az olması, elde edilecek sonuçların özgün yanını teşkil edecek ve literatüre özgün katkılar sağlayacaktır.

Önerilen çalışmada farklı hacim oranlarında takviye malzemesi kullanılacak olması, optimum özellikte parça üretimine yönelik endüstriyel bazda bir referans oluşturacaktır. Bu amaçla, yüksek oranlarda (maksimum %20'e kadar)  $Al_2O_3$  takviyesi yapılarak yeni bir kompozit malzeme geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## **2. ALÜMİNYUM, KOMPOZİT MALZEMELER VE TOZ METALÜRJİSİ**

Kompozit malzeme, birbirlerinden biçim olarak ve kimyasal içerik olarak farklı ve esas olarak biri diğerinin içinde çözünmeyen, iki veya daha fazla mikro veya makro bileşenin karışımından veya birleşiminden meydana gelen malzemedir (Smith 2001). Kompozitleri oluşturan bileşen grupları çok farklı malzemelerden olabilir; seramik, metal, polimer, cam ve elastomer gibi. Kompozit sistemlerine göre farklı gruptaki malzemelerden en az iki grup malzeme birleştirilerek yüksek donanıma sahip yeni malzemeler oluşturulabilmektedir (Clyne 1993).

Uygulamada, kompozit malzeme imalatında genellikle aşağıdaki özelliklerin bir veya daha fazlasının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu özelliklerin önde gelenleri;

- Mekanik mukavemet
- Yorulma dayanımı
- Aşınma direnci
- Korozyon direnci
- Kırılma tokluğu
- Yüksek ısıya dayanım
- Isıl direnç veya ısı iletkenliği
- Elektriksel direnç veya elektrik iletkenliği
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu
- Rijitlik
- Ağırlık
- Görünüm, olarak sıralanabilir (Ataş 2007).

### **2.1 Kompozitlerin Sınıflandırılması**

Kompozitler genellikle, kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanlarının şekline ve cinsine göre sınıflandırılmaktadır. Kullanılan matrisin malzemesine göre kompozitler:



1. Polimer matrisli kompozitler
2. Seramik matrisli kompozitler
3. Metal matrisli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır.

### **2.1.1 Polimer matrisli kompozitler**

Polimer matrisli kompozitlerden (PMK), düşük yoğunluk, ekonomiklik, kolay üretilebilirlik, mekanik özellikleri ve yalıtkanlık gibi nitelikleri için, imalat sanayiinde yoğun bir şekilde faydalanılmaktadır. PMK parçaların ısıya dayanımı, çoğunlukla matris malzemesi tarafından belirlenmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin ısıya dayanıklılıklarını az olduğu için bu bir dezavantajdır. Polimer matrisli kompozitler; yayma, basma kalıplama ve transfer kalıplama, soğuk pres kalıplama, helisel sarma, torba kalıp ve profil çekme yöntemleri ile üretilmektedir (Deng ve diğerleri 2007).

### **2.1.2 Seramik matrisli kompozitler**

Seramik matrisli kompozit (SMK) malzemeler, çoğunlukla yüksek ısı ortamlarda hizmet veren parçaların üretiminde kullanılmaktadır. SMK'lerde matris malzemesi olarak genellikle  $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ ,  $B_4C$ , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN gibi takviye malzemeleri tercih edilmektedir. Bahsedilen bileşikler farklı yapıdadır ve isteğe göre, bir veya kaç tanesi birlikte kullanılmaktadır. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçaların üretimi ile uzay araçlarında, seramik matrisli kompozitler tercih edilmektedir (Çalın 2006).

### **2.1.3 Metal matrisli kompozitler**

Metal matrisli kompozitlerin (MMK), temel yapısını (matrisi) metalin oluşturduğu, takviye elemanı olarak seramiklerin veya refrakterlerin tercih edildiği malzemelerdir. MMK parçalar, metalin ve takviye elemanının üstün özelliklerinin birleşmesi sonucunda, yüksek dayanım/yoğunluk, yüksek elastikiyet modülü, yüksek

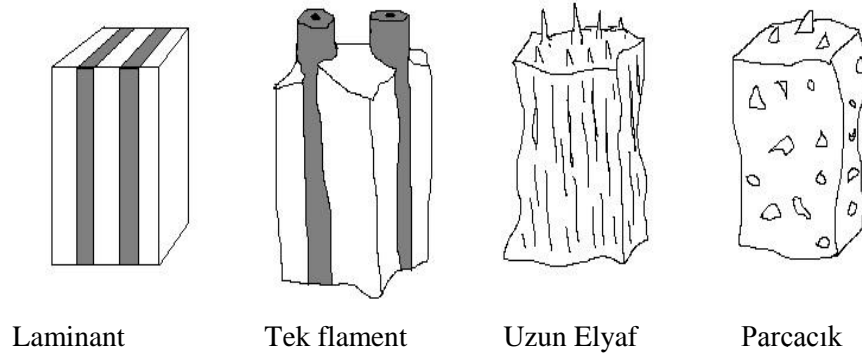
mukavemet gibi üstün özelliklere sahiptir. MMK' lerde matris malzemesi olarak, yoğunluğu düşük olan metal ve alaşımları tercih edilmektedir. Yoğunluğun düşük olması, korozyon direnci ve birçok takviye fazını ıslatabilirliğinin yüksek olmasından dolayı, MMK'lerde alüminyum alaşımları, matris malzemesi olarak en çok tercih edilen alaşım grubudur. Alüminyum alaşımlarının yanı sıra Ti, Mg Cu gibi diğer metal ve alaşımları da matris malzemesi olarak kullanılmaktadır (Çalın 2006). Metal matrisli kompozitlerin metal ve alaşımlarına göre üstün özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır.

1. Yüksek elastikiyet modülü,
2. Mukavemetin yüksek olması,
3. Tokluğun ve darbe dayanımının yüksek olması,
4. Yüksek elektrik ve termal iletkenlik,
5. Sürünme direncinin iyi olması,ısı şoklarına ve ısıl değişimlere karşı dayanıklı olması,
6. Yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
7. Tasarım, üretim, biçimlendirme ve birleştirme özellikleridir (Çalın 2006).

## **2.2 Takviye Elemanın Şekline Göre Kompozitler**

Metaller çoğunlukla seramik takviye elemanları ile kuvvetlendirilerek metal matrisli kompozit (MMK) parçalar imal edilmektedir. Şekil 2.1'de takviye elemanlarının şekillerine göre, kompozit türleri görülmektedir. Takviye elemanlarının şekillerine göre kompozitler;

- Tek filament
- Uzun ve kısa elyaf (fiber)
- Parçacık
- Laminant (Tabakalı) olarak sınıflandırılmaktadır.



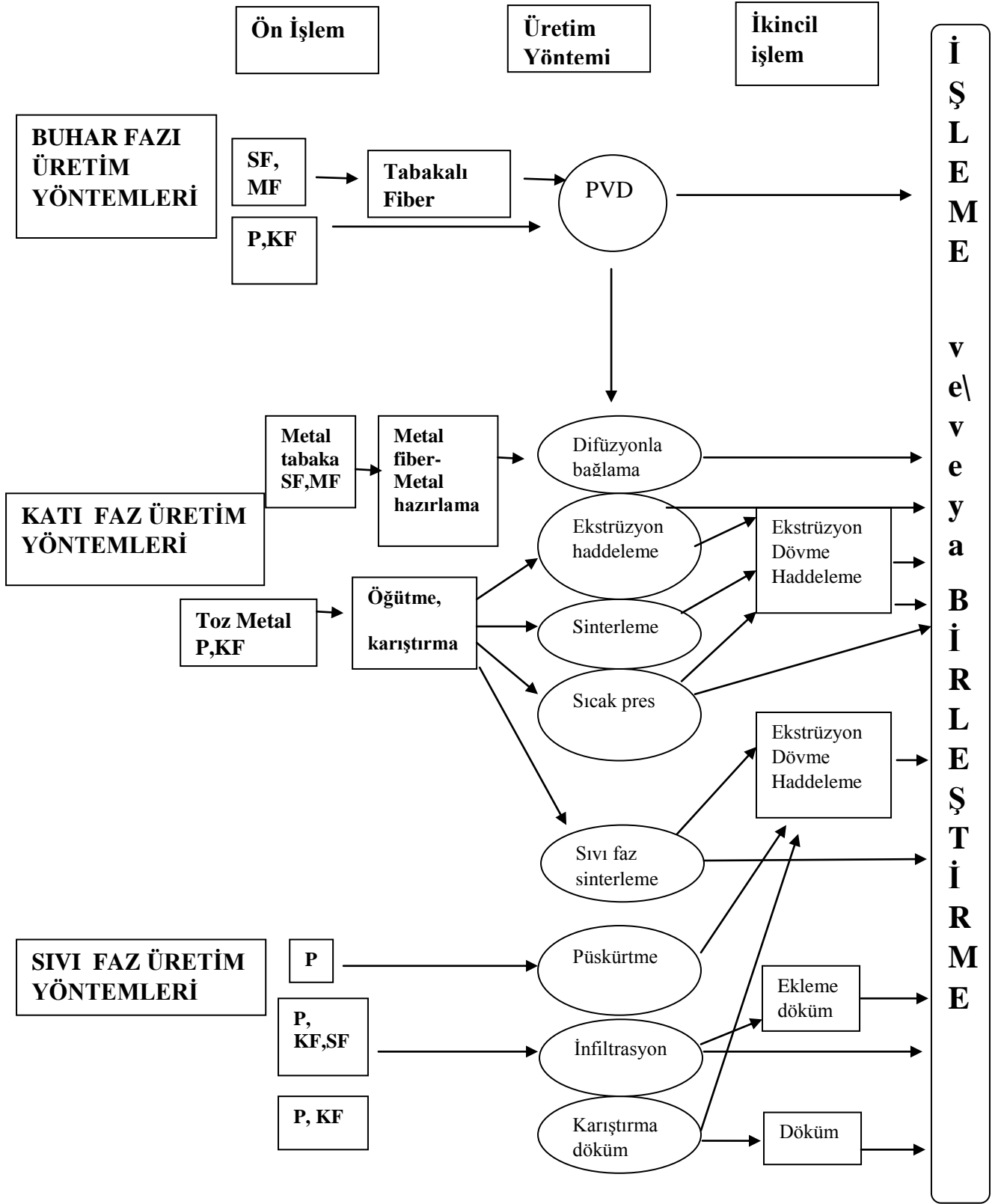
Şekil 2.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri (Çalın 2006).

### 2.3 Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit parçaların mekanik nitelikleri matris ile takviye elemanının uyumlu ve güzel bir bağlanma meydana getirmelerine bağlıdır. Bu bağların gücü matrisin takviye elemanını iyi ıslatabilmesiyle birlikte, tercih edilen imalat tekniği ile de ilişkilidir.

Buna göre üretim yöntemleri:

1. Sıvı faz üretim yöntemleri
2. Katı faz üretim yöntemleri
3. Sıvı – katı faz üretim yöntemleri olarak gruplandırılabilir (Şekil 2.2).



P:Partikül takviyeli MMK, KS:Kısa fiber takviyeli MMK, SF:Sürekli fiber takviyeli MMK, Mf:Mono filament MMK

Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri (Çanakçı 2006), (Kalemtaş 2014).

Üretim yöntemleri; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve diğer yöntemler olarak sınıflandırmak mümkündür. Katı Faz Üretim Yöntemlerine örnek olarak Toz Metalurjisi Teknikleri ve Difüzyon Bağı Yöntemi örnek olarak verilebilir.

## **2.4 Toz Metalurjisi**

Toz metalurjisi (TM), mekanik ve fiziksel ve kimyevi tekniklerle metal ve metal alaşımlarını toz şeklinde öğütmek ve tozları ergitmeden basınç ve sıcaklık etkisiyle yeni parçalar imal etmektir (Hiçyılmaz 1999). Bu yöntemde toz haline getirilmiş arı metaller, karbon, seramik ve plastik malzemelerin birbirleriyle bir süre karıştırıldıktan sonra basınç altında preslenmesi gerekir. Sonrasında parçacıkların birbirlerine değen yüzleri arasında kuvvetli bağlar tesis etmek için ve talep edilen özellikleri yerine getirmek için "sinterleme" olarak da adlandırılan, kullanılmış toz metallerin ergime noktasına varmayan bir sıcaklık derecesinde yapılan bir prosese sokulur. (Yavuz ve Güner 2002).

Toz metalurjisinin tarihi insanlık tarihi kadar eskilere gitmektedir. M.Ö. 3000 yıllarda Eski Mısır Uygarlığı demir oksidi indirgemiş ve bundan sünger demir üretmiştir. Bir diğer örnek de Hindistan'da M.S. 400 yıllarda toz metalürjisine benzer tekniklerle 6,5 ton ağırlığında Delhi Sütunu'nu yapmışlardır. Toz metalurjisinin endüstride ilk denenmesi ise 1826'da yılında Rusya'da yapılan platin paradır. Yine 1892'de Wolaston, toz metalurjisi metoduyla platin üreterek ilk gerçek toz metalurjisi işlemini gerçekleştiren kişidir (Ersümer 1970).

Toz metalurjisinin ilk ticari uygulamaları, 19. yüzyılın son çeyreğinden itibaren, lamba teli olarak önceleri karbon, sonra osminyum, zirkonyum, vanadyum, tantalum ve en son olarak da tungsten tozlarının kullanılmasıdır. Toz metalurjisi tekniğinde çağdaş ilerlemeler 1. Dünya Savaşı zamanında olmuştur. 1914'te Krupp şirketi yılında kobalt tozundan sert metal imal etmeyi başarmış ve 1927'de "Widia" adıyla üreterek, satışa sunmuştur. 1960'larda dövme çelik parçalar, takım çelikleri, izostatik preslenmiş süper alaşımlar gibi tam yoğun TM gereçleri üretilmiştir. 1980'lerde ise çeşitli yeni toz üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları;

hızlı soğutma teknikleri, mekanik alaşımlama ve toz enjeksiyon kalıplama olarak sıralanabilir (Yılmaz 2013).

Toz metalurjisinin asıl amacı, metalleri toz olarak üretmek ve üretilen bu tozları presleyip sonra fırınlarda sinterleyerek çeşitli parçalar imal etmektir. Presleme prosesi, çoğunlukla oda sıcaklığında, bazen de yüksek ısılarda gerçekleştirilir. Ancak yüksek ısılarda presleme prosesi, kalıpta kullanılan malzemenin presleme sıcaklık derecesindeki dayanım değerleriyle sınırlıdır. Sinterleme yoluyla imal edilen malzemelere son şekli verebilmek için bazen ek işlemler gerekebilir de buna gerek de olmayabilir (Akorol 2003).

Sinterleme ısı işlemleri, ergitme yerine geçmekte ve toz metalin ergime noktasından düşük bir ısıda gerçekleştirilmektedir. Eğer malzemelerin hepsi toz ise, o zaman sinterleme, bu malzemelerin ergime sıcaklığı en yüksek olanının ergime sıcaklık değerinin altında gerçekleştirilir. Bazı durumlarda ise sinterleme düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime derecesinin üzerinde yapılır. Bu tür sinterlemeler “sıvı faz sinterlemesi” olarak adlandırılır (Günebakmaz 2007).

Toz Metalurjisini mecbur hale getiren sebepleri saymak gerekirse; bazı metallerin çok yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olması ve bu ısıya ulaşmanın mümkün olmaması, örneğin tungsten ve molibden. Bazı niteliklerin sadece toz metalurjisi gerçekleştirilebilmesi (kendinden yağlamalı yataklar gibi) süper alaşımlar ve sert metallerin bu teknikle imal edilebilmesidir (Turan 1993).

#### **2.4.1 Toz Metalurjisinin Önemi**

TM teknolojisini önemli kılan özellikler aşağıda özetlenmiştir (Groover 1996):

TM ile üretilen malzemeler üretimden sonra gereken talaşlı imalat işlemlerine gereksinimi ortadan kaldıracak şekilde nihai şekil veya ona yakın halde seri üretime uygundur.

TM'de malzeme israfı çok azdır. (Üretimde başlangıçtaki tozun yaklaşık %97'si parçaya dönüşebilir).

TM'de üretilen parçalarda gözenekli yapı gerekiyorsa bu sağlanabilir. (Örneğin; filtreler, yağ-emdirilen yataklar ve dişliler).

TM ile diğer tekniklerle işlenmesi kolay olmayan bir takım metalleri şekillendirmek daha kolaydır (Örneğin; ampullerdeki tungsten filamentler TM ile üretilir).

Farklı bir teknikle üretilemeyen bazı alaşım kombinasyonları ve sermetler ancak TM ile üretilebilirler.

Diğer döküm tekniklerine göre TM, boyut kontrolü açısından daha iyidir.

TM üretim teknikleri ekonomik imalat için otomatize edilebilir.

#### **2.4.2 Toz Metalurjisinin Sınırlılıkları Ve Zayıf Yönleri**

TM teknolojisinin zayıf yönleri ve sınırlılıkları aşağıda özetlenmiştir (Groover 1996):

Ekipman ve takım masrafları yüksektir.

Toz metallerin fiyatı yüksektir.

Toz metallerin depolanması ve nakledilmesi sorun teşkil eder (Örneğin; zaman içinde bozulma, bazı metallerde yangın riski).

Presleme prosesi esnasında toz metaller kalıbın içinde paralel olarak akmaz, bu yüzden parçanın geometrisinde sınırlandırmalar meydana gelir.

Karmaşık şekilli parçalarda, parça boyunca yoğunluğun değişiklik göstermesi, sorun teşkil eder.

#### **2.4.3 Toz Üretimi**

Çoğu materyaller toz haline getirilebilir. Toz metalürjisinde faydalanılan toz metallerin boyutu en fazla 200  $\mu\text{m}$ 'dir. Ancak bu boyut gelişen teknolojiyle birlikte her geçen yıl daha da küçülmektedir (Yılmaz 2013). TM ile üretimde, imal edilen tozun mikroyapısı, şekli ve büyüklüğüyle, kimyasal nitelikleri her zaman birbiriyle ilişkilidir. Toz üretim yöntemiyle, üretilen tozun boyutu, şekli, mikroyapısı ve kimyasal özellikleri arasında daima bir ilişki vardır. Belirli özellikteki tozların üretiminde farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. TM imal teknikleri ve metal

tozları imalat teknolojisi arasında kuvvetli bir bağ vardır. Kullanılan yöntemler üretilen tozun fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Bu bakımdan planlanan parça üretimine göre uygun toz seçimi yapılmalıdır (Onur 1996).

Toz boyutu ve toz üretim teknikleri, parçacık şeklinin değişimine neden olmaktadır (German 1984). İmalat şekline göre tozlar, Şekil 2.2’de şematik olarak gösterildiği gibi küresel veya dendritik form gibi değişik geometrik formlarda olabilmektedirler. Toz yüzeyinin düzgün veya gözenekli olması da imalat yöntemine göre farklılık göstermektedir (Çakır 2007). Şekil 2.3’de olası parçacık şekilleri ve tanımları verilmiştir.



Şekil 2.3. Olası parçacık şekilleri ve tanımları (Çakır 2007).

#### 2.4.4 Toz Üretim Yöntemleri

Toz üretim yöntemleri 4 gruba ayrılır:

- 1- Mekanik İmalat Teknikleri
- 2- Elektrolizle Üretim Teknikleri
- 3- Kimyasal Üretim Teknikleri



#### 4- Atomizasyon Teknikleri

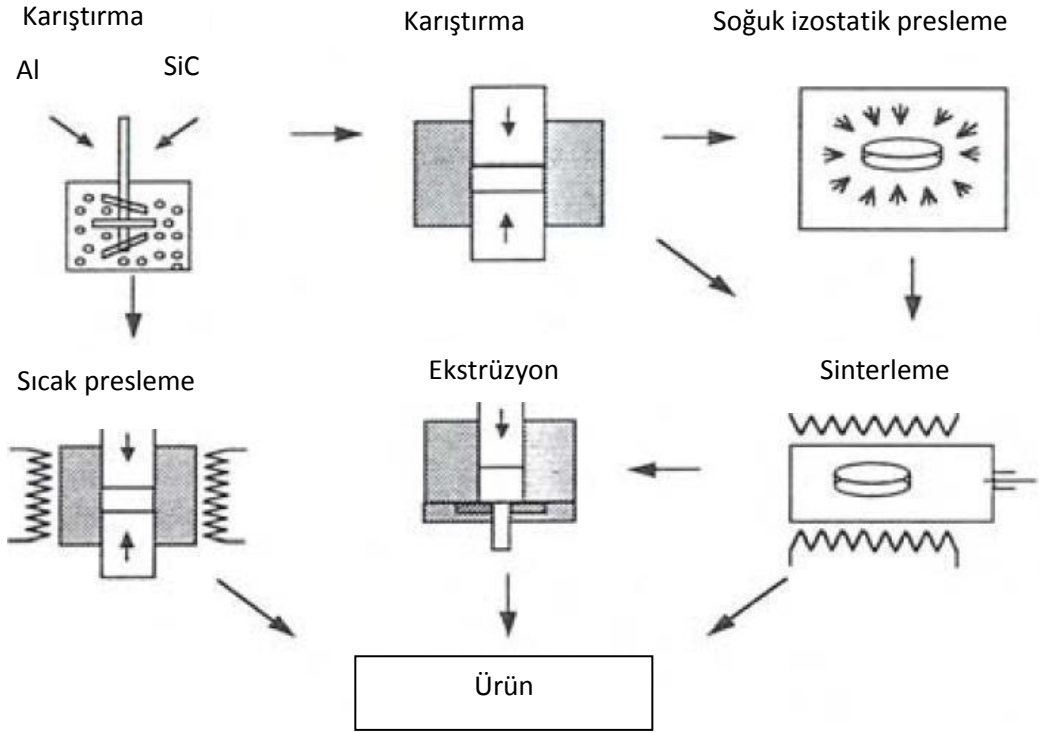
Geçmişte mekanik, kimyasal ve elektrolitik yöntemler en çok bilinen toz üretim yöntemlerindendi (Lawley 1992).Günümüzde ise sanayide kullanılan tozların yarısından fazlası atomizasyon tekniği ile üretilmektedir (Gökmeşe 2010).

#### 2.4.5 TM Temel Üretim Basamakları

İstenilen partikül büyüklüğü, şekil ve paketleme niteliklerine sahip olan toz metali güçlü, mükemmel ve yüksek özellikli bir hale getiren TM'de belli başlı aşamalar, tozun şekillendirilmesi veya sıkıştırma prosesi ve sinterleme işlemiyle tozların sıcaklık yardımıyla bir araya getirilmesidir (06.02.2017 <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.trbor.com%2Fbor-karburun-kullanim-alanlari%2F&date=2017-02-11>). Ancak TM malzemelerin imalatında çoğunlukla genel olarak yedi basamak vardır;

- Tozu hazır duruma getirme (karıştırma ve harmanlama)
- Pres işlemi
- Pişirme
- Yağ emilim işlemi ve kalibrasyon (istenirse)
- Tam yoğunluk işlemleri (toz dövme)
- Çapak alma
- İkincil işlemler

Sıkıştırma prosesi bir kalıp içinde yapılır ve meydana gelen şekil pişirme yoluyla (sinterleme) istenen dayanıma getirilir. Bu şekilde bu işlem, tozları şeklini, özelliklerini ve yapısını istenen şekle, niteliklere sahip bir parça haline getirir (Suri ve diğ. 2010). Şekil 2.4 de MMK'lerin üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.4 MMK malzemelerin TM yöntemi ile üretim aşamaları (Chen ve diğ. 2009)

## 2.5 Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum periyodik cetvelde hafif metaller grubundadır ve çok tercih edilen bir metaldir. Hafif metal terimi, yoğunluğu en fazla  $3.8 \text{ g/cm}^3$  olan metaller tanımlanmaktadır ve bu grubun içinde, alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum vardır. Sayılanların içinde bilhassa alüminyum ve magnezyum en sık tercih edilen metallerdir. Alüminyumun, yoğunluğunun az olmasıyla ( $2.7 \text{ g/cm}^3$ ) birlikte, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek oluşu, atmosfer korozyonuna dayanıklılık, basit üretilebilirlik gibi nitelikleri vardır (Shi-Gang ve diğ. 2009)

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme olarak iki sınıfta gruplandırılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları, Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi, Alüminyum Birliği'nin (Aluminum Association) gruplandırmasına göre 4 rakamlı bir simgeyle gösterilmektedir. Bunlardan ilk rakam bileşikteki temel elementi, ikinci rakamsa esas alaşımdaki oranından daha farklı bir oranda bulunan element sayısını göstermektedir. Yani, ikinci rakamın 0 olması, serinin orijinal alaşımını belirtmektedir. Son iki rakamın ise 1XXX serisinin dışındaki alaşımlarda özel bir değeri olmayıp, alaşımı o dizinin diğer alaşımlardan ayırmak için faydalanılmaktadır.

1XXX serisi ise, saf alüminyum gösterdiğinden, son iki rakam, alüminyumun saflık derecesinin bir göstergesi olarak, % 99'dan sonraki rakamları işaret etmektedir (Yüksel ve Meran 2016).

Tablo 2.1. Alüminyum ve biçimlenebilen alüminyum alaşımlarının dört rakamlı malzeme numarası sistemi (Yüksel ve Meran 2016).

Al-Alaşım grubu	Ana alaşım elementi
Alaşımız Al ( Al $\geq$ % 99,00 )	1XXX (1000 serisi)
Alüminyum-Bakır	2XXX (2000 serisi)
Alüminyum-Mangan	3XXX (3000 serisi)
Alüminyum-Silisyum	4XXX (4000 serisi)
Alüminyum-Magnezyum	5XXX (5000 serisi)
Alüminyum-Mg+Si	6XXX (6000 serisi)
Alüminyum-Çinko	7XXX (7000 serisi)
Alüminyum-Diğerleri	8XXX (8000 serisi)
Yedek Grup	9XXX (9000 serisi)

### 2.5.1 Al Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımlarına yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi Al alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra korozyon ve elektriksel iletkenliklerini de değiştirmektedir (Askeland 2010).

Yaşlandırma ısıl işlemi üç aşamadan gerçekleşmektedir. Aşamalar ise şunlardır; çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma (çökelme) işlemidir. Aşırı doymuş katı fazdan yaşlandırma ısıl işleminden sonra mikro yapı içerisinde çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde önemli rol oynar. Mikro yapı içerisinde oluşabilecek çökelti fazı doğal (tabii) olarak gerçekleşebileceği gibi yapay (suni) olarak ta gerçekleşebilir. Genellikle Al alaşımlarına yapay yaşlandırma ısıl işlemi yapılır. Al alaşımlarına uygulanan ısıl işlemlerin kodlanması ve açıklanması Tablo 2.2'de verilmiştir (Yüksel ve Meran 2016).

Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarında temper şekilleri(TS EN 755-2:2010) (Yüksel ve Meran 2016).

<b>Temper</b>	<b>Açıklama</b>
F	Üretildiği biçimde ( hiçbir mekanik özellik sınırı belirtilmemiştir.)
0	Sıcak şekil verme işlemlerinden sonra gerekli tavlama parametrelerine ulaşan tavllanmış malzemeler 0 temper olarak gösterilir.
H111	Germe ve doğrultma gibi daha sonraki işlemler sırasında tavllanmış ve hafifçe gerinme sertleşmesine(H111'den az) uğramış.
H112	Yüksek sıcaklıkta çalışmaktan veya az miktarda germe ve doğrultma gibi soğuk şekillendirme işlemlerinden (mekanik özellik sınırları belirtilmiştir) hafifçe gerinme sertleşmesine uğramış.
T3	Katı çözeltili ısı işlemleri görmüş,soğuk şekillendirme sertleşmesine uğramış ve doğal yaşlandırılmış.
T3510	Katı çözeltili ısı işlemleri görmüş,kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış(kalıcı deformasyon %1-%3) ve doğal yaşlandırılmış.Malzemeye,germeden sonra daha fazla doğrultma uygulanmaz.
T3511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif doğrultmaya izin verilmesi dışında T3510 ile aynı.
T4	Katı çözeltili ısı işlemleri görmüş ve doğal yaşlandırılmış.
T4510	Katı çözeltili ısı işlemleri görmüş,kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış(kalıcı deformasyon %1-%3) ve doğal yaşlandırılmış.Malzemeye,germeden sonra daha fazla doğrultma uygulanmaz.
T4511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif doğrultmaya izin verilmesi dışında T4510'la aynı.
T5	Yüksek sıcaklıktaki bir şekillendirme işleminden soğutulmuş,sonra yapay yaşlandırılmış.
T6	Katı çözeltili ısı işlemleri görmüş ve yapay yaşlandırılmış.

Tablo 2.2 (devam) Alüminyum alaşımlarında temper şekilleri(TS EN 755-2:2010)  
(Yüksel ve Meran 2016).

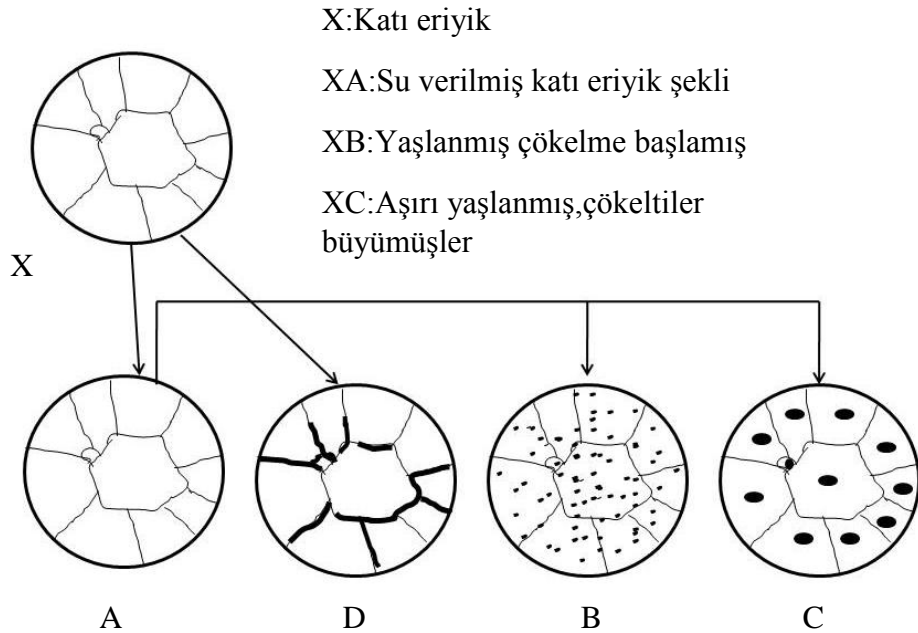
T64	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş ve sonra da şekillendirilebilirlik özelliğini iyileştirmek için eksik yaşlandırma şartlarında (T6 ile T1 arasında) yapay yaşlandırılmış.
T6510	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş,kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış(kalıcı deformasyon %1-%3) ve yapay yaşlandırılmış.Malzemeye,germeden sonra daha fazla doğrultma uygulanmaz.
T6511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif doğrultmaya izin verilmesi dışında T6510 ile aynı.
T66	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış-Mekanik özellik seviyesine özel proses kontrolüyle ulaşılan T6'dan daha yüksek (6000 serisi alaşımlar).
T7	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş ve yapay aşırı yaşlandırılmış.
T73	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş ve gerilmeli korozyon dayanımını azami değere ulaştırmak için yapay aşırı yaşlandırılmış.
T73510	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş, kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış (kalıcı deformasyon %1-%3) ve gerilmeli korozyon dayanımını azami değere ulaştırmak için yapay aşırı yaşlandırılmış. Malzemeye, germeden sonra daha fazla doğrultma uygulanmaz.
T73511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif doğrultmaya izin verilmesi dışında T73510 ile aynı.
T8	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş,soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.
T8510	Katı çözeltili ısıtıl işlemi görmüş,kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış(kalıcı deformasyon %1-%3 yapay yaşlandırılmış. Malzemeye, germeden sonra daha fazla doğrultma uygulanmaz.
T8511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif doğrultmaya izin verilmesi dışında T8510 ile aynı.

6xxx serisi Al alaşımlarının ticari karşılığı Al-Si-Mg alaşımlarıdır. Bu Al alaşımlarına en çok T6 yaşlandırma ısıtıl işlemi uygulanır. T6 yaşlandırma ısıtıl işlem

sonrası 6xxx serisi Al alaşımlarının mekanik özellikleri artmaktadır. T6 ısıtma işlemi sonrası ile çökelti fazının oluşması için ötektik altı sıcaklık olan yaklaşık 545 °C'de uzun süre çözeltiye alma, ardından su vererek aşırı doymuş katı çözeltisi oluşturma ve son olarak 150-200 °C dolaylarında yapay (suni) yaşlandırma işlemine tabi tutulurlar. Çözeltiye alma esnasında, magnezyum ve bir miktar silisyum çözünerek homojen bir katı çözelti meydana getirir. Yaşlandırma ise, magnezyum ve silisyum alüminyum dendritleri içinde  $Mg_2Si$  şeklinde çökmesine neden olur (Demir 2008).

### 2.5.2 Yaşlanma

Aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklığın yardımıyla yeni bir fazın oluşması işlemine endüstride “yaşlanma olayı” denir. Bu işlemde dikkat edilmesi gereken nokta, oluşturulan ikili fazın (üçlü ve daha fazla olabilir),  $\beta$  biçiminde değil de  $\beta$  fazının  $\alpha$  fazı içerisinde sıkıştırılarak oluşturulması gerektiğidir. Bu durum ise katı-hal tepkimeleri aracılığıyla meydana gelebilir. Esasında yaşlanma olayı da bir katı-hal tepkimesidir. Yaşlanma olayı yapılabilen alaşımlarda olumlu olarak birçok mekanik nitelik değişimleri meydana gelir. Şekil 2.5’de yaşlanma kademeleri gösterilmektedir (Dennis 1987).



Şekil 2.5. Yaşlanma kademeleri (Dennis 1987).

Yaşlanma olayı ile malzemeyi sertleştirmek için önce katı eriyiğe alma işlemi gerçekleştirilir. Sonra aşırı katı eriyik eldesi için alaşıma su verme işlemi uygulanır. Su verme prosesi genel olarak çökeltme süratının aşırı yavaş gerçekleştiği bir sıcaklıkta uygulanır. Su verme işleminden sonra çökeltmenin zamana çok yayılmasını önlemek için alaşım ortalama bir sıcaklık derecesine getirilir. Şekil 2.5’de XA ve XB aşamaları yaşlanarak sertleşmeyi işaret etmektedir. Ayrıntılı incelemeler yaşlanma sertleşmesini şöyle anlatmaktadır: Aşırı doymuş atomlar belirli kristal yüzeyleri takip ederek toplanmaya meyillidirler. Örneğin Al-Cu katı eriyiğinde Cu atomlarının toplanması (eriyen atomlar) diğer yandan bakır derişiminin azalmasına yol açar, daha az aşırı doymuş ve dolayısıyla daha istikarlı bir kristal yapısı meydana getirir. Bu haldeki Cu atomları henüz belirgin bir faz oluşturmamışlardır, sınırın iki yanındaki iki oluşum arasında atom bağlanmaları oluşur. Dislokasyon hareketinin bu düzensiz alanlardan geçmesi kolay değildir. Bu yüzden metal sert bir hal alır ve gerilmeler altında deformasyona daha mukavim bir hal alır. Bölgesel olarak toplama prosesi uzun zaman devam ettiği takdirde gerçek bir çökeltme ve aşırı yaşlanma veya yumuşama meydana gelir (Dennis 1987), (Tekin 1984).

### 2.5.3 Alüminyum 6xxx Serisi

$Mg_2Si$  intermetalik bileşikler çökeltinin sertleştirilmesiyle dayanıklılığı artar. En çok tercih edilen alaşım 6061 alaşımıdır ve bu alaşım % 1 Mg, % 0.6 Si ve % 0.3 Cu içermektedir. 6061-T6 alaşımının çekme dayanımı 290 MPa dır. Bu seri otomotiv endüstrisinde genel amaçlı yapı malzemesi şeklinde yararlanılmaktadır (Wessel 2004), (Tufan 2011).

Alüminyum 6XXX alaşımlarda, belirli oranlarda magnezyum ve silisyum olması nedeniyle  $Mg_2Si$  çökeltisi oluşur. Yüksek oranda dayanım ve korozyon direncine sahiptir. AA 6061 alaşımı ise, düşük karbon çelikleri ile karşılaştırılabilir akma dayanımına sahip, en sık kullanılan alaşımlardan birisidir (Kaufman 1998).

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; toz metalürjisinde sıcak presleme yöntemi uygulanarak AA6061 matrisli  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretilmesinde matris olarak  $<150 \mu m$  parçacık boyutunda ve %99,0 saflıkta AA6061 alaşım tozu kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ise  $<10 \mu m$  parçacık boyutunda ve  $Al_2O_3$  seramik tozu kullanılmıştır. Bu malzemelere ait özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir. Çalışmada AA6061 matris içerisine ağırlıkça % farklı oranlarda (%0-5-10-15-20)  $Al_2O_3$  seramik parçacık katılarak malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.2). Kompozit malzemelerin üretim metodunda üç farklı tür üretim gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki  $450 \text{ }^\circ C$ ’de 100 MPa basınç altında preslendikten sonra T6 yaşlandırma ısıl işlemi yapılan kompozit malzemelerdir. İkincisi  $450 \text{ }^\circ C$ ’de 200 MPa basınç altında preslendikten sonra T6 yaşlandırma ısıl işlemi yapılan malzemelerdir. Üçüncüsü ise sonra T6 yaşlandırma ısıl işlemi yapılmayan yani F (imal edildiği şekilde) grubu kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemelerin üretim şartlarına bağlı olarak hazırlanan veriler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kompozitlerin üretiminde kullanılan matris ve takviye tozları

Özellikler	AA6061	Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ )
Parçacık boyutu ( $\mu m$ )	$<150$	$<10$
Parçacık şekli	Düzensiz	Köşeli
Ergime sıcaklığı [ $^\circ C$ ]	582-652	2070
Yoğunluk [ $g/cm^3$ ]	2,70	3,95

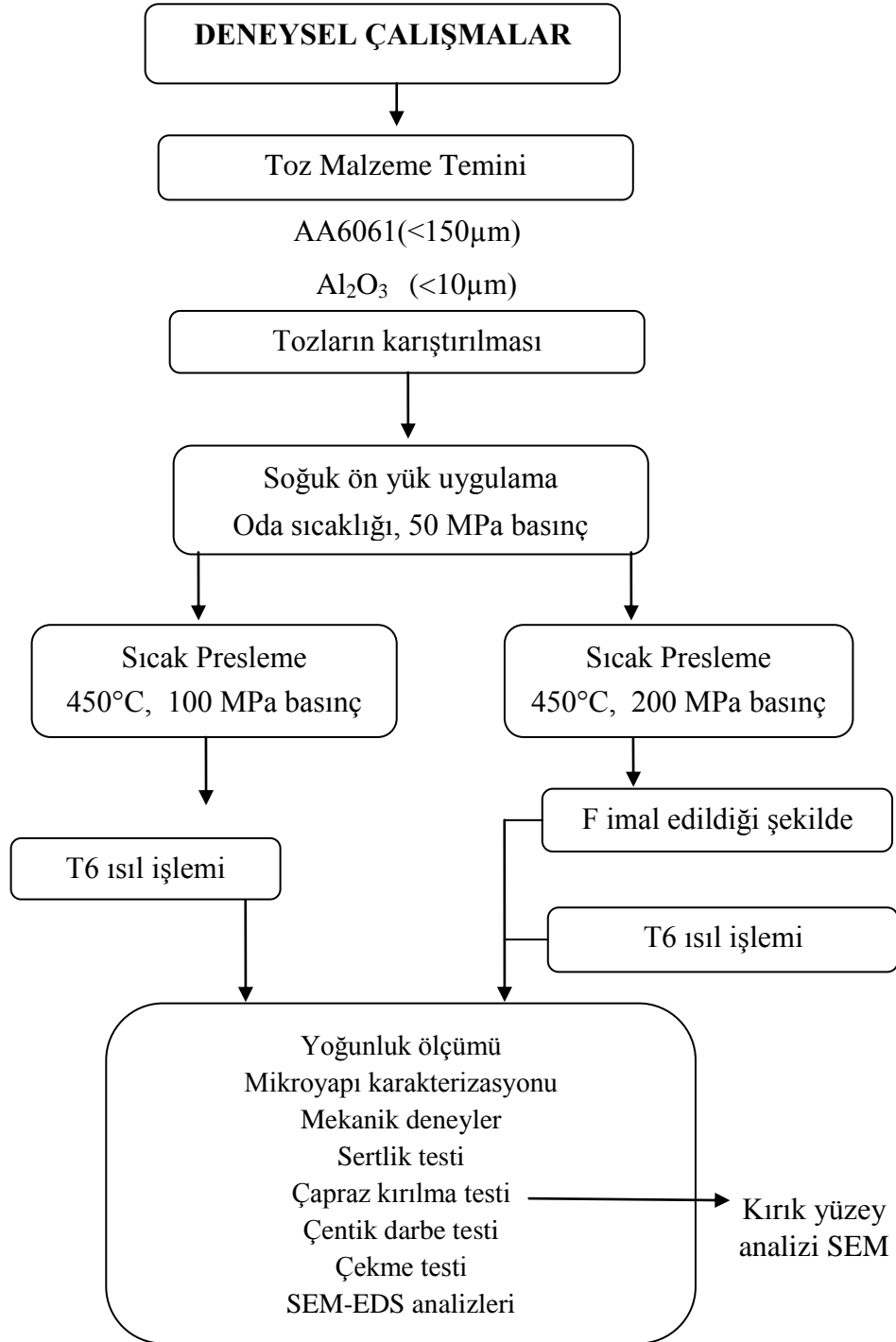


Tablo 3.2. Kompozitlerin üretiminde kullanılan matris ve takviye oranları

Üretildiği grup	Malzeme adı	Matris malzemesi AA6061 (ağırlıkça %)	Takviye elemanı Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) (ağırlıkça %)	Üretim metodu Sıcak presleme
1.grup	AA6061	100	---	450 °C - 100 MPa - T6 ısıl işlem
	%5 $Al_2O_3$	95	5	
	%10 $Al_2O_3$	90	10	
	%15 $Al_2O_3$	85	15	
	%20 $Al_2O_3$	80	20	
2.grup	AA6061	100	---	450 °C - 200 MPa - T6 ısıl işlem
	%5 $Al_2O_3$	95	5	
	%10 $Al_2O_3$	90	10	
	%15 $Al_2O_3$	85	15	
	%20 $Al_2O_3$	80	20	
3.grup	AA6061	100	---	450 °C - 200 MPa - F imal edildiği gibi
	%5 $Al_2O_3$	95	5	
	%10 $Al_2O_3$	90	10	
	%15 $Al_2O_3$	85	15	
	%20 $Al_2O_3$	80	20	

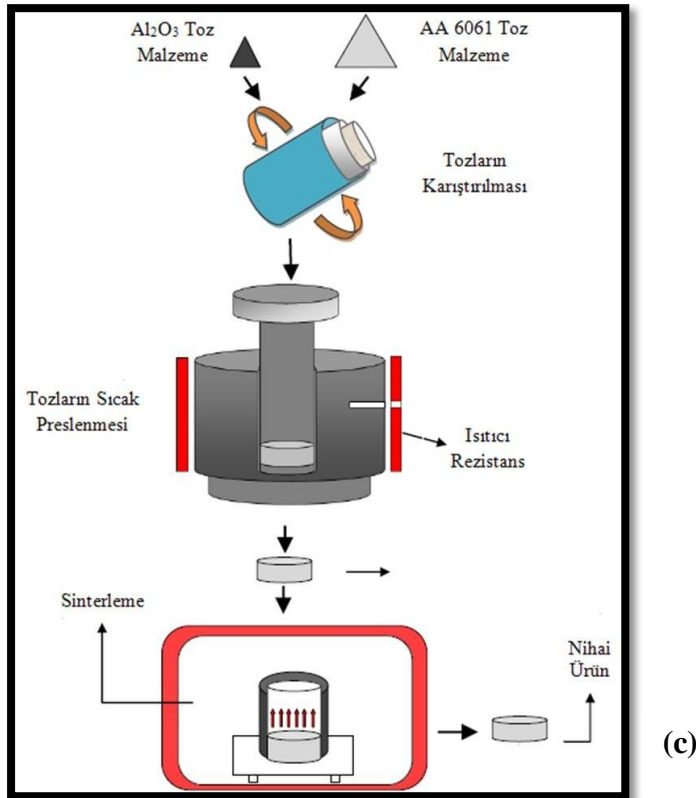
Kompozit malzemelerin üretimi Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında sırası ile ilk olarak AA6061 ve  $Al_2O_3$  toz malzemeler temin edilmiştir. Elde edilen bu toz malzemeler kullanılarak sıcak presleme yöntemi ile metal matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretimde 3 boyutlu karıştırma, soğuk ön yük

uygulama ve sıcak presleme işlemleri takip edilmiştir. Sıcak presleme sonrası elde edilen numuneler “F” imal edildiği şekilde (ısıl işlem uygulanmamış) kullanılırken bir kısmına da T6 yaşlandırma ısıl işlemi yapılmıştır. Isıl işlem sonrası kompozit malzemeler karakterize edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümü, mikro yapı incelemesi, mekanik özellikleri (sertlik testi, çapraz kırılma testi, çentik darbe testi ve çekme testi) SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Çalışmanın deneysel aşamasını içeren akış şeması Şekil 3.1’de verildiği gibidir.



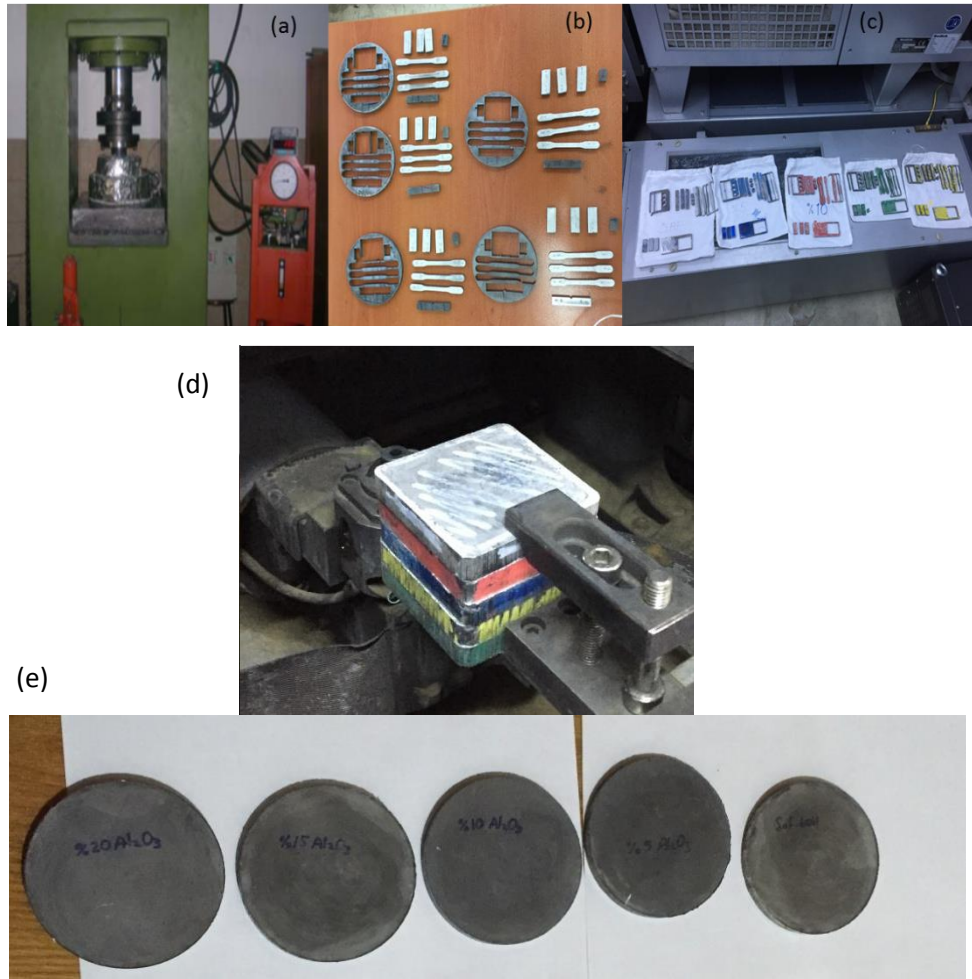
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda yapılan işlemlerin akış sırası

AA6061 tozları ile ağırlıkça %0-5-10-15-20 oranlarında  $Al_2O_3$  tozları 0,1 mg hassasiyetindeki Precisa marka hassas terazi kullanılarak tartılmıştır (Şekil 3.2a). Tartılan tozlar plastik bir kap içerisine konulduktan sonra Turbola marka T2 F tipi üç boyutlu karıştırıcıda 30 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3.2b).



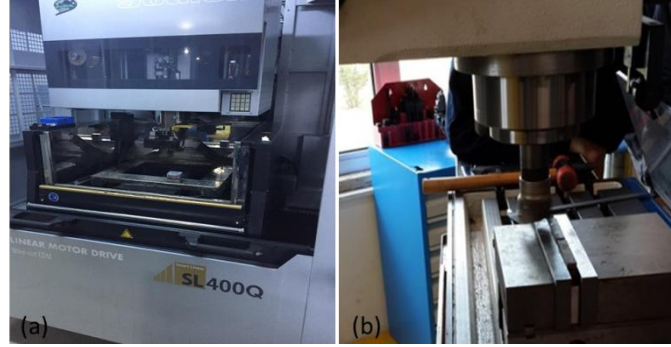
Şekil 3.2. Karışım tozların tartılmasında kullanılan mikro terazi (a), karışım tozların homojen olarak karıştırılmasında kullanılan Turbola marka 3 boyutlu karıştırıcı (b), Sıcak presleme yöntemi ile AA 6061 matrisli  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit üretimi (c) (Karakoç 2012).

Karışım tozlar Gazi Üniversitesi TM laboratuvarında bulunan 260 ton presleme kapasitesine sahip hidrolik preste gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3a). AA6061/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışım tozlar 100 ve 200 MPa olmak üzere iki farklı basınçta preslenmiştir. Presleme işlemi özel olarak tasarlanmış sıcak presleme ünitesinde 100-200 MPa basınç altında 30 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. 100 MPa basınç altında üretilen sıcak presleme numuneleri için tam çapı 100 mm olan sıcak presleme kalıbı kullanılmıştır. Sıcak presleme sonrası tam çap 100 mm kalınlığı 12 mm olan numuneler üretilmiştir(Şekil 3.3b,e). 200 MPa basınç altında üretilen numune ebatları ise 90x40x10 mm ebatlarında numunelerdir(Şekil 3.3c,d).



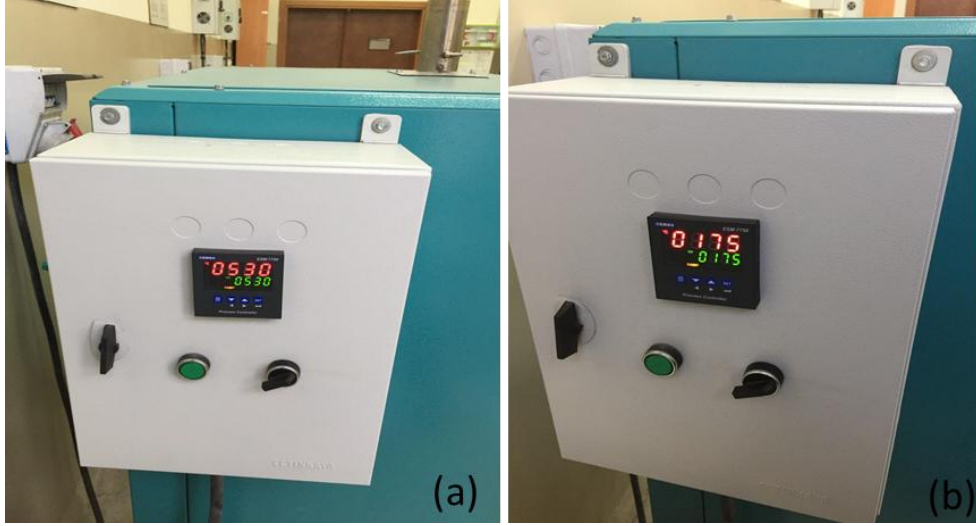
Şekil 3.3. 260 ton kapasiteli hidrolik pres ve sıcak presleme ünitesi (a), tam çapı 100 mm olan kompozitlerden alınan (b), 90x40x10 mm olan kompozitlerden alınan mekanik test numuneleri. (c) ,90x40x10 mm olan kompozitlerin kesimden önceki halleri. (d) çapı 100 mm olan kompozitlerin kesimden önceki halleri (e)

Üretilen kompozit malzemelerin içerisinde mekanik test için çekme, çapraz kırılma ve çentik darbe testi için SL 400Q ve LER VQ-75 model Tel Erozyon Makinesi (Ansal Kalıp Makine firması) ile numuneler kesilmiştir. Çekme test numuneleri “Metal Powder Industries Federation Standart Test Methods For Metal Powders And Powder Metallurgy Products – MPFI –10, 1998” standartlarına göre hazırlanmıştır. Çapraz kırılma test numuneleri “MPFI–41,1998” standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Çapraz kırılma deneyleri için 31,7x12,7x6,35mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. V-çentik Charpy deneyleri için 55x10x10mm ölçüleri için çentikli numuneler hazırlanmıştır. Aşınma için tam çap 10 mm boy 10 mm olan test numuneleri hazırlanmıştır. Tel erozyon tezgahında kesilen test numuneleri tam boyutlarına getirebilmek için yüzeylerinden frezeleme işlemi ile talaş kaldırılmıştır.



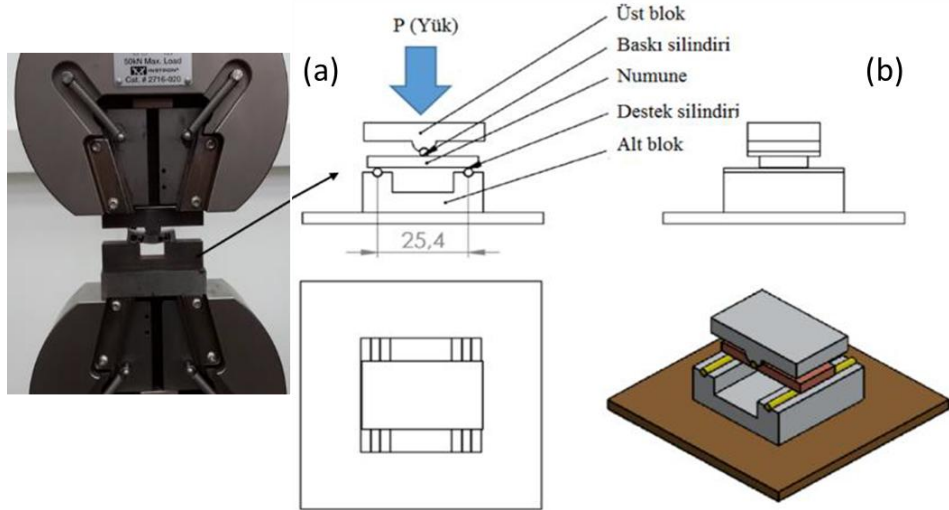
Şekil 3.4. Mekanik test numunelerin kesiminde kullanılan tel erozyon makinesi (a), Freze tezgâhı (b)

Hazırlanan mekanik test numunelerine AA6061 alaşımlarına en çok uygulanan ısıtma işlemlerinden biri olan T6 yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen yaşlandırılabilir numuneler fırın içinde 10 °C/min ısıtma hızı ile 530 °C sıcaklığa çıkartılarak 1 saat süre zarfında çözündürme ve hemen ardından su verilerek hızlı soğutma yapılmıştır. Su verilerek soğutulan numuneler 10 °C/min ısıtma hızı ile 175 °C sıcaklığa getirilerek 8 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma işlemi uygulamasında kullanılan fırın Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Yaşlandırma ısıl işlem fırını.

Şekil 3.6'da Metal Powder Industries Federation standartlarına göre hazırlanmış çapraz kırılma numune boyutları verilmiştir. Yapılan çalışmada hazırlanan test numunelerinin çapraz kırılma deneyleri Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma potansiyeline sahip üniversal test makinesinde özel olarak hazırlanan çapraz kırılma aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Bu deney grubu için 3'er adet numune kullanılmıştır. Eğme deneyleri oda sıcaklığında ve 1 mm/min hızda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Çapraz kırılma testinin şematik olarak gösterimi

Numunelerin eğilme dayanımları (MEIF\_41) standardından alınan (3.1) eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$TRS = \frac{3PL}{2t^2w} \quad (3.1)$$

Burada;

TRS: Eğilme Dayanımı (veya kırılma modülü) (MPa);

P: Kırılma esnasında numuneye uygulanan kuvvet (N);

L: Mesnet merkezleri arası mesafe (25,4 mm);

t: Numunenin kalınlığı (6,35 mm);

w: Numunenin genişliği (12,70 mm)'dir.

T6 ışıl işlem uygulanan ve uygulanmayan (F) kompozit malzemelerden EN ISO 148.01 standartlarına uygun olarak V-çentik darbe test numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler her bir deney için üçer adet olacak şekilde önce tel erozyon tezgahında kesilmiş sonra freze ile hassas olarak işlenmiştir. Darbe testleri Pamukkale Üniversitesi Malzeme Laboratuvarı Charpy test cihazında yapılmıştır (şekil 3.7). Testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.7. Charpy test cihazı

Üretilen AA6061/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit malzemelerin deneysel yoğunluk ölçümleri (gerçek yoğunluk) Arşimet prensibine göre 0,1 mg hassasiyetindeki Sartorius marka terazi kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.8). T6 ısıl işlemleri uygulanan ve T6 ısıl işlemleri uygulanmayan (F) kompozit malzemelerin yoğunluk değişimleri incelenmiştir.



Şekil 3.8. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı

$$P_{karışım} = [(\%W)_1 \times P_1] + [(\%W)_2 \times P_2] + \dots + [(\%W)_n \times P_n] \quad (3.2)$$

Gerçek yoğunluğun kompozitin teorik yoğunluğuna bölünmesi ve 100 ile çarpılmasıyla % yoğunluk değeri belirlenmektedir. % yoğunluk (3.3)'deki eşitlikle elde edilmiştir (Göde 2011).

$$P_{karışım}(\%) = [(P_{gerçek} \div P_{teorik}) \times 100] \quad (3.3)$$

Kompozit malzemelerin içerisindeki % gözenek oranları, teorik ve deneysel yoğunluk arasındaki fark oranına göre hesaplanmıştır. % gözenek oranı hesaplaması(3.4) eşitliğine göre yapılmıştır.

$$Gözenek(\%) = \frac{P_{teorik} - P_{deneysel}}{P_{teorik}} \times 100 \quad (3.4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde verilen;

$P_{karışım}$ : Toz karışımın teorik özgül ağırlığı ( $g/cm^3$ ),

$(\%W)_n$ : Her bir bileşenin karışım içindeki ağırlık yüzdesi (g),

$P_n$ : Her bir bileşenin yoğunluğu

$P_{karışım}(\%)$ : karışımın % yoğunluğu

$Gözenek(\%)$ : % gözenek oranıdır.



Daha sonra numunelerin, mikro Vickers sertlik ölçüm cihazı ile iç yapıların, Vickers sertlik ölçüm ile de yüzey (Şekil 3.9) sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik değerleri, ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarına bağlı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.9. Sertlik ölçme cihazı (vickers)

Çekme testi için, aşağıdaki resimlerde görülen numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.10 Çekme deneyi numuneleri.

Oluşan içyapıyı incelemek amacıyla önceden kesilmiş numuneler kullanılmıştır. Daha sonra bu numuneler PRESİ MECAPRESS II marka (Şekil 3.11a) Bakalite alma makinesi) makineyle bakalite (kalıp) alınmıştır.

Bakalite alınan numunelerin yüzeylerinin düzgün olması ve mikroskopik incelemelere hazırlanması için MECAPOL P230 makinesinde (Şekil 3.11b) 100, 400, 600, 800, 1000 numaralı zımpara kağıtları ile sulu olarak zımparalanmıştır. (Şekil 3.11c).Zımparalanmış olan kalıp 9 µm ve 3 µm'lik solüsyonlar ve yağlayıcı kullanılarak parlatma disklerinde parlatılmıştır. (Şekil 3.12a). Bu işleme yüzeylerdeki çizikler giderilene ve pürüzsüz bir yüzey elde edilene kadar devam edilmiştir.



Şekil 3.11. Kesilecek numuneleri bakalite alma makinesi a) Parlatma diskleri b) Bakalite alınmış hali c)



Şekil 3.12. Parlatma işleminde kullanılan solüsyonlar a) Zımparalama ve parlatma işleminin yapıldığı MECAPOL P230 Makinesi. b)



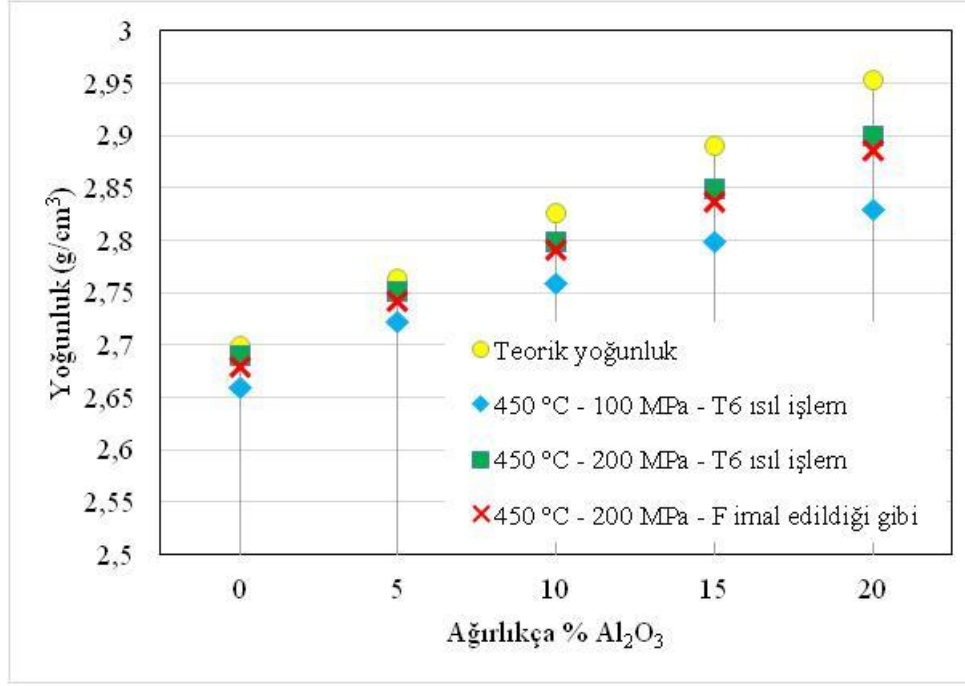
Şekil 3.13. İç yapı incelemesinde kullanılan mikroskoplar.

## 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

### 4.1 AA6061/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kompozit Malzemelerin Yoğunluk Değişimi

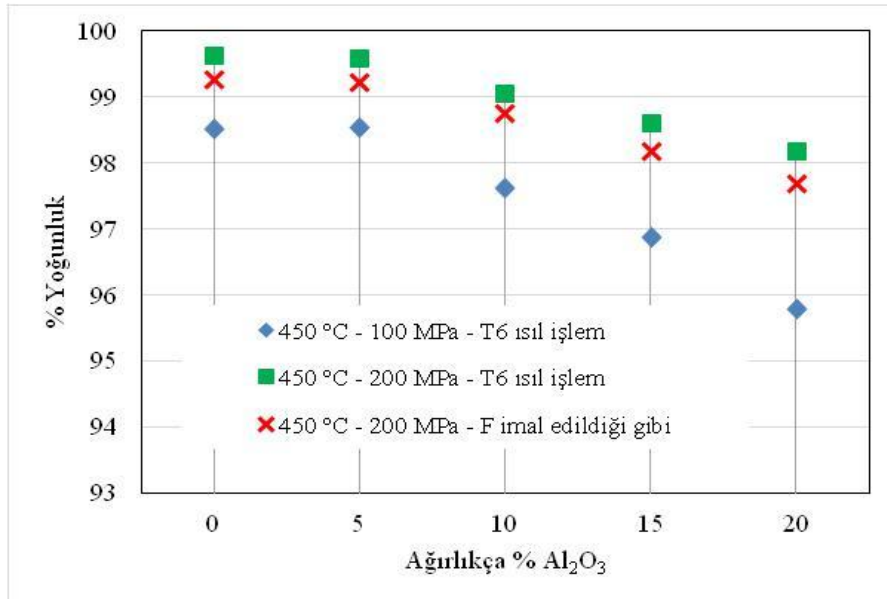
Bu çalışmada, ortalama toz tane boyutu <150 mikron altı Al6061 ve <10 mikron altı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kullanılarak ağırlıkça farklı oranlarda (% 0-5-10-15-20) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık takviyeli kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemi ile üretilmiş olup yoğunluk analizleri yapılmıştır. Kompozit malzemelerin üretiminde üç farklı üretim parametresi kullanılmıştır. Kompozitlerin teorik yoğunluk hesaplamaları karışım kuralına göre hesaplanmıştır. Deneysel (gerçek) yoğunlukları ise Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçme kitinde alınmıştır. Elde edilen teorik ve deneysel yoğunluk sonuçlarına göre de % yoğunluk ve % gözeneklilik oranları hesaplanmıştır. Kompozit malzemelerin teorik yoğunlukları, deneysel (gerçek) yoğunlukları, % yoğunluk oranları ve % gözeneklilik oranları hesaplanarak yoğunluk değişimleri detaylandırılarak analiz edilmiştir. Farklı oranlarda ve parametrelerde üretilen kompozit malzemelerin teorik ve deneysel yoğunluk değişimleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1’deki grafiği incelediğinde her üç üretim parametresinde de ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının artmasına bağlı olarak deneysel yoğunlukların azaldığı görülmektedir. Kompozit malzemelerin yoğunluğunu etkileyen en önemli parametrelerden birisi presleme basıncı ve tozların sıkıştırılabilirlik özelliğidir. Presleme basıncı ve tozların sıkıştırılabilirliği birbirini tamamlayan unsurlardır (Nas 2013). Presleme basıncının artması ile tozların sıkıştırılabilirlik oranının artması beklenir (Erden 2017). Dolayısı ile 100 MPa ve 200 MPa presleme basıncında üretilen numunelerin yoğunlukları karşılaştırdığımızda presleme basıncı yüksek olan (200 MPa) numunelerin deneysel yoğunlukları presleme basıncı düşük olan (100 MPa) numunelere göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Toz metalürjisi ile üretilen kompozit malzemelerin cinsi de sıkıştırılabilirliği etkilemektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik parçacıklarının sertliği AA6061 matris alaşımına göre oldukça yüksektir. Dolayısı ile ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttıkça tozların presleme kalıbı içerisindeki sürtünme oranları da artmaktadır ve paketleme özellikleri düşmektedir. Bu nedenle ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının artması ile deneysel yoğunluklar azalmıştır.



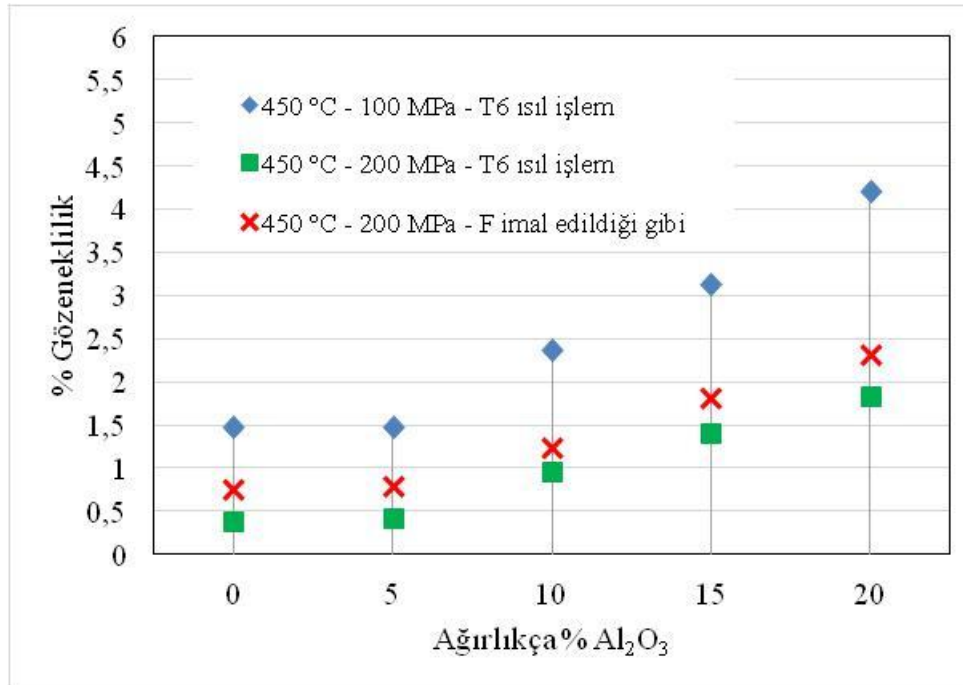
Şekil 4.1. Ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre yoğunluk değişimleri

Şekil 4.2'deki % yoğunluk grafiği incelendiğinde en yüksek % yoğunluk 450 °C'de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi olmuş takviyesiz AA6061 alaşımında %99,62 olarak bulunmuştur. En düşük % yoğunluk ise 450 °C'de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi olmuş %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerde %95,80 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2. Ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre % yoğunluk değişimleri

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerde gözeneklilik oranları malzemenin mekanik özelliğini önemli derecede etkilemektedir (Çolak 2016). Gözeneklilik oranının artması mikro yapı içerisinde porozite kalması ile (giderilememesi) oluşmaktadır. Mikroyapıda oluşan gözenekler uygulanan yük ile mikroyapı içerisinde hasarı tetikleyen unsurdur. Dolayısı ile mekanik özellikleri yorumlamak için kompozitlerin gözeneklilik oranları hesaplanarak Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde ağırlıkça %  $Al_2O_3$  oranının artmasına bağlı olarak % gözeneklilik oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Her üç üretim parametresine göre en düşük gözeneklilik oranları takviyesiz olan AA6061 alaşımlarında gerçekleşmiştir. Üretim parametrelerini karşılaştırıldığında, en düşük gözeneklilik oranları 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerde gerçekleşmiştir. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin % yoğunlukları karşılaştırıldığında AA6061,%0-5-10-15-20  $Al_2O_3$  kompozitlerde sırası ile 0,37-0,41-0,95-1,4 ve 1,8 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3. Ağırlıkça %  $Al_2O_3$  oranına göre % gözeneklilik değişimleri

## 4.2 Mikroyapı Karakterizasyonu

### 4.2.1 Optik Mikroskop Analizleri

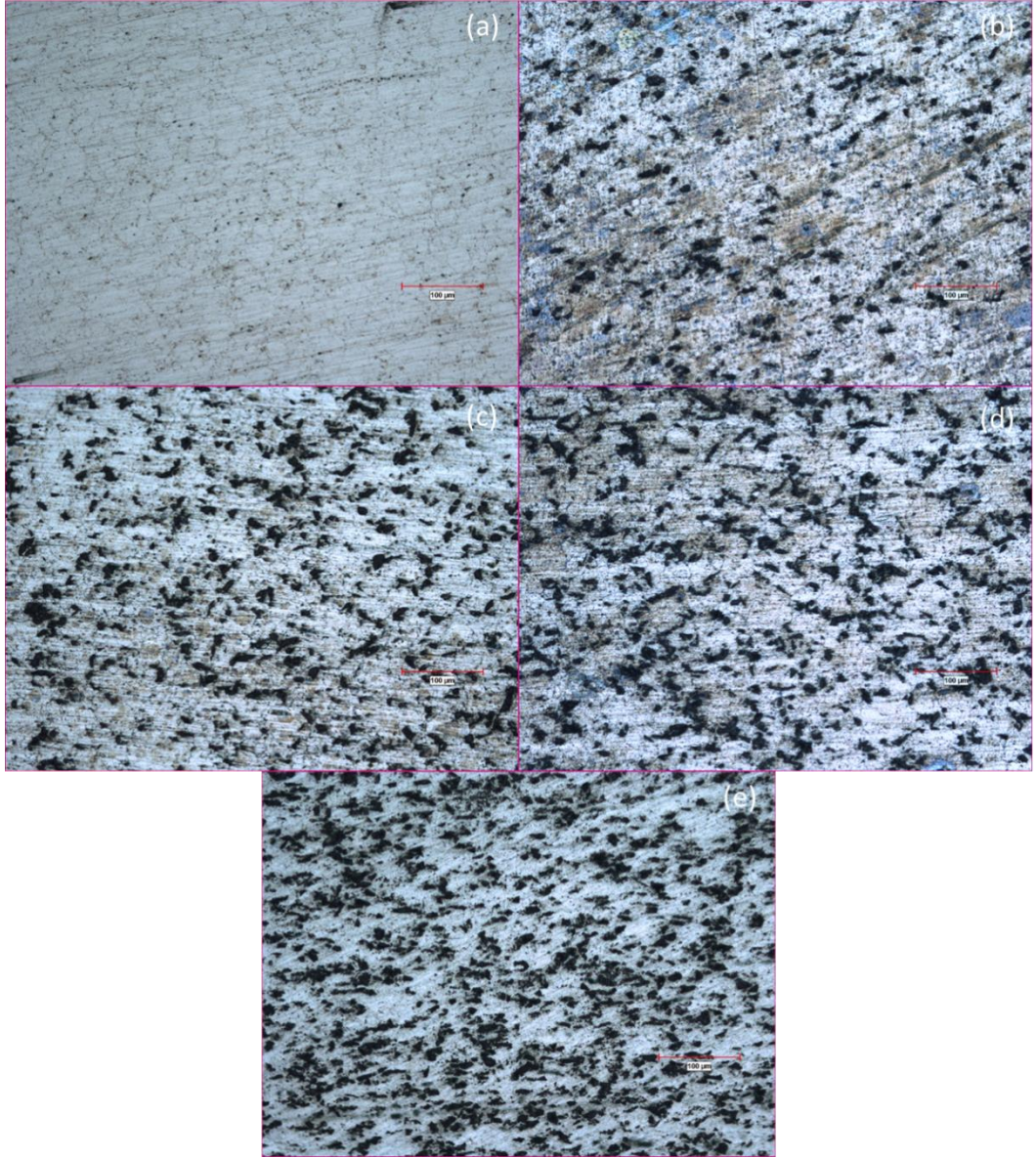
Ağırlıkça %0-5-10-15-20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık içeren kompozit malzemelerin 450 °C'de 100 MPa basınçta preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlem uygulanmış ve 450 °C'de 200 MPa basınçta preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin farklı büyütme (200x ve 500x) optik mikroskop görüntüleri alınmıştır (Şekil 4.4 - Şekil 4.5 - Şekil 4.6 - Şekil 4.7).

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de sırası ile 100 ve 200 MPa presleme basıncında olan numunelerin 200x büyütme görüntüleri incelediğimizde koyu gri olan parçacıkların Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık olduğunu açık gri renkte olan kısımların ise AA6061 alaşımı olduğu söylenebilir. Her iki görüntüde de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkların homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Bu durum toz metalurjisi yönteminin avantajları arasında yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere ağırlıkça %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkların artmasında bağlı olarak koyu gri olan bölgelerin yoğunluğu da artmaktadır.

Şekil 4.6'da 100 MPa presleme basıncında üretilen kompozit malzemelerin mikro yapısı incelendiğinde takviyesiz olan AA6061 alaşımında küçük ebatlarda mikro gözeneğe sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde mikro gözenekler ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre artış göstermiştir. Bu durumun presleme esnasında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etrafında oluşan gözeneklerin ortamdaki atılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.7'de 200 MPa presleme basıncında üretilen kompozitlerde ise mikro gözeneklerin azaldığı görülmüştür. Bu durum presleme basıncının artmasından kaynaklanmaktadır.

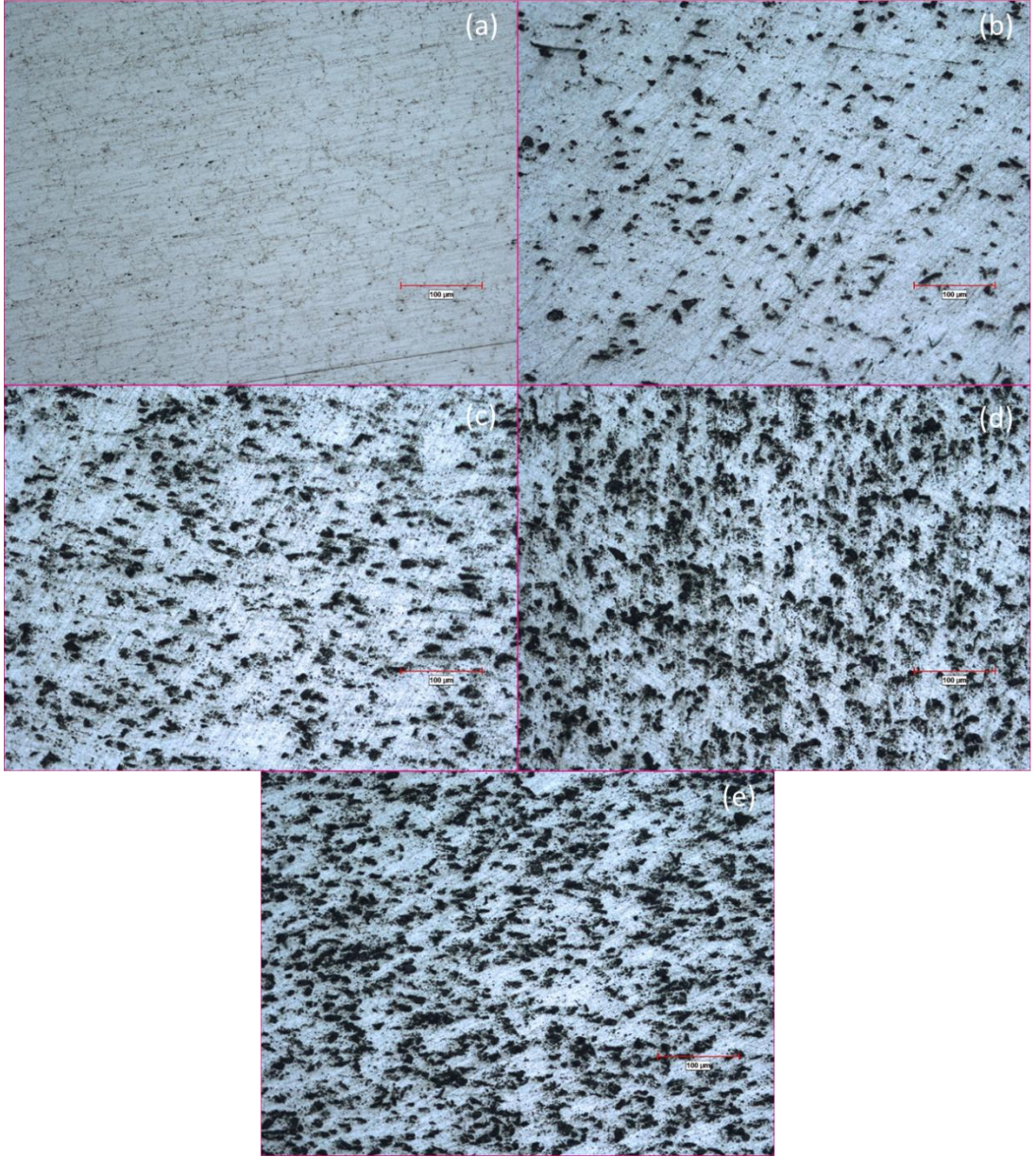
Kompozit malzemelerde seramik parçacıkların artması ile gözenek oluşumu artmaktadır. Gözenek oranının artması ile beraber de yoğunluk değerleride düşmektedir. Mikroyapı karakterizasyonunda mikro gözenekler açıkça belirli olmaktadır. Farklı bir çalışmada Ayvaz ve Çetinel (2014), TM yöntemiyle üç değişik matris (Al<sub>5</sub>Cu, Al<sub>5</sub>Mg ve Al<sub>2.5</sub>Cu.2.Mg) ve dört değişik oranda (ağırlıkça % 5, 10, 20,30) B<sub>4</sub>C takviye kullanarak kompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelerde ağırlıkça % B<sub>4</sub>C miktarının artması ile gözenekli bir mikro yapının

olduğunu gözlemlemişlerdir. Gözeneklerin artması ile beraber de % yoğunluğun azaldığını tespit etmişlerdir.

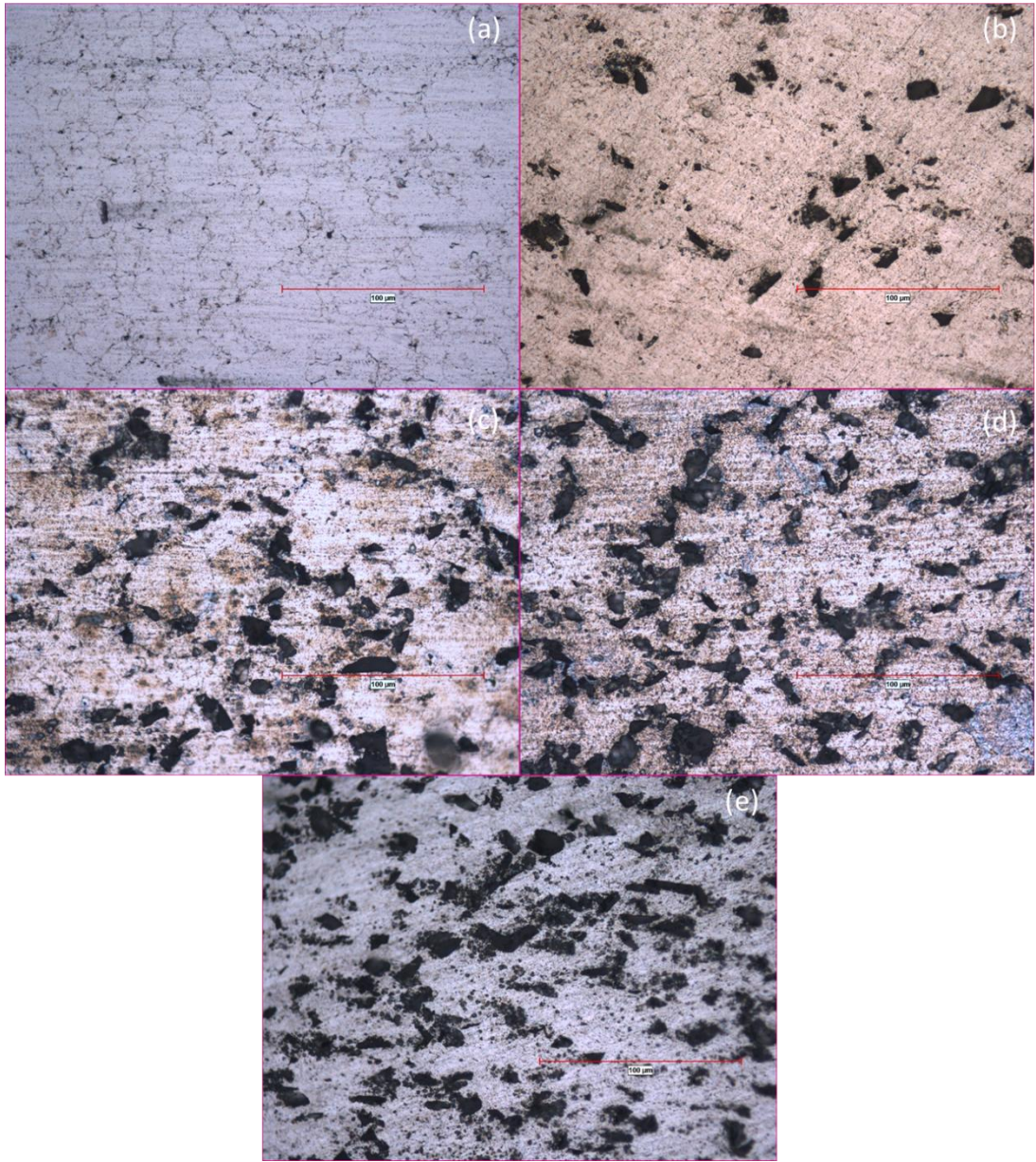


Şekil 4.4. 450 °C’de 100 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x), (a) AA6061, (b) % 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) % 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

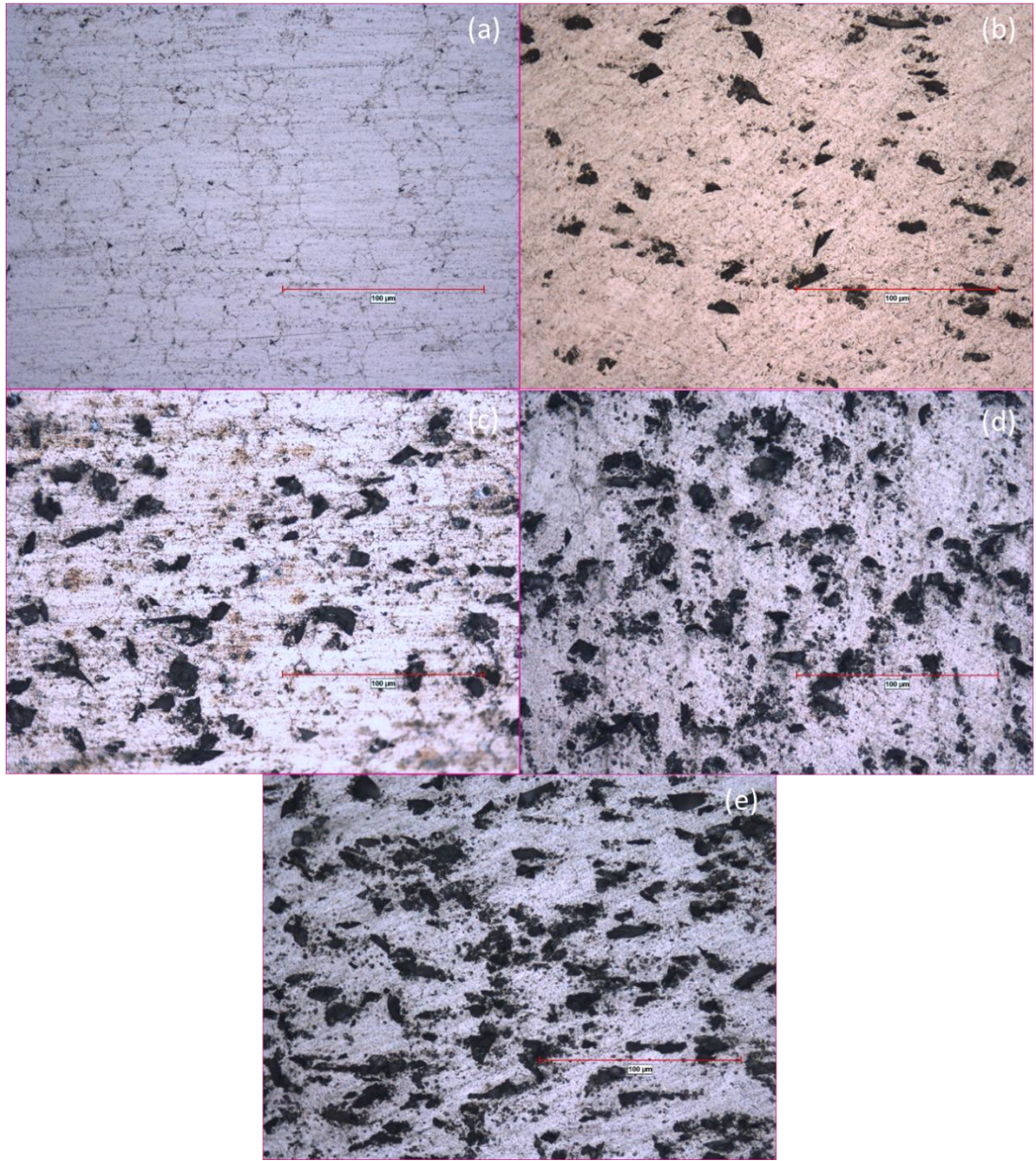




Şekil 4.5. 450 °C’de 200 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (200x), (a) AA6061, (b) % 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) % 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



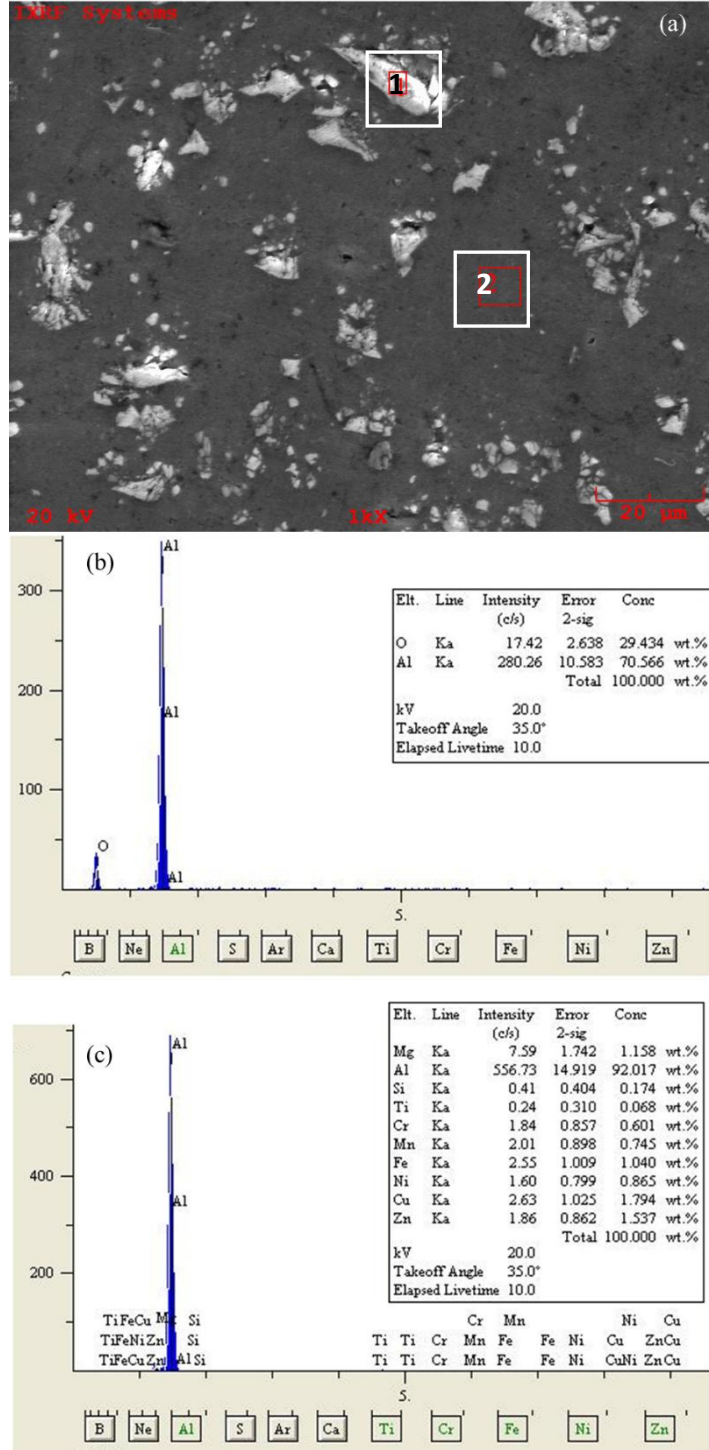
Şekil 4.6. 450 °C’de 100 MPa basınç altında 30 dakika süre ile sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (500x), (a) AA6061, (b) % 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) % 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



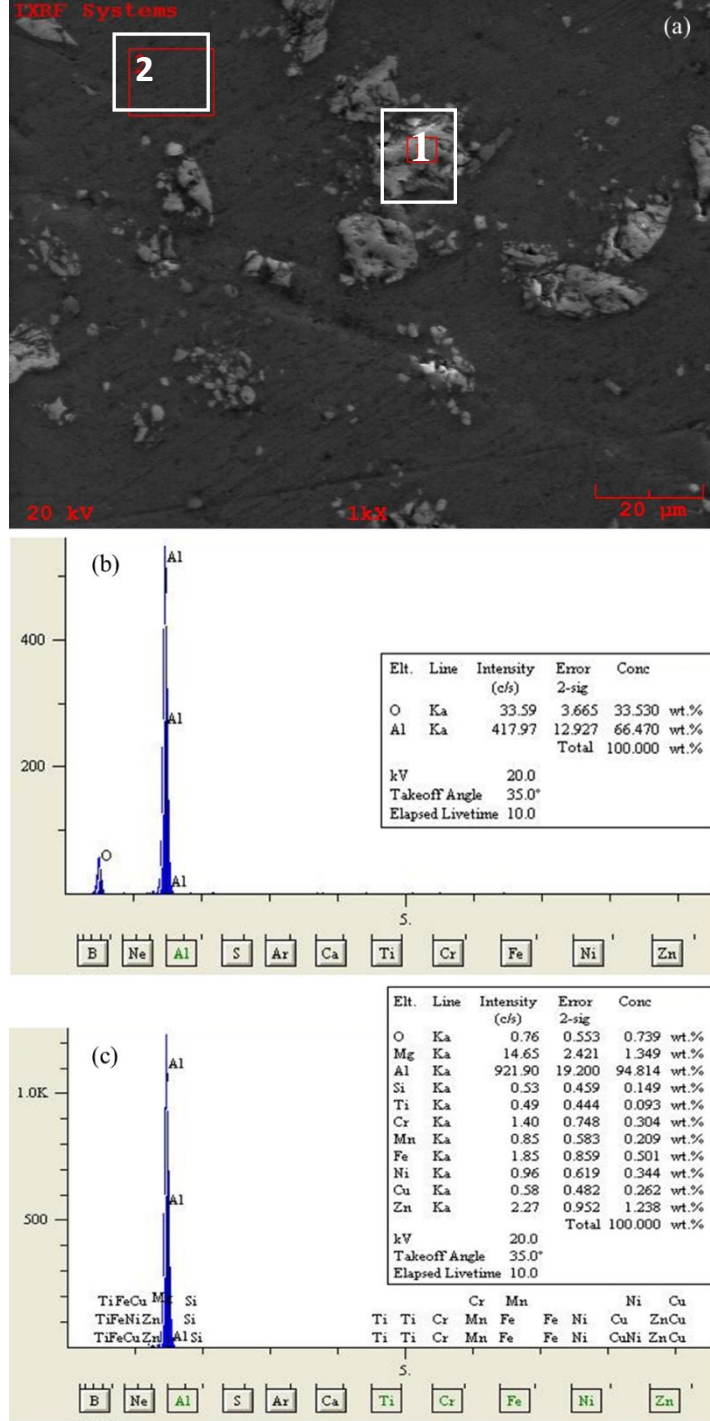
Şekil 4.7. 450 °C’de 200 MPa basınç altında 30 süre ile dakika sıcak presleme yapılan kompozit malzemelerin yaşlandırma sonrası optik mikroskop görüntüleri (500x), (a) AA6061, (b) % 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) % 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 4.2.2 SEM ve EDS analizleri

Toz metalürjisinde sıcak presleme tekniği kullanılarak üretilen AA6061 matrisli  $Al_2O_3$  parçacık takviyeli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri, EDS ve Mapping (haritalama) analizleri yapılmıştır. Şekil 4.8'de 450 °C'de 100 MPa basınçta preslenen T6 ısıl işlemi yapılmış % 10  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemeden alınan SEM görüntü ve EDS sonuçları verilmiştir. EDS analizi incelendiğinde birinci noktadan alınan pikte Alüminyum ve oksit oranının yüksek olması açık gri renkli olan bölgelerin  $Al_2O_3$  olduğunu göstermektedir. İkinci noktadan alınan pik grafiğine bakıldığında ise ağırlıkça matris fazı oluşturan Al ve alaşım elementlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4.9'da 450 °C'de 200 MPa basınçta preslenen T6 ısıl işlemi yapılmış % 10  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemeden alınan SEM görüntü ve EDS sonuçları verilmiştir. Hem Şekil 4.8'de hem de Şekil 4.9'da açık gri renkli alanlar  $Al_2O_3$  parçacıkları temsil etmektedir. EDS analizleri yapılan her iki şekil karşılaştırıldığında 100 MPa basınç altında preslenen numunenin SEM görüntüsünde  $Al_2O_3$  parçacıklarının etrafında mikro gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. Bu durum presleme kuvvetinin yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır. Presleme basıncı düşük olduğunda sert olan takviye elemanı ile sünek olan AA6061 alaşımı arasında gözeneklerin birikmesine neden olmuştur. Başka bir ifade ile matris fazı takviye elemanını saracak kadar yeterli sıkıştırma basıncına ulaşılmamıştır (Şekil 4.8). 200 MPa basınç altında preslenen numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde  $Al_2O_3$  parçacıklarının etrafındaki gözeneklerin 100 MPa'da preslenen numunelere göre azaldığı görülmektedir (Şekil 4.9).

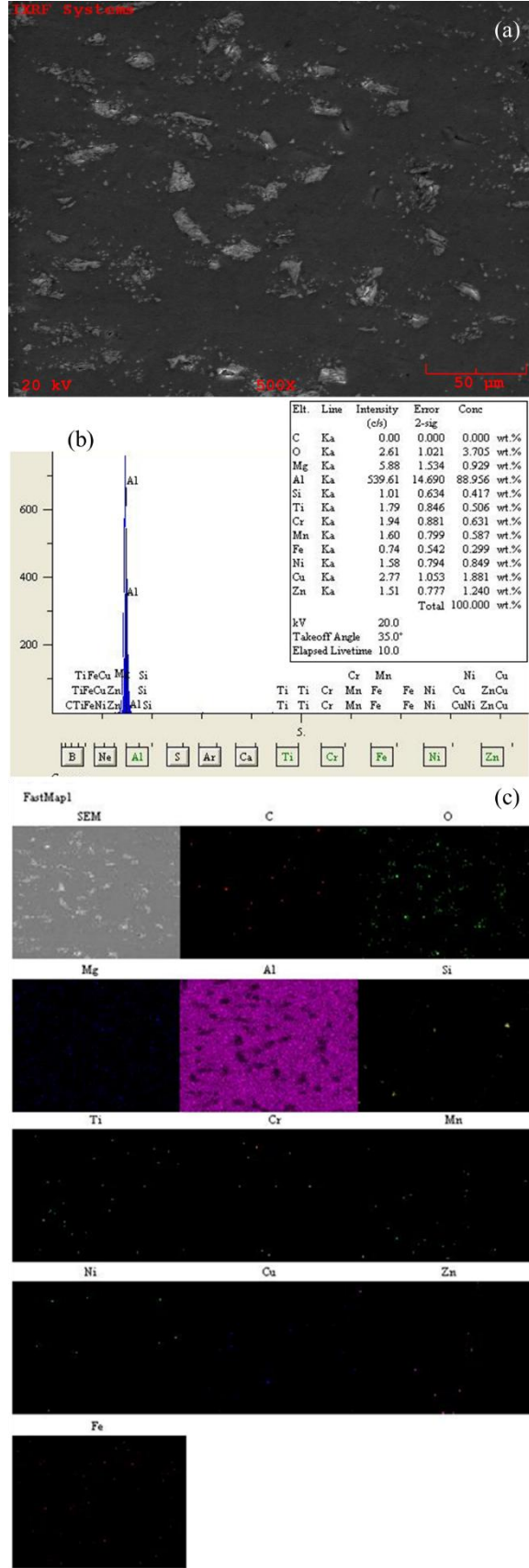


Şekil 4.8. 450 °C’de 100 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsü ve EDS analizi alınan bölgeler, (a) SEM resmi, 1. bölgenin, (b) 2. bölgenin (c) EDS analizi



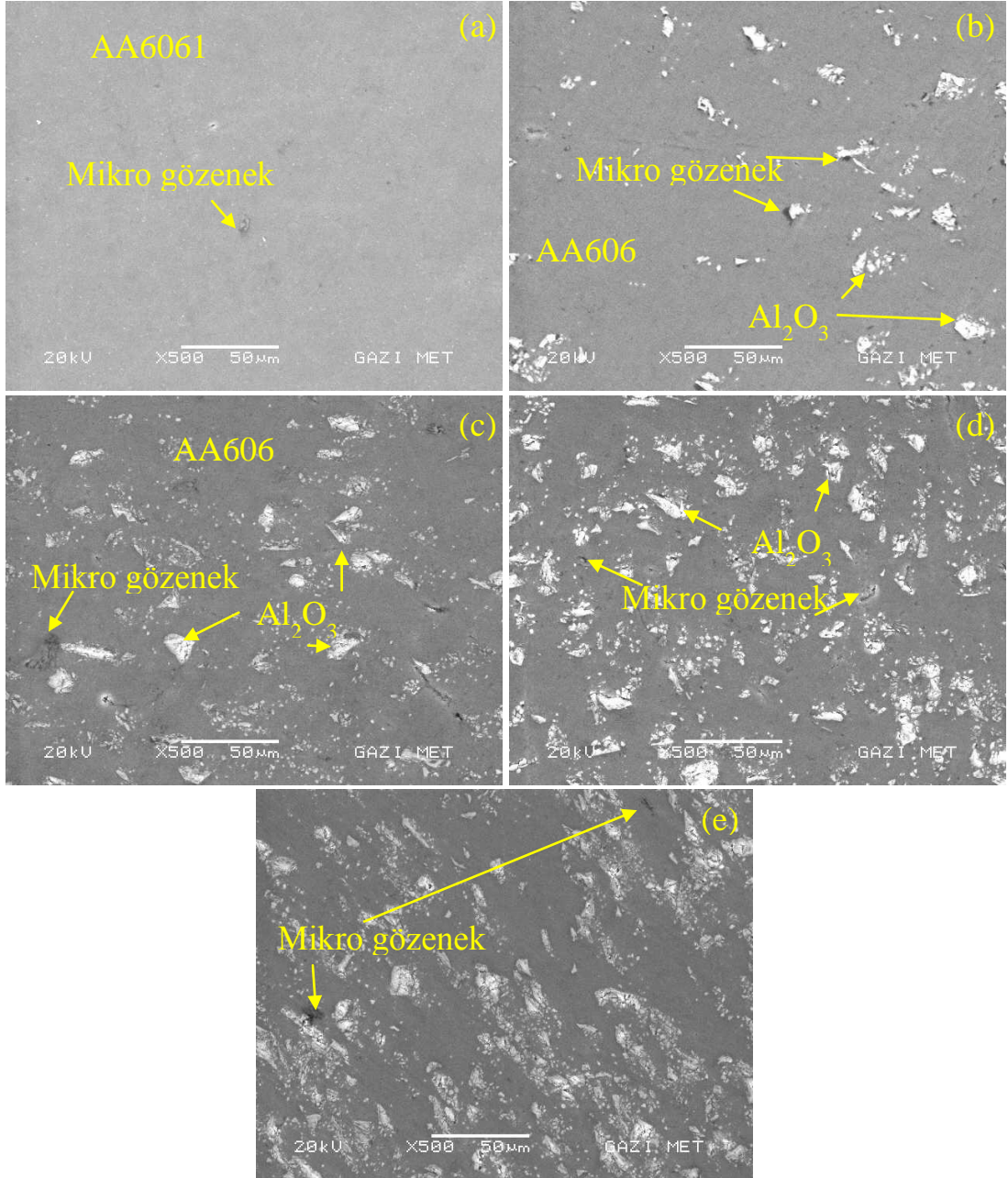
Şekil 4.9. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsü ve EDS analizi alınan bölgeler, (a) SEM resmi, 1. bölgenin, (b) 2. bölgenin (c) EDS analizi

Şekil 4.10’da 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunenin yüzeyinden alınan fast mapping görüntüleri verilmiştir. Haritalama tekniği ile alınan veriler incelendiğinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının matris fazı içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Matris fazı içerisinde bazı bölgelerde kısmen topaklaşma olduğu da görülmüştür.



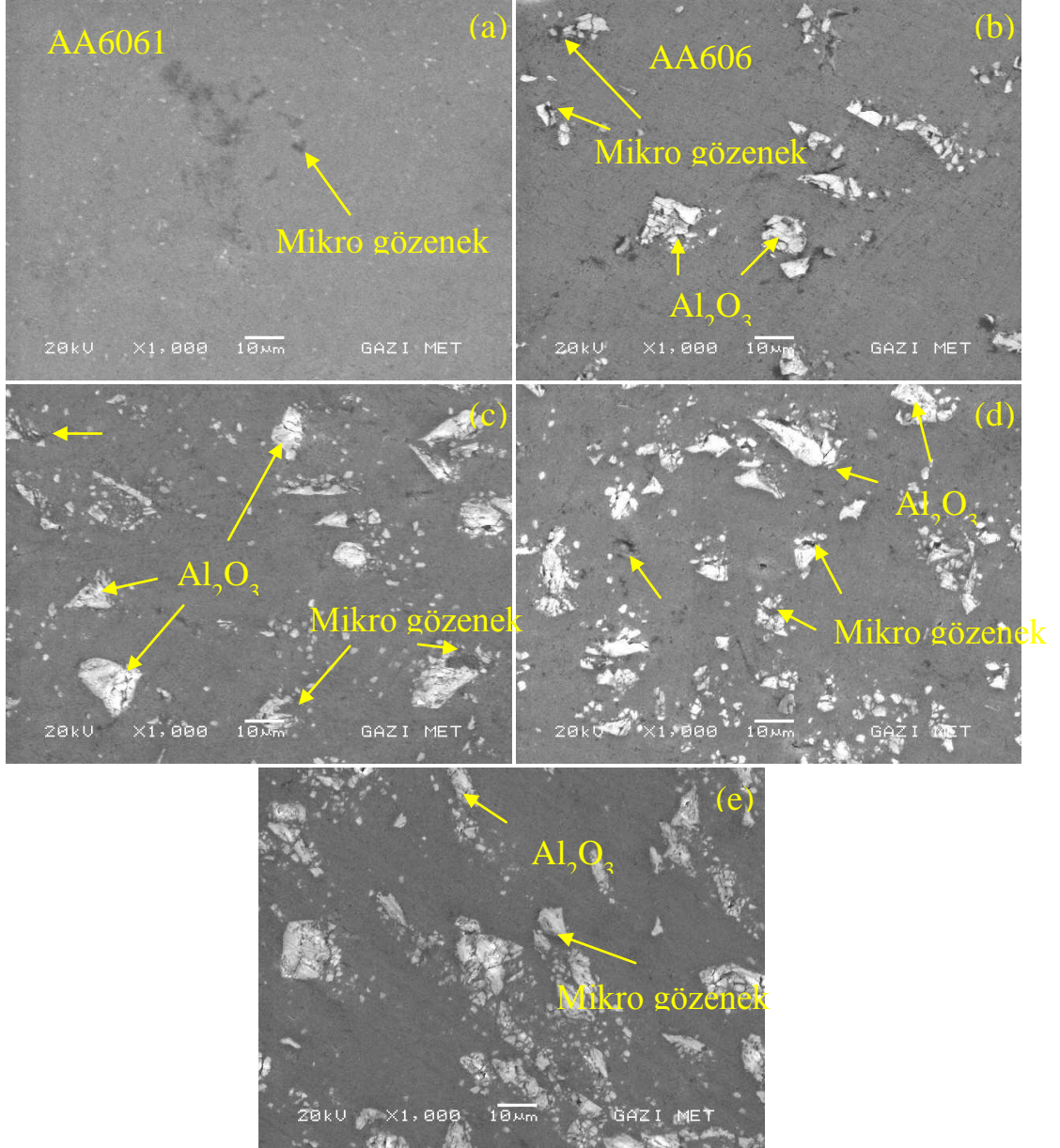
Şekil 4.10. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunenin yüzeyinden (a) SEM görüntüsü, (b) genel EDS, (c) genel haritalama görüntüsü

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de farklı büyütme oranlarında alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Şekiller genel olarak incelendiğinde  $Al_2O_3$  parçacıklarının matris fazı içerisinde homojen olarak dağılım sergilediği gözükmektedir. Ayrıca mikro gözeneklerin takviye elemanı ile matris fazı arasında çok az oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Takviye elemanının artması ile beraber bazı bölgelerde kısmen topraklaşma olduğu da gözlemlenmektedir. Bu durumun  $Al_2O_3$  toz tane boyutunun 10 mikron altına düşmesi ile kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.11. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri ( $\times 500$ ), (a) AA6061, (b) %5 $Al_2O_3$ , (c) %10  $Al_2O_3$  (d) %15  $Al_2O_3$  (e) %20  $Al_2O_3$



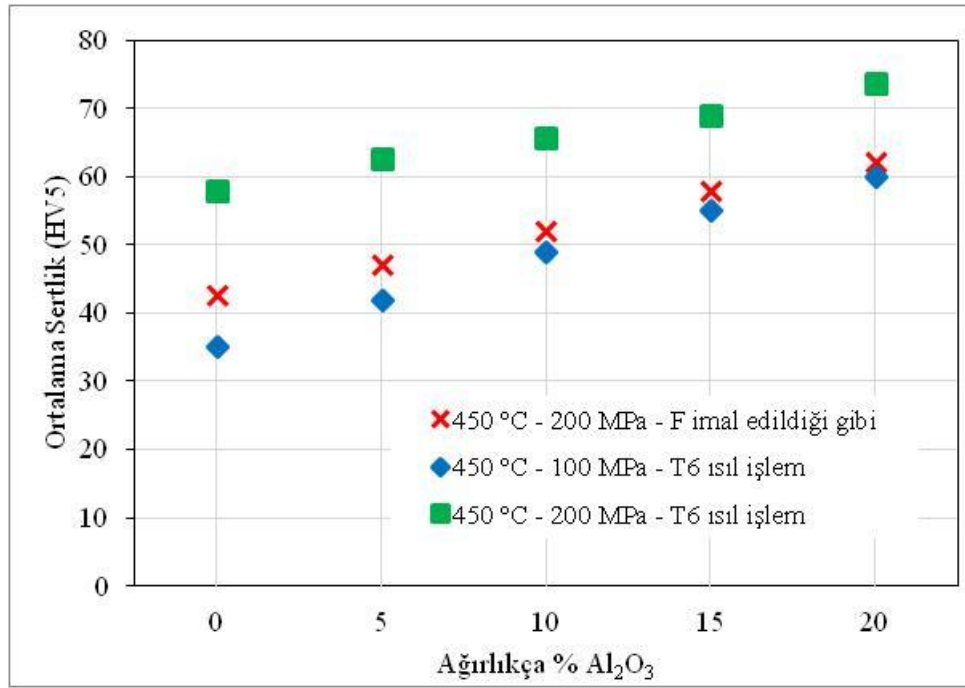


Şekil 4.12. 450 °C’de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri ( $\times 1000$ ), (a) AA6061, (b) %5  $Al_2O_3$ , (c) %10  $Al_2O_3$  (d) %15  $Al_2O_3$  (e) %20  $Al_2O_3$

### 4.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları

450 °C’de 100 MPa basınç altında preslenen kompozit malzemelere T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak üretilmiştir. 450 °C’de 100 MPa basınç altında preslenen kompozit malzemeler ise T6 ısıl işlemli ve ısıl işlemsiz (F imal edildiği gibi) olarak üretilmiştir. T6 ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış kompozit malzemelerin sertlikleri ölçülmüştür. Üretilen kompozitlerin yüzeyinden sertlikler

alınarak ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin ortalama sertlik değişim grafikleri Şekil 4.13’de verilmiştir.

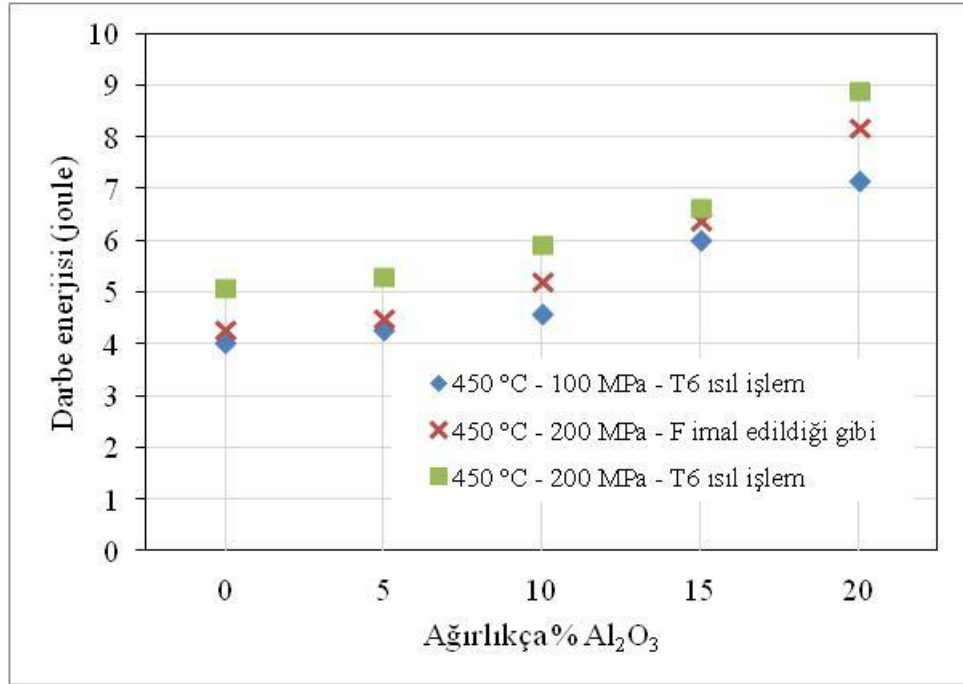


Şekil 4.13. Ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre ortalama sertlik değerleri

Şekilde görüldüğü üzere ağırlıkça Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacık miktarının artması ile beraber sertlik değerleri de artmaktadır. Üretim metodlarına göre karşılaştırıldığında en düşük sertlik değerleri 450 °C’de 100 MPa basıncı altında preslenen T6 yaşlandırma ısış işlemi uygulanmış kompozitlerde gerçekleşmiştir. Bu durum gözeneklilik oranları ile benzer sonuçlar vermiştir. En yüksek sertlik değerleri ise 450 °C’de 200 MPa basıncı altında preslenen T6 yaşlandırma ısış işlemi uygulanmış numunelerde gerçekleşmiştir. 450 °C’de 200 MPa basıncı altında preslenen numunelere T6 yaşlandırma ısış işlemi uygulandığında sertlik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Grafiğin bütününe bakıldığında en düşük sertlik değeri 450 °C’de 100 MPa basıncı altında preslenen T6 yaşlandırma ısış işlemi uygulanmış AA6061 alaşımında gerçekleşirken (35 HV), en yüksek sertlik değeri 450 °C’de 200 MPa basıncı altında preslenen T6 yaşlandırma ısış işlemi uygulanmış %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozit malzemede (73,6 HV) elde edilmiştir.

#### 4.4 Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

T6 ısıtılmış ve ısıtılmamış (F) üretilen kompozit malzemelerin çentik darbe test sonuçları Şekil 4.14’de verilmiştir. Numunelerin çarpmaya karşı sönümledikleri enerji oranlarını hesaplamak için Charpy tipi çentik darbe deneyi yapılmıştır.



Şekil 4.14. Ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre çentik darbe deney sonuçları

Şekil 4.14 incelendiğinde genel olarak tüm numunelerde ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttıkça darbe sönümlenme enerjilerinde artış gözlemlenmiştir. En yüksek darbe enerjileri 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen T6 ısıtılmış işlemi yapılmış numunelerde gözlemlenmiştir. En düşük darbe sönümlenme enerjileri ise 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen T6 ısıtılmış işlemi yapılmış numunelerde gerçekleşmiştir. En yüksek darbe enerjisi 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen T6 ısıtılmış işlemi yapılmış % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyelendirilmiş numunelerde 8,9 Joule olurken en düşük darbe enerjisi 4,0 Joule değer ile 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen T6 ısıtılmış işlemi yapılmış AA6061 numunelerde olduğu görülmüştür.

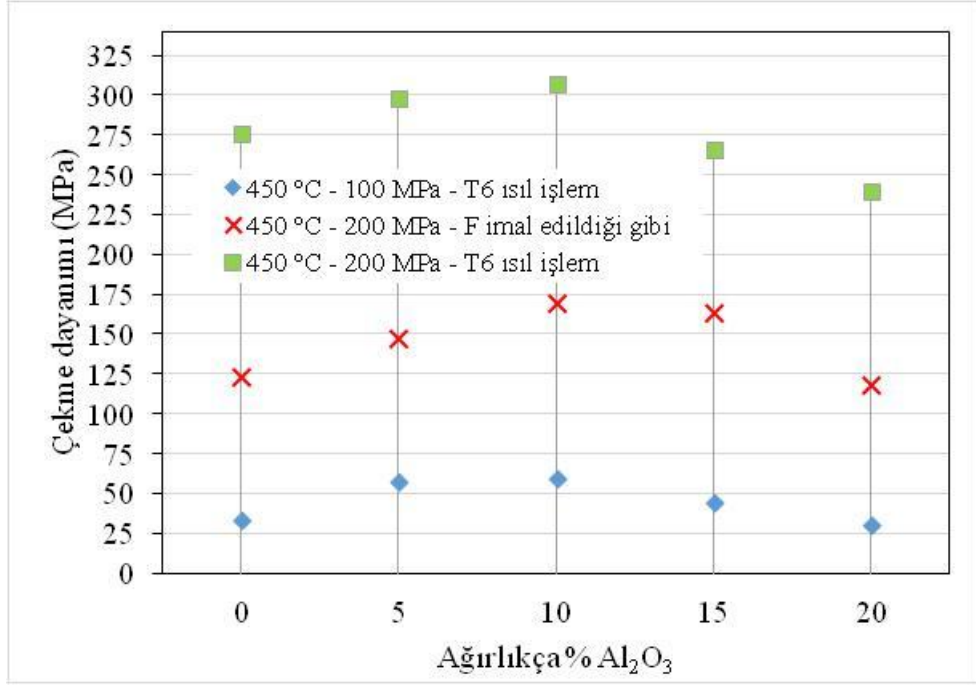
#### 4.5 Çekme Deneyi Sonuçları

Kompozit malzemelerin çekme dayanımları Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15'e göre ağırlıkça %  $Al_2O_3$  oranına bağlı olarak çekme dayanımları önce artmış sonra düşüş sergilemiştir. Genel olarak en yüksek çekme dayanımları 450 °C'de 200 MPa basınçta preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerde gözlemlenmiştir. En düşük çekme dayanımları ise 450 °C'de 100 MPa basınçta preslenen T6 ısıl işlemi uygulanmış kompozit malzemelerde gerçekleşmiştir. Tüm kompozit malzemeleri karşılaştırıldığında en yüksek çekme dayanımları ağırlıkça % 10  $Al_2O_3$  takviyeli kompozitlerde gerçekleşmiştir.

450 °C'de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulmuş kompozit malzemelerde AA6061 alaşımında çekme dayanımı 275,9 MPa'dır. Daha sonra % 5 ve % 10  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemelerde çekme dayanımı artarak sırası ile 297,8 ve 307,58 MPa'dır. Takviye miktarının artması ile beraber gözeneklilik oranı da artmıştır. Gözeneklilik oranının artması çekme dayanımını düşürmüştür. % 15 ve % 20  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzemelerde çekme dayanımları sırası ile 266,13 ve 240,27 MPa olarak bulunmuştur.

Genel olarak, en düşük çekme dayanımı 450 °C'de 100 MPa basınçta preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış AA6061 alaşımında 33,9 MPa olarak belirlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı ise 450 °C'de 200 MPa basınçta preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış % 10  $Al_2O_3$  takviyeli kompozit malzeme 307,58 MPa olarak belirlenmiştir.

100 MPa ve 200 MPa presleme basınçlarında üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımları karşılaştırıldığında presleme basıncının artması ile çekme dayanımlarının önemli oranlarda arttığı gözlemlenmiştir.



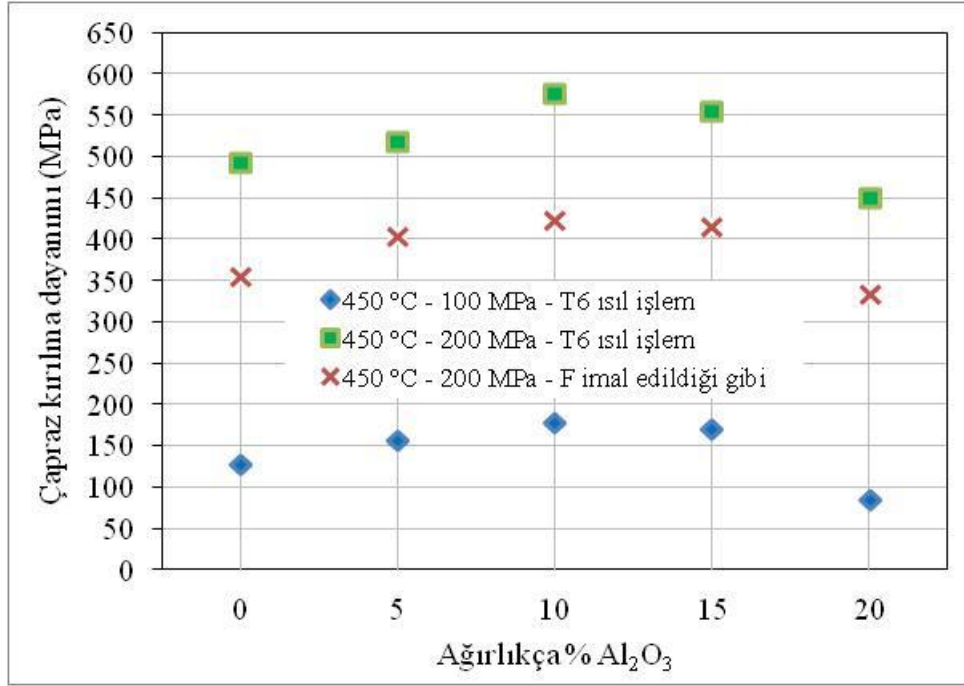
Şekil 4.15. Ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre çekme deney sonuçları

#### 4.6 Çapraz Kırılma Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışmalarda ağırlıkça % farklı oranlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik parçacıklar içeren kompozit malzemelerin çapraz kırılma deneyi yapılmıştır. Çapraz kırılma test sonrası elde edilen veriler Şekil 4.16'daki grafikte verilmiştir. 450 °C'de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıt işlemi uygulanmış kompozit malzemelerin çapraz kırılma dayanımlarına baktığımızda en düşük çapraz kırılma dayanımı takviyesiz AA6061 alaşımında 492,79 MPa olarak bulunmuştur. Çapraz kırılma dayanımı ağırlıkça % 5 ve % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozit malzemelerde sırası ile 518,691 ve 577,38 MPa değerlerine çıkmıştır. Daha sonrasında ise çapraz kırılma dayanımı sırası ile % 15 ve % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozit malzemelerde 566,04 ve 449,90 MPa değerlerine düşmüştür.

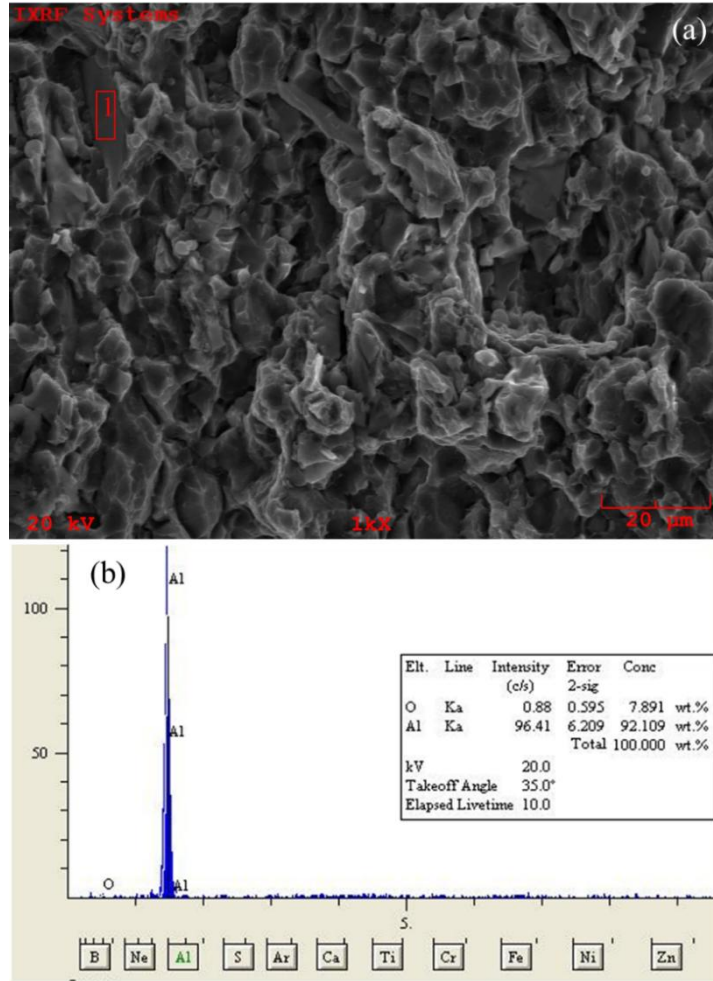
Metal matrisli kompozit malzemelerde ağırlıkça % takviye elemanının artması ile beraber gözenek oranı da artmaktadır. Gözenek oranının artması kompozitlerin çapraz kırılma dayanımlarını düşürmektedir. Kompozitlerin sıcak preslenmesinde sinterleme olayı meydana gelmektedir. Sinterlemede birbiri ile temas

eden tozlar birleşmeye başlar. Bu birleşme esnasında yapı içerisinde gözenekler kalabilmektedir.



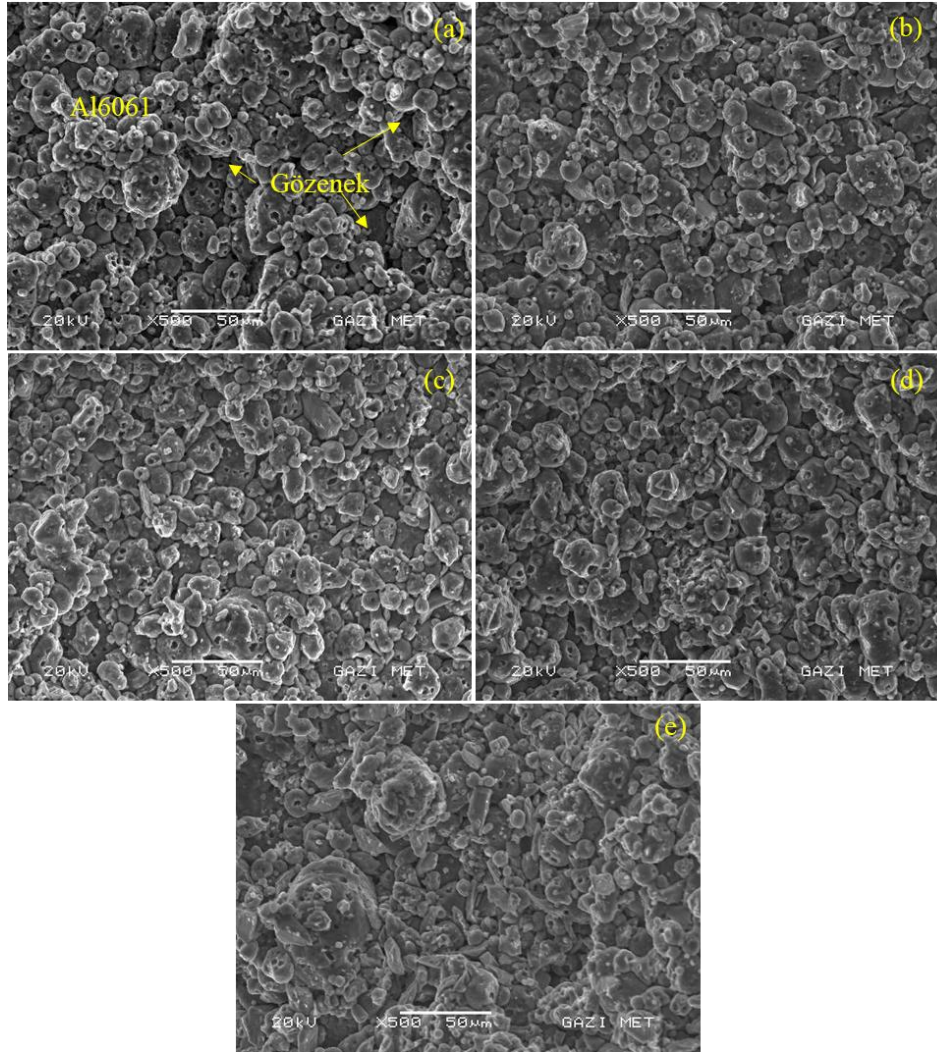
Şekil 4.16. Ağırlıkça % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına göre çapraz kırılma deney sonuçları

Çapraz kırılma test sonrası kırık yüzeylerden SEM görüntüleri alınmıştır. Kırılan yüzeylerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının tespiti için EDS analizleri de yapılmıştır. Ağırlıkça % 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren 450 °C'de 200 MPa'da preslenen T6 yaşlandırma ısıt işlemi uygulanmış kompozit malzemenin çapraz kırılma test sonrası SEM ve EDS analizleri Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekilde 1 numaralı yerden alınan EDS sonucuna göre ağırlıkça Al ve oksit oranı yüksek çıktığından 1 numaralı yerde duran gömülü parçacığın Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu anlaşılmıştır.



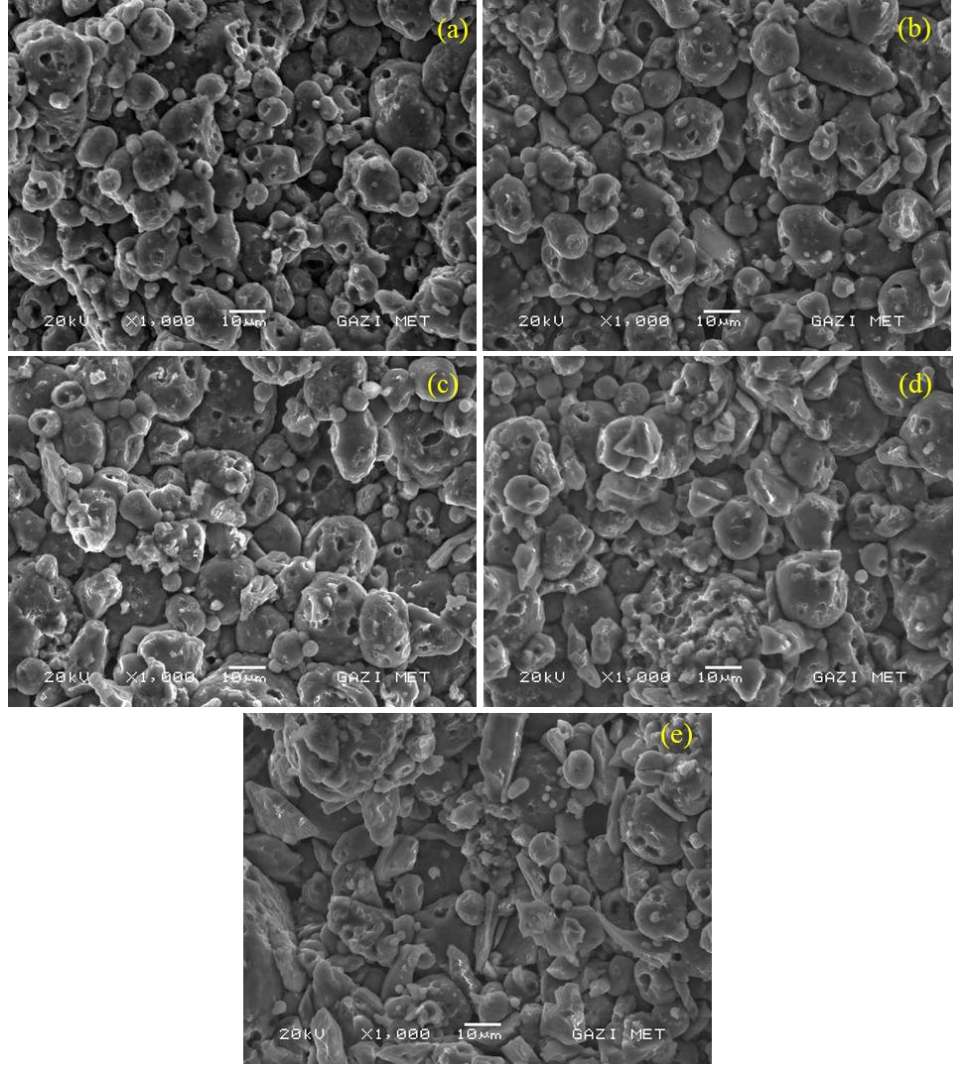
Şekil 4.17. Ağırlıkça %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren 450 °C’de 200 MPa’da preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış malzemenin çapraz kırılma test sonrası, (a) kırık yüzey SEM görüntüsü, (b) 1. bölgenin EDS analizi

450°C’de 100 ve 200 MPa basınç altında preslendikten sonra T6 yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış kompozit malzemelerin çapraz kırılma test sonrasında kırık olan yüzeylerinden farklı büyütmelerde SEM resimleri alınmıştır. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 ısıl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Kırık yüzeylere baktığımızda gözenekli bir kırık yüzeyin oluştuğu gözlemlenmiştir. Gözenekli olan bu yapı presleme basıncının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile böyle bir gözenekli yapı çapraz kırılma dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilen 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 ısıl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzeylerine incelendiğinde gözeneklerin azaldığı bir yapı gözlemlenmiştir. Bu durum birbiri ile sıkı bir şekilde temas eden tozların birleşmesinden kaynaklanmaktadır.

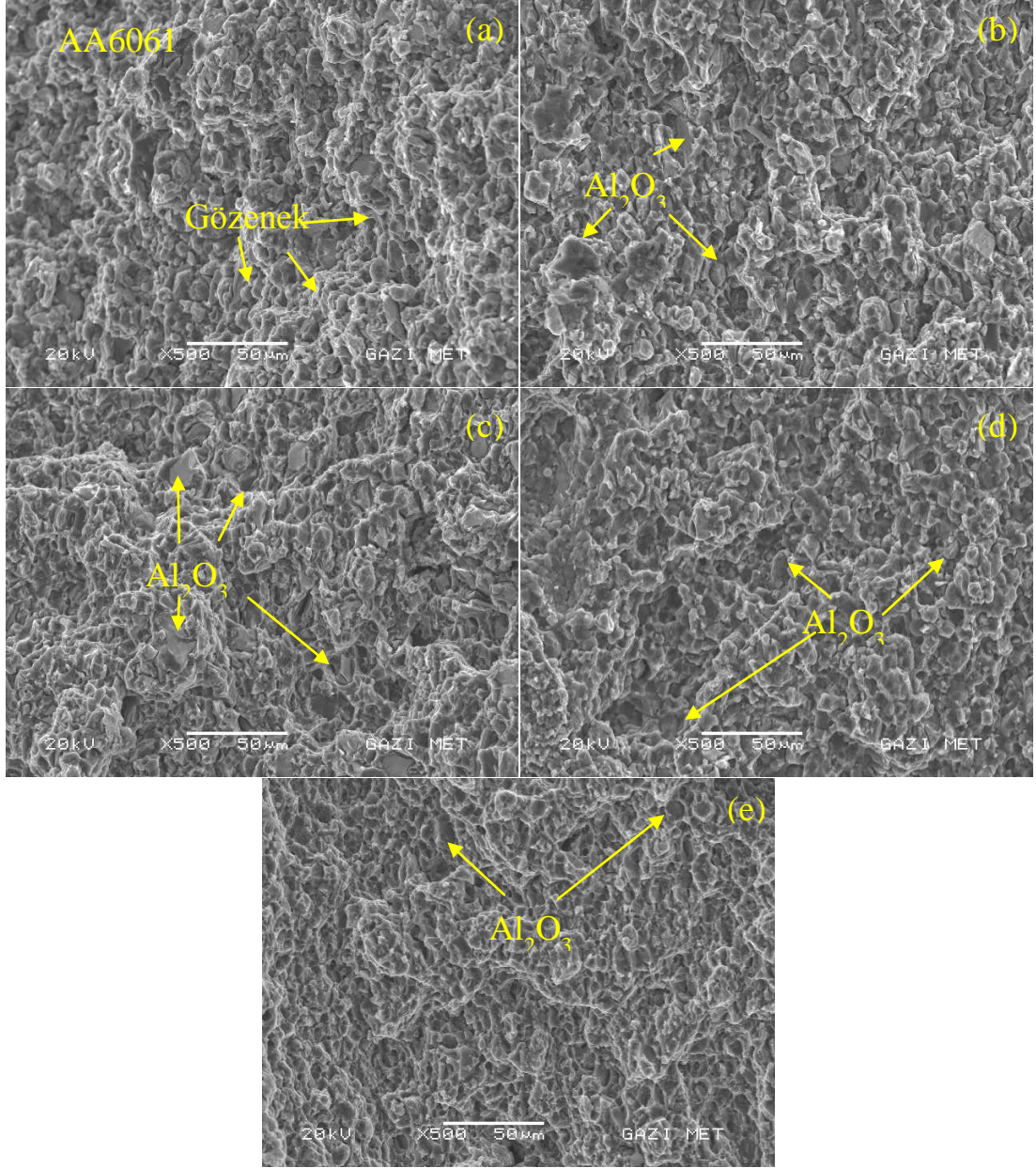


Şekil 4.18. 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 ısıl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (c) %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d) %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (e) %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (X500) büyütme

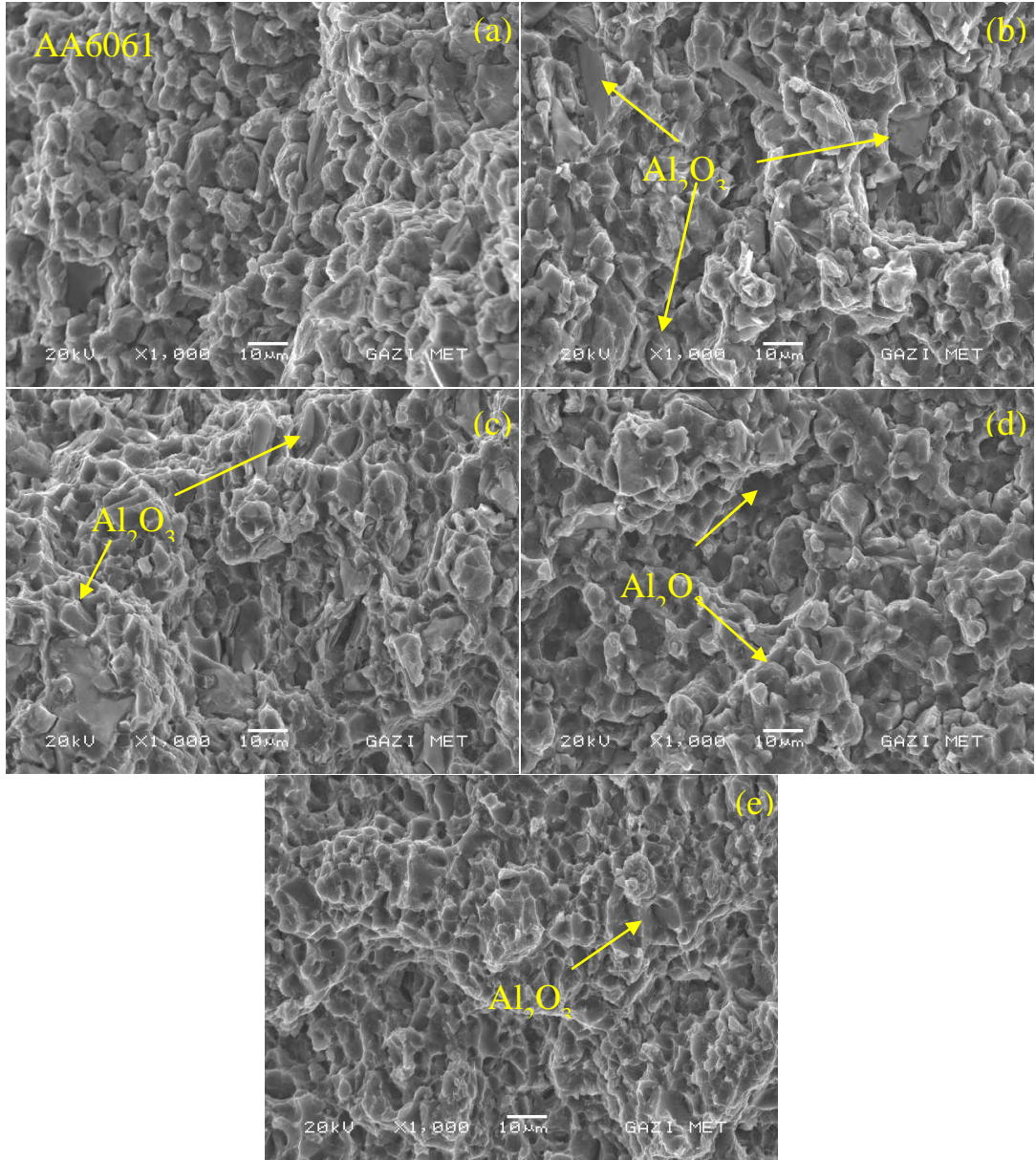




Şekil 4.19. 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 ısıt işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (c) %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d) %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (e) %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (X1000) büyütme



Şekil 4.20. 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 ısıl işlem yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (c) %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d) %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (e) %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (X500) büyütme



Şekil 4.21. 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 ısıtma işlemi yapılan kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AA6061 alaşımı (b) %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (c) %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d) %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (e) %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (X1000) büyütme

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toz metalurjisi yönteminde sıcak presleme işlemi kullanılarak AA6061 matrisli  $Al_2O_3$  parçacık takviyeli kompozit malzemelerin üretimi ve mekanik özelliklerinin karakterize edilmesi üzerine yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

1. 100 MPa ve 200 MPa presleme basıncında üretilen numunelerin yoğunluklarını karşılaştırıldığında presleme basıncı yüksek olan (200 MPa) numunelerin deneysel yoğunlukları presleme basıncı düşük olan (100 MPa) numunelere göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
2. En yüksek % yoğunluk 450 °C'de 200 MPa basınçta preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi olmuş takviyesiz AA6061 alaşımında %99,62 olarak bulunmuştur. En düşük % yoğunluk ise 450 °C'de 100 MPa basınçta preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi olmuş %20  $Al_2O_3$  takviyeli kompozitlerde %95,80 olarak bulunmuştur.
3. Üretim parametrelerini birbiri ile kıyasladığımızda en düşük gözeneklilik oranları 450 °C'de 200 MPa basınç altında preslenen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerde gerçekleşmiştir.
4. 100 MPa basınç altında preslenen numunenin SEM görüntüsünde  $Al_2O_3$  parçacıklarının etrafında mikro gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. 200 MPa basınç altında preslenen numunenin SEM görüntüleri incelendiğinde  $Al_2O_3$  parçacıklarının etrafındaki gözeneklerin 100 MPa'da preslenen numunelere göre azaldığı görülmektedir.
5. Üretim metotları karşılaştırıldığında en düşük sertlik değerleri 450 °C'de 100 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış kompozitlerde gerçekleşmiştir. Bu durum gözeneklilik oranları ile benzer sonuçlar vermiştir. En yüksek sertlik değerleri ise 450 °C'de 200 MPa basınç altında preslenen T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerde gerçekleşmiştir. 450 °C'de 200 MPa basınç altında preslenen numunelere T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulandığında sertlik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

6. En yüksek darbe enerjileri 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen T6 ısıt işlemleri yapılmış numunelerde gözlemlenmiştir. En düşük darbe sönümleme enerjileri ise 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen T6 ısıt işlemleri yapılmış numunelerde gerçekleşmiştir.
7. Genel olarak baktığımızda en yüksek çekme dayanımları 450 °C’de 200 MPa basınçta preslenen T6 yaşlandırma ısıt işlemleri uygulanmış numunelerde gözlemlenmiştir. En düşük çekme dayanımları ise 450 °C’de 100 MPa basınçta preslenen T6 ısıt işlemleri uygulanmış kompozit malzemelerde gerçekleşmiştir.
8. Metal matrisli kompozit malzemelerde ağırlıkça % takviye elemanının artması ile beraber gözenek oranı da artmaktadır. Gözenek oranının artması kompozitlerin çapraz kırılma dayanımlarını düşürmektedir.
9. Çekme deney sonuçları grafiğinde önce artış sonra azalma görülmesinin sebebinin, % 5 ve % 10 takviye oranlarında eklenen malzemenin çekme dayanımını artırdığı, % 15 ve % 20 takviye oranlarında ise matris ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye elemanı arasındaki uyumsuzluğun çekme esnasında çatlak başlangıcı etkisi yaptığı ve bu yüzden çekme dayanımının düştüğü düşünülmektedir.
10. Çapraz kırılma deneyinde grafikte önce artış sonra azalma görülmesinin sebebinin, lamel grafitli dökme demirlerde olduğu gibi artan takviye oranlarında çentik başlangıcı etkisi yaptığı ve bu yüzden değerlerin artan oranlarda düştüğü düşünülmektedir.
11. Artan takviye oranlarında gözeneklilik artarken yoğunluğun da artması, eklenen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye malzemesinin yoğunluğunun 3,95g/cm<sup>3</sup> olmsından kaynaklandığı düşünülmektedir.

100 MPa presleme basıncı yerine 300-400 MPa ve artan değerlerde presleme basınçlarında numuneler üretilmesi tavsiye edilir. Takviye oranı olarak % 5 -10-15-20 takviye oranlarının ara değerleri ve %20 üstü oranlarda numuneler üretilebilir. Farklı sinterleme sıcaklıklarında parçalar üretilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

Acılar, M., "Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü*, Ankara, (2002).

Akçay C.E., "Alümina Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin İşleme Performansına" , Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Ankara, (2008).

Akoral, E., "Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-45, (2003).

Aritman, İ., "Soğuk izostatik presleme ile üretilen Al/SiCp metal matrisli kompozitlerde faktör etkileşimlerinin mekanik özelliklere etkisi ve karakterizasyon çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, İzmir, (2014).

Asa S. ve Yeprem A. (Ytü), "AA6061 İşlem Alaşımının Homojenizasyon Prosesinin Ekstrüzyon Kabiliyetine Etkisi" Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Askeland, D. R. , The science and engineering of metarials, 2. Edition, İstanbul, Chapman&Hall s.423.

Ataş, A., "Dokuma fiber takviyeli paralel pim delikli tabakalı polyester kompozit plakaların statik yük altındaki davranışlarının incelenmesi", Y.Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.*, Balıkesir, (2007).

Avşar M., "2011 yaşlandırma Parametrelerinin AA6061 Alüminyum Alaşımının Mekaniksel Özelliklerine Ve Şekillendirmeye Olan Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Niğde, (2011).

Aycan M.F. “Yaşlandırma Isıl İşleminin Sic Ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Parçacık Takviyeli Alüminyum Alaşımı Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Ankara, (2010).

Ayvaz, M., Çetinel, H., "Farklı Matris Kompozisyonları ve Takviye Oranları İçin Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu" *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* , 45 – 53, (2014).

Baradeswaran, A., & Perumal, A. E., "Study on mechanical and wear properties of Al 7075/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> graphite hybrid composites", *Composites Part B: Engineering*, 56, 464-471, (2014).

Basithrahman A., Arravind R., "Experimental Investigation of Wear Behaviour of AA6061 Hybrid Metal Matrix Composites", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, (2016).

Bilir, H., Pul, M., Çalın R., “Al 2014 - SiC kompozitlerin tornalanmasında kesme hızı ve kesici takım malzemesinin yüzey kalitesine etkilerinin incelenmesi”, 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Kuşadası, 37-46, (2013).

Ceschini, L., Boromei, I., Minak, G., , Morri, A., Tarterini F., “Effect of friction stir welding on microstructure, tensile and fatigue properties of the AA7005/10 vol.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite”, *SMETEC, University of Bologna, Viale Risorgimento 4, I-40136, Bologna, Italy*, (2006).

Chen, X. G., Da Silva, M., Gougeon, P. and St-Georges, L., "Microstructure and mechanical properties of friction stir welded AA6063–B<sub>4</sub>C metal matrix composites" *Materials Science and Engineering: A*, 518(1), 174-184.

Clyne, T., W., Withers, *An Introduction to Metal Matrix Composites*, Cambridge University pres, USA, (1993).

Corrochano, J., Cerecedo, C., Valcárcel, V., Liebllich, M., Guitián F., “Whiskers of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as reinforcement of a powder metallurgical 6061 aluminium matrix composite”, *Materials Letters*, 1-3, (2007).

Çakır, M., "Toz metal alüminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliği", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).

Çalın, R., "Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi," Y.Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.*, Ankara, (2006).

Çanakçı, A., "AA2024 Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon,(2006).

Çavdar, F.,Doğan, M.A, Kanca, E., Kök, M., "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli AA6061 MMK'lerin işlenmesinde ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin genetik programlama yöntemiyle tahmin edilmesi", 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Kuşadası, 47-74, (2013).

Çolak, N.Y., Tuthan,H., "Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B<sub>4</sub>C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması" *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi* 28 (2), 259-266, (2016).

Demir, E., "Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi" ,Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2008).

Deng, C. F., Wang, D. Z., Zhang, X. X. and Li, A. B., "Processing and properties of carbon nanotubes reinforced aluminum composites," *Materials Science and Engineering A*, (2007).

Dennis, W., "Demir dışı metallerin metalürjisi", (Çev: TULGAR E.), Akademi LTD. ŞTİ. Yayınları, New York, 220- 292 (1987).

Doğan M.A. ve Kanca E. "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Partikül Takviyeli 6061 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği" Yüksek Lisans Tezi,*Mustafa Kemal Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü* Hatay, (2012).



Edalati, K., Ashida, M., Horita, Z., Matsui, T., & Kato, H., "Wear resistance and tribological features of pure aluminum and Al- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites consolidated by high-pressure torsion" *Wear*, 310(1), 83-89, (2014).

Ekinci, V. Ş., "Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).

Erden, M.A., "Presleme Basıncının Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşım Sız Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi" *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 257-264 (2017).

Ersümer, A., "Toz Metalürjisi Sert Metal Sinterleme", İstanbul Teknik Üniversitesi Matbası, İstanbul, 1-2, (1970).

Ertok Ş., "Aluminyum Matrisli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemi İle Üretimi" , Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Trabzon, (2011).

German, R.M., "Powder Metallurgy Science 2nd edition", *Metal Powder Industries Federation*, USA, 16-20, 76-90 (1984).

Göde, C., "TM İle Üretilmiş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-231 SiCp ve B<sub>4</sub>Cp Kompozitlerin Farklı Üretim Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi" Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2011).

Gökmeşe, H., "Gaz atomizasyonu yöntemiyle AA2014 alaşım tozunun üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).

Groover, M.P., "Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems", Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, 251-639 (1996).

Günebakmaz, S., "Toz Metalürjisi Yöntemi İle Inconel 718 Süper alaşımının Üretimi Ve Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).

Han, Q., Geng, Y., Setchi, R., Lacan, F., Gu, D., & Evans, S. L. , "Macro and nanoscale wear behaviour of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites fabricated by selective laser melting", *Composites Part B: Engineering*, 127, 26-35, (2017).

Hariprasad, T., Varatharajan, K., & Ravi, S. , "Wear Characteristics of B<sub>4</sub>C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reinforced with Al 5083 Metal Matrix based Hybrid Composite", *Procedia Engineering*, 97, 925-929, (2014).

Hiçyılmaz, N., "Toz Metalurjisi Yöntemi İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekleyicili Al Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 137, (1999).

Hossein-Zadeh M. , Razavi M, Mirzaee O , Ghaderi R, "Characterization of properties of Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-composite synthesized via milling and subsequent casting", *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* (2013) 25, 75–80, (2012).

Iacob, G., Ghica, V. G., Buzatu, M., Buzatu, T., & Petrescu, M. I., "Studies on wear rate and micro-hardness of the Al/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Gr hybrid composites produced via powder metallurgy", *Composites Part B: Engineering*, 69, 603-611, (2015).

İnternet:Türktoz" Endüstride kullanılan tozlar"  
<http://turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, Ekim (2006).

İnternet:URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.trbor.com%2Fbor-karburun-kullanim-alanlari%2F&date=2017-02-11>, Son Erişim Tarihi: 06.02.2017.

Jamaati, R., Naseri, M., & Toroghinejad, M. R. "Wear behavior of nanostructured Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite fabricated via accumulative roll bonding (ARB) process", *Materials & Design*, 59, 540-549, (2014).

Kalemtaş, A., “Metal Matrisli Kompozilere Genel Bir Bakış” , *Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*, (2014).

Karabulut, Ş., Gökmen, U., & Çinici, H. , "Study on the mechanical and drilling properties of AA7039 composites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/B<sub>4</sub>C/SiC particles", *Composites Part B: Engineering*, 93, 43-55, (2016).

Karakaş M.S., “Yüksek Hacim Oranında Alümina Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin aşınma Davranışına Magnezyumun Etkisi”,*İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (2001).

Karakoç, H., “Sıcak Presleme Yöntemi ile Alüminyum Esaslı Köpük Malzeme Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2012).

Kılıçarslan G. ve Şahin O., “Alüminyum Matrisli Alümina Seramik Takviyeli Kompozit Malzemelerin Zırh Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi,*Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*,*Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı*,Gebze,(2011).

Kök, M., & Özdin, K., " Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles" *Journal of Materials Processing Technology*, 183(2), 301-309, (2007).

Kök, M., “Abrasive wear of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle reinforced 2024 aluminium alloy composites fabricated by vortex method”, *Department of Mechanical Program, Vocational College Education, Kahramanmaraş, Sütçü İmam University*, Kahramanmaraş, (2005).

Kumar, A., Lal, S., & Kumar, S., "Fabrication and characterization of A359/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composite using electromagnetic stir casting method", *Journal of Materials Research and Technology*, 2(3), 250-254, (2013).

Kumral, C., “Sıkıştırma döküm ile üretilmiş  $Al_2O_3$  takviyeli AA 6061 kompozit malzemesinin mekanik özellikleri ve ısıl işlem davranışlarının karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

Kurt H., “Alüminyum-Alümina Kompozit Malzeme Üretiminde Karıştırma Tekniğinin Kompozitin Aşınma Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi*, Ankara, (2010).

Kyung, H.,M., Shin, P., K., Dae-Gun, K., Young, D., K., “Sintering characteristic of  $Al_2O_3$ -reinforced 2xxx series Al composite powders”, *Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University*, Seoul 133-791, Republic of Korea, (2005).

Lawley, A., “Atomization The Production of Metal Powders”, Princeton, N.J., (1992).

Nas, E., Gökkaya,H., Sur,G., “Sıcak Presleme Yöntemi Kullanılarak Kompozit Malzemelerin Üretilebilirliği Üzerine Bir Değerlendirme“, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* (2), 56-65, (2013).

Nazik, C., “Alüminyum matrisli  $B_4C$  parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2013).

Onur, A., “Yağ Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (1996).

Park, B. G., Crosky, A. G., & Hellier, A. K., " Material characterisation and mechanical properties of  $Al_2O_3$ -Al metal matrix composites", *Journal of materials science*, 36(10), 2417-2426, (2001).

Pramanik, A., Zhang, L.C., Arsecularatne, J.A., "Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 1795-1803, (2006).

Rabiei, A., Vendra, L. ve Kishi, T., "Fracture behavior of particle reinforced metal matrix composites", *Composites: Part A*, 39, 294–300, (2008).

Rahimian, M., Parvin, N., & Ehsani, N., "Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy", *Materials Science and Engineering: A*, 527(4), 1031-1038, (2010).

Rahimian, M., Parvin, N., & Ehsani, N., "The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al– Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite", *Materials & Design*, 32(2), 1031-1038, (2011).

Ravi, B., Naik, B. B., & Prakash, J. U., "Characterization of aluminium matrix composites (AA6061/B<sub>4</sub>C) fabricated by stir casting technique", *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 2984-2990, (2015).

Saberi, Y., Zebarjad, S.M. ve Akbari, G.H., "On the role of nano-size SiC on lattice strain and grain size of Al/SiC nanocomposite", *Journal of Alloys and Compounds*, 484, 637–640, (2009).

Schneider, Y., Soppa, E., Kohler C., Mokso R., Roos E., "Numerical and experimental investigations of the global and local behaviour of an Al(6061)/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composite under low cycle fatigue", *Institut Für Materialprüfung, Werkstoffkunde Und Festigkeitslehre (Imwf), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany*, (2011).

Shi-Gang X. and Li-Xin S., "Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alumina", *Materials Chemistry and Physics*, 97, 132–136, (2006).

Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P., & Froyen, L., "Microstructure and interface characteristics of B<sub>4</sub>C, SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

reinforced Al matrix composites: a comparative study", *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3), 738-743, (2003).

Smith, W., F., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, (Çev: Kınıkoğlu), N.G., 3. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2001).

Su, H., Gao, W., Feng, Z., & Lu, Z., "Processing, microstructure and tensile properties of nano-sized Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle reinforced aluminum matrix composites" *Materials & Design (1980-2015)*, 36, 590-596, (2012).

Suri, A. K., Subramanian, C., Sonber, J. K. and Murthy, T. C., "Synthesis and consolidation of boron carbide: a review" *International Materials Reviews*, 55(1), 440, (2010).

Tekin, E., "Demir dışı metaller ve alaşımlarının uygulamalı optik metalografisi 1.baskı" Sagem , 151-201, (1984).

Tufan, M., "AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2011).

Turan, H., "Gaz Atomizasyon İle Metal Tozu Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-44 (1993).

Wessel, J.K., "Handbook of advanced materials", Wiley-Interscience Publication, 656, USA, (2004).

Within by J.G. Kaufman and Dietrich G. Altenpohl *Aluminum: Technology, Applications, and Environment*, Washington, (1998)

Yavuz, N., Güner, R., "Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağından Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1): S. 221-228, (2002).

Yılmaz H., " AA5754 Ve AA6061 Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon*, (2011).

Yılmaz, T. A., "AA 2014/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrisli kompozitin mekanik alaşımlama yöntemi ile üretimi ve yaşlandırılabilme özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2013).

Yılmaz, T., A., "AA2014/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Metal Matrisli Kompozitin Mekanik Alaşımlama Yöntemi İle Üretimi Ve Yaşlandırılabilme Özelliklerinin Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-60, (2013).

Ying, D.Y. ve Zhang, D.L., "Processing of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Metal Matrix Nanocomposite Materials by Using High Energy Ball Milling", *Materials Science and Engineering A*, 286, 152-156, (2000).

Yu,Z., Wu, G., Sun, D., Chen, J. ve Jiang, L., "Coating of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additive on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder and its effect on the wetting behaviour in the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/Al", *Materials Letter*, 57, 3111-3116, (2003).

Yu,Z., Wu, G., Sun, D., Chen, J. ve Jiang, L., "Rare-earth Oxide Coating for Sub-micro Particulates Reinforced Aluminum Matrix Composites", *Materials Science and Engineering*, A357,61-66, (2003).

Yüksel,M.,Meran,C., "Malzeme Bilgisi", Düzeltilmiş 3.Baskı,Denizli TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları MMO/545/3,497-499 (2016).

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre BAYDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ 02.11.1979

Lisans Üniversite : Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü, 2003

Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü,  
Makina Mühendisliği ABD, 2018

Elektronik posta : emrebaydemir@yahoo.com